



# **Simulação das operações de uma empresa de aluguer automóvel em Portugal**

**Ana Quintanilha**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: José Fernando Oliveira

25 de Fevereiro de 2020



# Resumo

A simulação é uma ferramenta valiosa que tem como objetivo avaliar o comportamento de um negócio em diversos aspetos e com diferentes variáveis. Desta forma é possível obter melhor informação sobre os aspetos a avaliar e obter melhores conclusões sobre a eficiência do sistema.

O principal objetivo desta dissertação foi criar uma plataforma de simulação de forma a estudar a seleção automóvel e a sua distribuição nas diversas estações. Com esta plataforma pretendeu-se obter uma frota mais consciente e com uma maior probabilidade de sucesso, sem a necessidade de recorrer a uma implementação real e aos custos dela decorrentes.

De forma a criar uma plataforma consistente com a realidade de uma empresa de aluguer foi explorado: os diversos problemas que uma empresa desta atividade enfrenta; algumas abordagens realizadas de forma a resolver os mesmos e ainda foi explorado a modelação de simulação, incluindo as suas aplicações e as diferentes abordagens.

Foi implementada uma plataforma de simulação que cria reservas ao longo da simulação com uma taxa definida. Conforme estas reservas são criadas, a plataforma decide se as mesmas são aceites, podendo ser necessário a realização de um transporte de um carro de outra estação ou mesmo o fornecimento de um carro de uma gama superior à solicitada pelo cliente. Ao longo da simulação a informação das reservas, transportes e dos carros são recolhidas para um *excel* de forma a serem analisadas.

De forma a tornar a simulação realista o modelo de procura foi realizado pela análise de uma amostra de 6 meses de reservas e uma lista com o número de reservas por dia durante um ano de uma empresa de aluguer portuguesa. Este modelo de mercado foi introduzido diretamente sob a forma de uma distribuição de probabilidades/histogramas no programa de simulação.

As primeiras simulações foram realizadas perante uma proporção de carros pelas diversas estações facultadas pela mesma empresa de aluguer automóvel portuguesa. Com os resultados obtidos esta proporção de carros foi alterada em diversas simulações. Quando a simulação realizada obteve uma melhoria considerável foi realizado então o estudo dessa proporção de carros.

Com esta dissertação é possível verificar que com a utilização de uma plataforma de simulação das operações de uma empresa de aluguer e a tendência do mercado é possível estudar as diversas distribuições de frota. Neste sentido uma empresa que possua uma ferramenta deste género e que realize um estudo de mercado, definitivamente, conseguirá tomar melhores decisões sobre a sua frota.



# Abstract

Simulation is a valuable tool that evaluates the behaviour of a business in various aspects and with different variables. With this, it is possible to obtain better information about business aspects to evaluate it and to get better conclusions about the system's performance.

The main objective of this dissertation was to create a simulation platform to study the car selection and the distribution in different stations. With this platform, one can obtain a more responsive rate and a higher probability of success without the need to execute a real implementation and its costs.

In order to create a platform consistent with the reality of a rental company, it was explored: the different problems that a company in this activity faces; some approaches taken in order to solve them and simulation modelling was also explored, including its applications and the different approaches.

A simulation platform was implemented that creates reservations throughout the simulation at a defined rate. As these reservations are created, the platform decides whether they are accepted or not, and it may be necessary to carry out a car transfer from another station or even to supply a car of a higher category than the requested by the customer. Throughout the simulation, information on reservations, transportation and cars are extracted for an *excel* in order to be analysed.

In order to make the simulation realistic, the demand model was carried out by analysing a sample of 6 months of reservations and a list with the number of reservations per day for a year of a Portuguese rental company. This market model was introduced directly in the form of a probability / histogram distribution in the simulation program.

The first simulations were carried out considering a proportion of cars by the different stations provided by the same Portuguese car rental company. With the results obtained, this proportion of cars was changed in several simulations. When the simulation has achieved a considerable improvement, the study of this proportion of cars was carried out.

With this dissertation it is possible to verify that with the use of a platform for simulating the operations of a rental company and the market trend it is possible to study the various fleet distributions. In this sense, a company that has a tool of this kind and that conducts a market study will definitely be able to make better decisions about its fleet



# Agradecimentos

Ao professor José Fernando Oliveira por todo o apoio fantástico em todas as fases desta dissertação. Não tenho dúvidas que todo o tempo que disponibilizou foi essencial para que esta dissertação tivesse o rumo certo.

Aos meus pais que, para além de terem sido peças fundamentais para me tornar a pessoa que sou hoje, sacrificaram e trabalharam para que nunca me faltasse nada.

Aos meus amigos que tornam a minha vida mais fácil e divertida. Um agradecimento especial à Isa e à Mafalda que para além de me abrirem a porta sempre que precisava, fizeram-me sentir mais perto de casa.

Ao meu namorado que para além de continuar a ter uma paciência do tamanho do mundo, apoiou-me em todos os momentos deste último ano.

À Ana Pinho e à Maria do Céu pelo tempo disponibilizado na revisão da escrita desta dissertação.

Ana Quintanilha



*“Everything can be improved.”*

C. W. Barron



# Conteúdo

|          |                                                                        |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                                      | <b>1</b>  |
| 1.1      | Enquadramento . . . . .                                                | 1         |
| 1.2      | Objetivos . . . . .                                                    | 2         |
| 1.3      | Motivação . . . . .                                                    | 3         |
| 1.4      | Estrutura da Dissertação . . . . .                                     | 3         |
| <b>2</b> | <b>Revisão Bibliográfica</b>                                           | <b>5</b>  |
| 2.1      | Problemas enfrentados por uma empresa de aluguer automóvel . . . . .   | 5         |
| 2.1.1    | Divisão da Rede . . . . .                                              | 5         |
| 2.1.2    | Seleção da quantidade e gama dos veículos . . . . .                    | 5         |
| 2.1.3    | Compra e Venda dos veículos . . . . .                                  | 6         |
| 2.1.4    | Distribuição e disponibilização da frota em estações da rede . . . . . | 6         |
| 2.1.5    | Preços a praticar consoante as especificações pedidas . . . . .        | 6         |
| 2.1.6    | Seleção do automóvel . . . . .                                         | 6         |
| 2.1.7    | Aceitação ou Rejeição de Reservas . . . . .                            | 7         |
| 2.1.8    | Agendamento das manutenções dos automóveis . . . . .                   | 7         |
| 2.2      | Abordagens de Resolução . . . . .                                      | 7         |
| 2.2.1    | Modelo Matemático: Upgrade+Subalugamento+Compra . . . . .              | 7         |
| 2.2.2    | Modelo Matemático: Transfere . . . . .                                 | 8         |
| 2.2.3    | Modelo Matemático: Estação com Capacidade Flexível . . . . .           | 9         |
| 2.2.4    | Modelo Matemático: Capacidade+Preço . . . . .                          | 9         |
| 2.3      | Modelação de Simulação . . . . .                                       | 10        |
| 2.3.1    | Modelação analítica versus modelação de simulação . . . . .            | 10        |
| 2.3.2    | Aplicações de modelagem de simulação . . . . .                         | 11        |
| 2.3.3    | Dinâmica de Sistemas . . . . .                                         | 11        |
| 2.3.4    | Eventos Discretos . . . . .                                            | 11        |
| 2.3.5    | Modelagem Baseada em Agentes . . . . .                                 | 12        |
| <b>3</b> | <b>O Modelo</b>                                                        | <b>13</b> |
| 3.1      | Anylogic . . . . .                                                     | 13        |
| 3.2      | Implementação do modelo . . . . .                                      | 14        |
| 3.2.1    | <i>Car</i> . . . . .                                                   | 20        |
| 3.2.2    | <i>Station</i> . . . . .                                               | 22        |
| 3.2.3    | <i>Reservation</i> . . . . .                                           | 24        |
| <b>4</b> | <b>Simulação</b>                                                       | <b>29</b> |
| 4.1      | Dados Utilizados . . . . .                                             | 29        |
| 4.2      | Resultados das Simulações . . . . .                                    | 32        |

|          |                                                       |           |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.1    | Primeiros Resultados . . . . .                        | 32        |
| 4.2.2    | Alteração da proporção da frota . . . . .             | 36        |
| 4.2.3    | Resultados da 4ª matriz . . . . .                     | 43        |
| <b>5</b> | <b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>                   | <b>47</b> |
| 5.1      | Conclusões . . . . .                                  | 47        |
| 5.2      | Trabalho Futuro . . . . .                             | 49        |
| <b>A</b> | <b>Dados Utilizados na Simulação</b>                  | <b>51</b> |
| A.1      | Tabela de Frequência - Duração das Reservas . . . . . | 51        |
| A.2      | Tabela de Frequência - Estação da Reserva . . . . .   | 52        |
| A.3      | Tabelas e Gráficos - Categoria por Estação . . . . .  | 53        |
| A.4      | Matriz de Upgrade . . . . .                           | 90        |
| A.5      | Matrizes de Transporte . . . . .                      | 91        |
| A.6      | Resultados das Simulações . . . . .                   | 93        |
|          | <b>Referências</b>                                    | <b>95</b> |

# Lista de Figuras

|      |                                                                        |    |
|------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Exemplos de Modelos e respetivo nível de abstração . . . . .           | 11 |
| 3.1  | Painel de inicio da simulação . . . . .                                | 14 |
| 3.2  | Diagrama de estado na <i>Main</i> . . . . .                            | 18 |
| 3.3  | Painel durante uma simulação . . . . .                                 | 19 |
| 3.4  | Diagrama de estado do agente <i>Car</i> . . . . .                      | 21 |
| 3.5  | Painel de um agente <i>Car</i> . . . . .                               | 21 |
| 3.6  | Painel de um agente <i>Station</i> . . . . .                           | 23 |
| 3.7  | Diagrama de estado do agente <i>Reservation</i> . . . . .              | 25 |
| 3.8  | Painel de um agente <i>Reservation</i> . . . . .                       | 27 |
| 4.1  | Histograma da duração das reserva . . . . .                            | 29 |
| 4.2  | Distribuição das reservas pelas diversas estações . . . . .            | 30 |
| 4.3  | Variação do número de reservas em 365 dias . . . . .                   | 31 |
| 4.4  | Reservas recusadas da primeira proporção . . . . .                     | 34 |
| 4.5  | Reservas aceites da primeira proporção . . . . .                       | 34 |
| 4.6  | Ocupação da frota da primeira proporção . . . . .                      | 35 |
| 4.7  | Transportes por estações . . . . .                                     | 36 |
| 4.8  | Reservas recusadas com a 1ª e 2ª proporção . . . . .                   | 38 |
| 4.9  | Reservas Recusadas da 1ª à 4ª proporção . . . . .                      | 39 |
| 4.10 | Reservas recusadas na simulação 12 por estação . . . . .               | 39 |
| 4.11 | Reservas recusadas na simulação 12 por categoria . . . . .             | 40 |
| 4.12 | Reservas recusadas da 1ª à 5ª proporção . . . . .                      | 41 |
| 4.13 | Reservas recusadas da 1ª à 6ª proporção . . . . .                      | 43 |
| 4.14 | Reservas recusadas da 1ª e da 6ª proporção . . . . .                   | 44 |
| 4.15 | Reservas aceites na 6ª proporção . . . . .                             | 44 |
| 4.16 | Ocupação da frota na 6ª proporção . . . . .                            | 45 |
| 5.1  | Distribuição dos carros pelas Estações . . . . .                       | 48 |
| A.1  | Gráfico das Categorias na Estação 0 . . . . .                          | 53 |
| A.2  | Gráfico das Categorias na Estação 1 . . . . .                          | 54 |
| A.3  | Gráfico das Categorias na Estação 2 . . . . .                          | 55 |
| A.4  | Gráfico das Categorias na Estação 3 . . . . .                          | 56 |
| A.5  | Gráfico das Categorias na Estação 4 . . . . .                          | 57 |
| A.6  | Gráfico das Categorias na Estação 5 . . . . .                          | 58 |
| A.7  | Gráfico das Categorias na Estação 6 . . . . .                          | 59 |
| A.8  | Gráfico das Categorias na Estação 7 . . . . .                          | 60 |
| A.9  | Gráfico das Categorias na Estação 8, 19, 20, 33, 39, 40 e 41 . . . . . | 61 |

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| A.10 Gráfico das Categorias na Estação 9 . . . . .  | 62 |
| A.11 Gráfico das Categorias na Estação 10 . . . . . | 63 |
| A.12 Gráfico das Categorias na Estação 11 . . . . . | 64 |
| A.13 Gráfico das Categorias na Estação 12 . . . . . | 65 |
| A.14 Gráfico das Categorias na Estação 13 . . . . . | 66 |
| A.15 Gráfico das Categorias na Estação 14 . . . . . | 67 |
| A.16 Gráfico das Categorias na Estação 15 . . . . . | 68 |
| A.17 Gráfico das Categorias na Estação 16 . . . . . | 69 |
| A.18 Gráfico das Categorias na Estação 17 . . . . . | 70 |
| A.19 Gráfico das Categorias na Estação 18 . . . . . | 71 |
| A.20 Gráfico das Categorias na Estação 21 . . . . . | 72 |
| A.21 Gráfico das Categorias na Estação 22 . . . . . | 73 |
| A.22 Gráfico das Categorias na Estação 23 . . . . . | 74 |
| A.23 Gráfico das Categorias na Estação 24 . . . . . | 75 |
| A.24 Gráfico das Categorias na Estação 25 . . . . . | 76 |
| A.25 Gráfico das Categorias na Estação 26 . . . . . | 77 |
| A.26 Gráfico das Categorias na Estação 27 . . . . . | 78 |
| A.27 Gráfico das Categorias na Estação 28 . . . . . | 79 |
| A.28 Gráfico das Categorias na Estação 29 . . . . . | 80 |
| A.29 Gráfico das Categorias na Estação 30 . . . . . | 81 |
| A.30 Gráfico das Categorias na Estação 31 . . . . . | 82 |
| A.31 Gráfico das Categorias na Estação 32 . . . . . | 83 |
| A.32 Gráfico das Categorias na Estação 34 . . . . . | 84 |
| A.33 Gráfico das Categorias na Estação 35 . . . . . | 85 |
| A.34 Gráfico das Categorias na Estação 37 . . . . . | 86 |
| A.35 Gráfico das Categorias na Estação 38 . . . . . | 87 |
| A.36 Gráfico das Categorias na Estação 42 . . . . . | 88 |
| A.37 Gráfico das Categorias na Estação 43 . . . . . | 89 |

# Lista de Tabelas

|      |                                                                                     |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1  | Variáveis na <i>Main</i> . . . . .                                                  | 15 |
| 3.2  | Distribuições na <i>Main</i> . . . . .                                              | 16 |
| 3.3  | Listas na <i>Main</i> . . . . .                                                     | 17 |
| 3.4  | Função na <i>Main</i> . . . . .                                                     | 18 |
| 3.5  | Variáveis do agente <i>Car</i> . . . . .                                            | 20 |
| 3.6  | Variável do agente <i>Station</i> . . . . .                                         | 22 |
| 3.7  | Listas do agente <i>Station</i> . . . . .                                           | 22 |
| 3.8  | Funções do agente <i>Station</i> . . . . .                                          | 23 |
| 3.9  | Variáveis do agente <i>Reservation</i> . . . . .                                    | 24 |
| 3.10 | Funções do agente <i>Reservation</i> . . . . .                                      | 26 |
| 4.1  | Preço médio por dia por categoria . . . . .                                         | 31 |
| 4.3  | Informações das simulações com base na matriz base . . . . .                        | 32 |
| 4.2  | Matriz base da distribuição da frota . . . . .                                      | 33 |
| 4.4  | 2ª Matriz base . . . . .                                                            | 37 |
| 4.5  | Informações das simulações 12 à 14 . . . . .                                        | 38 |
| 4.6  | Aumento na 2ª matriz base . . . . .                                                 | 40 |
| 4.7  | Informações das simulações 12 à 15 . . . . .                                        | 40 |
| 4.8  | 4ª Matriz base . . . . .                                                            | 42 |
| 4.9  | Informações das simulações com base na matriz fornecida . . . . .                   | 43 |
| 5.1  | Porcentagem de carros nas diversas categorias . . . . .                             | 48 |
| A.1  | Tabela de Frequência da duração das reservas . . . . .                              | 51 |
| A.2  | Tabela de Frequência da estação da reserva . . . . .                                | 52 |
| A.3  | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 0 . . . . .                          | 53 |
| A.4  | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 1 . . . . .                          | 54 |
| A.5  | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 2 . . . . .                          | 55 |
| A.6  | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 3 . . . . .                          | 56 |
| A.7  | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 4 . . . . .                          | 57 |
| A.8  | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 5 . . . . .                          | 58 |
| A.9  | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 6 . . . . .                          | 59 |
| A.10 | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 7 . . . . .                          | 60 |
| A.11 | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 8, 19, 20, 33, 39, 40 e 41 . . . . . | 61 |
| A.12 | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 9 . . . . .                          | 62 |
| A.13 | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 10 . . . . .                         | 63 |
| A.14 | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 11 . . . . .                         | 64 |
| A.15 | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 12 . . . . .                         | 65 |
| A.16 | Tabela de Frequência das Categorias na Estação 13 . . . . .                         | 66 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| A.17 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 14 . . . . . | 67 |
| A.18 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 15 . . . . . | 68 |
| A.19 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 16 . . . . . | 69 |
| A.20 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 17 . . . . . | 70 |
| A.21 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 18 . . . . . | 71 |
| A.22 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 21 . . . . . | 72 |
| A.23 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 22 . . . . . | 73 |
| A.24 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 23 . . . . . | 74 |
| A.25 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 24 . . . . . | 75 |
| A.26 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 25 . . . . . | 76 |
| A.27 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 26 . . . . . | 77 |
| A.28 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 27 . . . . . | 78 |
| A.29 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 28 . . . . . | 79 |
| A.30 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 29 . . . . . | 80 |
| A.31 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 30 . . . . . | 81 |
| A.32 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 31 . . . . . | 82 |
| A.33 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 32 . . . . . | 83 |
| A.34 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 34 . . . . . | 84 |
| A.35 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 35 . . . . . | 85 |
| A.36 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 37 . . . . . | 86 |
| A.37 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 38 . . . . . | 87 |
| A.38 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 42 . . . . . | 88 |
| A.39 Tabela de Frequência das Categorias na Estação 43 . . . . . | 89 |
| A.40 Matriz de Custos de Transporte . . . . .                    | 91 |
| A.41 Matriz de Tempo de Transporte em horas . . . . .            | 92 |
| A.42 Informações de todas as simulações . . . . .                | 93 |

# Abreviaturas e Símbolos

|     |                                  |
|-----|----------------------------------|
| DS  | Dinâmica do Sistema              |
| SED | Sistema de Eventos Discretos     |
| MAS | Modelagem baseado em Agentes     |
| ADP | Programa Dinâmico de Aproximação |
| UML | Linguagem de Modelagem Unificada |



# Capítulo 1

## Introdução

Neste capítulo introdutório é apresentado o tema de dissertação, "Simulação das operações de uma empresa de aluguer automóvel em Portugal".

Esta introdução é dividida em 4 secções. Na secção 1.1 é feito o enquadramento, onde se descreve a atividade, a evolução e a instalação da mesma em Portugal. Na secção 1.2 é apresentado o principal objetivo da dissertação e na secção 1.3 é apresentada a motivação. Na última secção 1.4 é descrita a estrutura da dissertação.

### 1.1 Enquadramento

Este modelo de negócio começou no EUA e só depois foi implementado na Europa. Nos EUA teve início há cerca de um século, embora só nas décadas de 30 e 40 é que se tenha sentido um crescimento acentuado no volume do negócio. Após a segunda guerra mundial, na década de 50, e com o crescimento das companhias aéreas, esta atividade foi alargada para a Europa. No entanto, na Europa, só na década de 60 e 70 é que o aluguer automóvel cresceu enquanto negócio, equiparando-se ao nível e volume dos EUA. [1]

O aluguer automóvel é um negócio que consiste na disponibilização de um veículo sem condutor por um determinado período de tempo, variando em algumas horas a várias semanas, por um determinado valor monetário. Apesar desta atividade ter começado como um negócio simples - num determinado local era fornecido um carro padrão por uma taxa fixa por dia, acrescida de uma taxa por quilómetro percorrido – com o aumento da procura, a evolução tecnológica, e a crescente informação dos clientes, este tornou-se um negócio com várias variantes, como é conhecido atualmente. [1] [2]

A procura de um carro de aluguer pode ser feita por diversas razões. Por norma, os clientes tipo deste negócio são as pessoas que não têm carro e precisam de um veículo, pontualmente, para uma dada ocasião (visitar família ou um casamento, por exemplo); pessoas que se deslocam para outras/noutras cidades que não a sua de residência habitual; pessoas cujo carro está danificado ou destruído e se encontram à espera do seguro de compensação; pessoas/empresas que preferem usar de carros alugados em vez de adquiri-los. [1]

De forma a satisfazer um maior número de população, uma empresa de aluguer é composta por diversas estações. É nestas estações que são entregues e recebidos os carros alugados. Estas estações normalmente estão localizadas nos aeroportos ou em áreas urbanas. [2]

Para satisfazer as diversas necessidades e preferências da população existem diversas gamas automóveis. Neste sentido as empresas oferecem aos clientes uma variedade de carros económicos, minis, compactos, minivans, intermédios ou premiums. [2]

É possível fazer um pedido prévio de um aluguer de carro, ou fazer um pedido no momento. Em ambas as situações, para esta dissertação são consideradas como reservas.

Atualmente as opções num aluguer automóvel são inúmeras e acessíveis 24 horas por dia, 7 dias por semana. Ao reservar um carro é necessário escolher a categoria do veículo, onde será recolhido e entregue, o tempo de posse do carro e o tipo de seguro associado. [1]

Com o aumento de variantes, há necessariamente um aumento da complexidade das decisões a serem tomadas. É por esta razão que na década de 1990, os sistemas de gestão e rendimento que permitiam controlar o preço e a disponibilidade foram postos em prática. [1]

Tendo em conta estes fatores, as empresas maiores normalmente são mais competitivas do que as menores. As empresas maiores têm um número maior de instalações e veículos, sendo possível diminuir os custos operacionais e de manutenção, o que possibilita oferecer um serviço mais conveniente, barato e de encontro à necessidade do cliente. [2]

Em Portugal, o impulsionador deste negócio foi o turismo. Os turistas que se deslocavam ao país, e que já se encontravam familiarizados com este modelo, fizeram com que a necessidade interna crescesse. Só posteriormente é que a procura interna gerou economia no sector. [3]

Nos últimos anos, foi mais uma vez o turismo o veículo impulsionador. O aumento do turismo em Portugal influenciou o crescimento da atividade de uma forma diametral. De facto, face ao ano 2016 e 2017, verificou-se um crescimento de 45%, com um valor de receitas de cerca de 700 milhões de euros. [4] Para comprovar este crescimento, em Dezembro de 2018 o sector foi considerado o maior comprador de novos carros ligeiros em Portugal, tendo adquirido 3071 veículos ligeiros de passageiros e 382 veículos ligeiros de mercadorias. [5]

## 1.2 Objetivos

Esta dissertação tem diversas fases e objetivos:

1. Projetar e implementar uma plataforma de simulação das operações de aluguer da frota automóvel. Esta simulação assenta nos seguintes critérios:

- Ter diversas estações
- Ter carros de diversas categorias
- Criar reservas
- Verificar se existe carro disponível para reserva
- Os carros serem alocados às reservas e às estações

- Verificar quantas reservas foram satisfeitas e quantas foram recusadas
2. Realizar a análise dos dados de uma empresa portuguesa.
    - Constituição das distribuições de probabilidade de forma a criar um modelo de procura
  3. Estudar a satisfação das reservas com a variação da frota, avaliando assim a necessidade dos automóveis das diferentes gamas nas diferentes estações.

### 1.3 Motivação

A melhoria contínua é um ponto fundamental para que uma organização seja competitiva face à concorrência e tenha sucesso. De forma a implementar um sistema de melhoria contínua, reduzindo custos e assumindo preços mais competitivos, as empresas deste sector procuram melhorar o sistema de decisão, tornando-o mais eficiente.

Num serviço de aluguer automóvel o fator que cria valor é o aluguer do veículo. Para a criação deste valor é necessária a alocação dos diversos veículos aos diversos pedidos de aluguer, cada um com as suas especificações, e que têm de ir ao encontro dos preços praticados, localização da recolha e entrega do automóvel, entre outros. Neste sentido é necessário a compreensão da quantidade de carros necessários das diferentes categorias e como estes são distribuídos nas estações de aluguer.

Uma das formas de testar o sistema de decisão é a sua implementação real, com consequente avaliação de resultados. Este método de teste, para além de demorado para obtenção de resultados mais fiáveis, pode trazer custos acrescentados caso o sistema não seja eficiente.

Neste sentido, consideramos que uma plataforma de simulação pode trazer vantagens. A criação de uma plataforma de simulação pretende desenvolver um modelo do sistema de um *car rental* com o objetivo de avaliar o comportamento do negócio em vários aspetos e com diferentes variáveis, de forma a obter melhor informação e posteriormente conclusões mais válidas sobre a eficiência do sistema. Assim a aquisição automóvel e a sua distribuição será feita de forma mais consciente e com uma maior probabilidade de sucesso, sem necessidade de recorrer a uma implementação real e aos custos dela decorrentes.

### 1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação contém 5 capítulos, incluindo a introdução. No capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica dos maiores problemas enfrentados pelas empresas de aluguer automóvel, são descritos alguns modelos matemáticos relacionados, e é feita uma revisão sobre o modelo de simulação. No capítulo 3 é apresentado o modelo de simulação realizado. No capítulo 4 são apresentados os valores utilizados nas simulações, tal como o resultado das mesmas. Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões da simulação e o trabalho futuro.



## Capítulo 2

# Revisão Bibliográfica

Neste capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica de acordo com os objetivos pretendidos.

O capítulo é dividido em 3 secções. Na secção 2.1, é feita uma abordagem aos problemas de gestão de frota enfrentados por uma empresa de aluguer automóvel. Na secção 2.2 são referidas algumas heurísticas realizadas por outros autores, e na secção 2.3 é apresentado o modelo de simulação e a respetiva comparação com o modelo analítico.

### 2.1 Problemas enfrentados por uma empresa de aluguer automóvel

Nesta secção são apresentados e descritos os vários problemas de gestão de frota enfrentados por uma empresa de aluguer automóvel, e que ditam necessariamente a lucratividade do negócio. Esta secção foi baseada no artigo [6]

#### 2.1.1 Divisão da Rede

Em empresas de aluguer de maiores dimensões, as estações de aluguer são divididas em *pools*, isto é, estações que partilham a mesma frota. A localização de um certo automóvel pode ser variada: pode estar a ser utilizado por um cliente, estar numa estação a aguardar a próxima reserva, encontrar-se em limpeza ou pode encontrar-se em manutenção numa oficina. Em certas situações, um certo veículo pode encontrar-se fora da *pool* atribuída, como por exemplo, o caso de um cliente que recolhe um automóvel numa estação da *pool* atribuída e o entrega numa estação fora da *pool* atribuída

A divisão da frota pelas *pools* é feita consoante a procura. Esta divisão pode ser reajustada consoante a necessidade, visto que não está associada a qualquer outra divisão administrativa. Este reajuste pode ter várias causas, um exemplo é a alteração da procura sazonal.

#### 2.1.2 Seleção da quantidade e gama dos veículos

A quantidade e a categoria dos carros a serem adquiridos é um problema que normalmente é determinado pelo investimento disponível e pela estratégia adotada pela empresa, estratégia esta

que pode ser variada.

### **2.1.3 Compra e Venda dos veículos**

Algumas empresas de aluguer de automóveis estão associadas a grupos empresariais que tornam o acesso aos fabricantes e/ou aos revendedores mais acessível. Neste caso, a aquisição dos veículos pode ser comparada a um contrato de locação financeiro, sendo que após o período estipulado o carro tem que ser devolvido. Assim, para além de poderem adquirir os automóveis com desconto, os mesmos não sofrem consequências das flutuações do mercado dos carros usados, já que isso é principalmente uma responsabilidade da empresa revendedora.

As restantes empresas de aluguer têm a responsabilidade da compra e da venda dos automóveis, o que significa que, para além da responsabilidade da análise temporal para a aquisição dos mesmos, é necessária uma análise temporal para a sua venda, assim como a análise respetiva do preço de compra e venda.

### **2.1.4 Distribuição e disponibilização da frota em estações da rede**

Uma vez que o lucro está associado aos alugueres ativos, a intenção da empresa é ter uma taxa de ocupação dos seus veículos constante, preferencialmente a 100%. Para que esta taxa seja o mais elevada possível, a distribuição dos veículos na rede tem necessariamente de ser pensada de forma a rentabilizar a sua alocação nas reservas, ou seja, consoante a procura em cada rede.

Na distribuição da frota, também é necessário ter em atenção a alteração inicial do veículo devido à entrega do mesmo numa estação diferente. Este facto pode obrigar à deslocação do automóvel encarregue por parte da empresa, seja a deslocação anterior ou posterior ao aluguer do automóvel.

### **2.1.5 Preços a praticar consoante as especificações pedidas**

Num pedido de reserva há várias variantes que terão que ser definidas pelo cliente: a categoria do veículo pretendido, as datas e as estações de recolha e de entrega. Os preços praticados para cada combinação de aluguer vão depender dos custos previstos para o mesmo, quer do ponto de vista da disponibilidade dos veículos, quer das alterações necessárias na organização da frota para a disponibilização do veículo nas datas e estações pretendidas.

### **2.1.6 Seleção do automóvel**

Os pedidos de aluguer podem ser realizados com antecedência, sendo para isso efetuada uma reserva. Esta realidade permite a realização de um plano prévio de alocação dos veículos às reservas consoante as especificações pedidas.

A atribuição dos veículos pode também ser realizada localmente, pelos funcionários da estação, ou pode ser realizada centralmente, quer a nível da *pool*, quer a nível de toda a frota que a companhia disponibiliza.

No caso de os pedidos serem todos realizados com antecedência, a gestão da frota pode ser realizada mais eficazmente, permitindo a deslocação da frota caso necessário mas também programar a manutenção dos veículos de uma forma mais produtiva.

Em caso de indisponibilidade de veículos da categoria pedida, por vezes é selecionado um veículo de uma categoria mais alta, sem alteração de preço, de forma a evitar uma venda perdida, permitindo rentabilizar a frota existente, e dando ao cliente uma maior sensação de satisfação.

### 2.1.7 Aceitação ou Rejeição de Reservas

Durante a atividade normal da empresa, alguns pedidos de aluguer podem ser rejeitados, ou por indisponibilidade de veículos, ou até por estratégia de negócio. Apesar de algumas empresas aceitarem as reservas por ordem de chegada, consoante a capacidade disponível, há empresas que preferem ter uma frota de reserva para pedidos de aluguer que podem chegar mais tarde e que são mais lucrativos. Neste caso, é usada uma segmentação complexa, com alocação de capacidade ou métodos de precificação.

### 2.1.8 Agendamento das manutenções dos automóveis

O agendamento das manutenções dos automóveis é fundamental para a preservação dos veículos e para a prevenção de complicações futuras. O mau planeamento destas manutenções pode gerar perda de alugueres realizados, quer pela indisponibilidade dos automóveis pretendidos por manutenções previstas e planeadas, quer por avarias.

## 2.2 Abordagens de Resolução

Atualmente existem algumas abordagens de resolução dos problemas descritos na secção anterior, baseados em modelos matemáticos. Aqui são apresentados 3 modelos pertinentes, pois estudam a seleção da quantidade e gama dos veículos e/ou a sua deslocação para as diversas estações, como se pretende estudar nesta dissertação.

### 2.2.1 Modelo Matemático: Upgrade+Subalugamento+Compra

No artigo [7] é desenvolvido um modelo em que pretende satisfazer todos os pedido dos clientes. Quando não existem o carro pretendido existe a opção de:

- realizar um *upgrade*
- subalugar um carro de outro fornecedor
- comprar um novo carro de forma a ampliar o *stock*

Neste modelo é tido em conta que todos os carros têm de passar por um processo de manutenção com um período não superior ao indicado ao seu tipo de carro, sendo que os funcionários disponíveis que realizam a mesma são limitados.

Posto isto a função objetivo:

$$\min custo = CAC + CS + CA + CM$$

Sendo:

- CCE - Custo dos carros em *stock*
- CS - Custo de Subcontratação
- CA - Custo de Aquisição
- CM - Custo de manutenção

### 2.2.2 Modelo Matemático: Transfere

No artigo [8] temos um modelo matemático que foi motivado por uma pequena empresa de aluguer automóvel que opera em duas cidades chinesas. Apesar da empresa em questão apenas se encontrar em duas cidades, o modelo considera múltiplas cidades.

Neste modelo é considerado que todos os alugueres são de 1 dia, ou seja, o automóvel é recolhido de manhã e entregue ao final do dia, de forma a que o transporte seja realizado durante a noite. Os clientes podem ser do tipo 1 - a cidade onde é recolhido o automóvel é a cidade de entrega; ou do tipo 2 - em que a cidade em que o veículo é recolhido é diferente da cidade de entrega.

Posto isto a função objetivo :

$$\max lucro = -CT - RIC - RLC - CR + LFE$$

Sendo:

- CT - Custo de Transferência
- RIC - Receita Inter-Cidade
- RLC - Receita Local da Cidade
- CR - Custo de Retenção
- LFE - Lucro Futuro Esperado

O modelo analisado também inclui o caso de 3 cidades. No entanto, seria necessária uma investigação e simulação mais aprofundada da complexidade da rede multi-cidade devido à complexidade da resolução analítica.

### 2.2.3 Modelo Matemático: Estação com Capacidade Flexível

No artigo [9], é feita uma abordagem a uma única estação em que a capacidade é flexível. Neste contexto é possível avaliar se é rentável o transporte de automóveis de outras estações, considerando apenas a estação em estudo. Esta abordagem pode ser facilmente utilizada para o problema da sazonalidade.

A função objetivo é:

$$\max lucro = -LE - CT + RDR$$

Sendo:

- LE - Lucro Esperado
- CT - Custo de Transporte
- RDR - Receita Descontada a ser Recebida

Devido à complexidade da atividade é realizada uma divisão em duas heurísticas, em que a primeira trata da procura do aluguer de vários dias ou o aluguer de valor único para um único dia; e a segunda, que substitui a procura de aluguer de vários dias por procura de alugueres independentes de um só dia.

### 2.2.4 Modelo Matemático: Capacidade+Preço

O artigo [10] foi impulsionado por uma empresa de aluguer automóvel portuguesa que segue uma abordagem hierárquica, em que só depois de ser decidida a capacidade é que se estuda as decisões de preço, com o objetivo de maximizar a ocupação da frota. Esta empresa tem 40 estações divididas em 4 regiões, em que todas as regiões partilham a mesma frota – uma frota de 10 mil carros em 5 categorias.

Neste caso, a frota é utilizada para servir diferentes tipos de pedidos, sendo possível lidar com 450 a 2500 tipos de pedidos de aluguer diferentes, dependendo da época de venda. Os preços praticados dependem da data do pedido, do tipo de veículo necessário e dos locais e datas de início e fim.

De forma a aumentar a rentabilidade da empresa, é realizado um modelo matemático que integra a capacidade com as decisões de preço. A função objetivo em questão tentava maximizar o lucro:

$$\max lucro = AC - CAq - CAI - CP - CT - CUV$$

Sendo:

- AC - Aluguer Cumprido
- CAq - Custo de Aquisição

- CAI - Custo de Aluguer
- CP - Custo de Propriedade
- CT - Custo de Transferência
- CUV - Custo de *Upgrade* dos Veículos

Devido à complexidade e à difícil resolução em tempo útil, é feita uma decomposição em decisões de preços e restantes decisões. Esta decomposição é guiada através de um algoritmo genérico de chave aleatória. É utilizada assim uma abordagem hierárquica e sequencial.

## 2.3 Modelação de Simulação

A modelação pode trazer várias vantagens, em relação ao teste no mundo real. Em certas situações, encontrar a solução certa para um determinado problema implica a construção, destruição e/ou alteração dessa mesma tentativa de solução. Este método pode ser caro, perigoso e/ou impossível. Nestes casos, a representação do sistema real num modelo, torna-se mais viável. Neste sentido, podemos definir a modelação como um caminho do problema para a solução, onde não existem riscos e é permitido criar, alterar, apagar e recriar diferentes situações consoante os erros cometidos, problemas verificados e objetivos pretendidos. Esta subsecção foi baseada no livro [11]

### 2.3.1 Modelação analítica versus modelação de simulação

Um modelo matemático é composto por parâmetros, variáveis, fórmulas e scripts: são introduzidos os dados de entrada que são utilizados pelas fórmulas e scripts de forma a retornar os dados de saída.

Para este efeito, a ferramenta preferida das equipas de planeamento estratégico, previsão de vendas, logística, marketing ou gestão de projetos é o *excel*. Para além das ferramentas base deste *software*, existem extensões que permitem realizar variações de parâmetros, métodos de Monte Carlo ou experiências de otimização.

Apesar de ser uma ferramenta poderosa, há uma grande classe de problemas em que é difícil ou simplesmente impossível encontrar uma solução analítica. As características dos sistemas incluídos nessa classe são: comportamento não linear; "memória"; influência não intuitiva entre variáveis; dependência causal e temporal; um grande número de parâmetros, entre outros. Sabemos que as fórmulas são boas em expressar dependência entre variáveis e parâmetros, mas quando o sistema apresenta um comportamento dinâmico, é necessário utilizar outro tipo de modelagem, a modelagem de simulação.

Um modelo de simulação é um modelo executável que varia de estado consoante os acontecimentos presentes. São definidas um conjunto de regras que dizem como ir de um estado para outro, podendo estas regras ser implementadas em equações diferenciais, diagramas de estado, fluxogramas de processo, cronogramas, etc.

### 2.3.2 Aplicações de modelagem de simulação

Existem três métodos de modelagem de simulação: dinâmica de sistemas, eventos discretos e baseada em agentes. A escolha do método de modelagem depende do nível de abstração pretendido e do sistema a ser modelado.

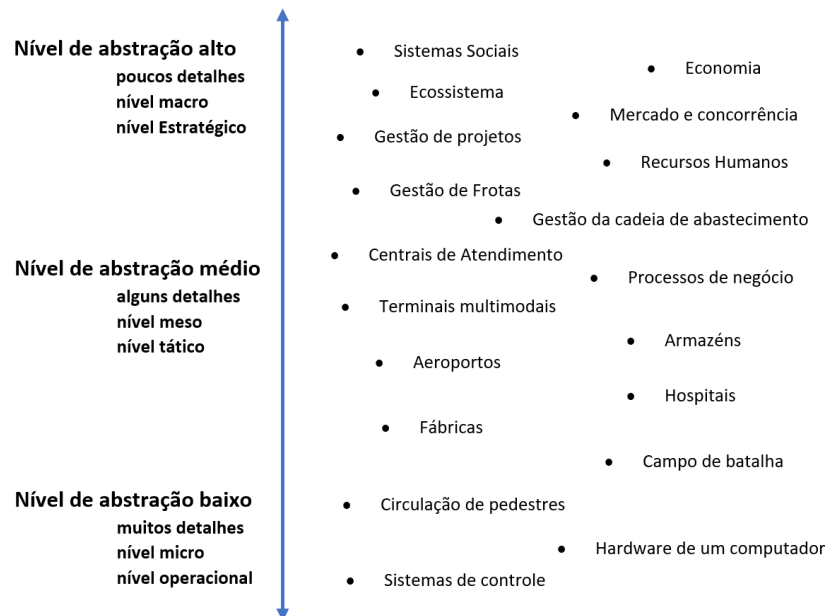


Figura 2.1: Exemplos de Modelos e respetivo nível de abstração  
Baseada numa imagem do livro [11]

Quando necessitamos de um modelo com muitos detalhes, do nível operacional, realizamos um modelo com um nível de abstração baixo. Ao contrário, se pretendermos um modelo com poucos detalhes, de nível estratégico, usamos um modelo de nível de abstração alto. Podemos ver exemplos na imagem 2.1.

Ao desenvolver um modelo é comum iniciar-se com um modelo de alta abstração, e ao longo do desenvolvimento ir adicionando detalhes de forma a obter o modelo pretendido.

### 2.3.3 Dinâmica de Sistemas

A modelagem em Dinâmica de Sistemas (DS) é normalmente utilizada em modelos de longo prazo e modelos estratégicos. Existe um alto nível de agregação de objetos, quer sejam pessoas, produtos, eventos ou outros objetos discretos. Esta metodologia pretende: modelar sistemas com uma estrutura fechada que define o seu próprio comportamento, descobrir o equilíbrio ou reforço de ciclos de retro alimentação do sistema ou/e identificar *stocks* e fluxos que afetam o sistema

### 2.3.4 Eventos Discretos

A modelagem de Sistemas de Eventos Discretos (SED) é uma modelagem que exige colocar o sistema que se quer modelar como um processo, ou seja, como uma sequência de operações a

serem realizadas. As operações podem incluir atrasos, serviços de vários recursos, seleções de ramos de processos, separações entre outros. Nestes modelos é normalmente estudada a utilização de recursos, o tempo gasto no sistema (ou em parte deste) para completar determinada tarefa, os tempos de espera, o desempenho do sistema e/ou gargalos.

### **2.3.5 Modelagem Baseada em Agentes**

A modelagem Baseada em Agentes (MAS) inicia-se na identificação dos agentes e na definição dos seus comportamentos. Um agente pode ter características proativas e reativas, capacidade de aprender, capacidade social, "intelectual", entre outras. Isto significa que um agente tem uma noção de estado, e as suas ações e reações dependem desse estado. Sendo assim, o comportamento é normalmente definido com diagramas de estado, mas também por regras, executadas por eventos especiais. Por vezes devido à complexidade a melhor forma de exprimir a dinâmica interna de um agente é usar dinâmica de sistemas ou eventos discretos.

## Capítulo 3

# O Modelo

O modelo foi implementado utilizando uma modelagem baseada em agentes devido ao elevado número de detalhes no estudo operacional.

Na primeira secção 3.1 é apresentado o *software* em que foi desenvolvido o modelo. Na secção 3.2 o modelo e os agentes implementados tendo como apoio tabelas com as respetivas variáveis, listas, funções associadas e diagramas de estado.

### 3.1 Anylogic

O *Anylogic* é um *software* de simulação baseado em *Java* que suporta as três metodologias de modelagem: DS, SED e MAS, sendo ainda possível combiná-las. Tendo a liberdade no método de modelagem, é possível utilizar o método de modelagem orientada a objetos baseada na linguagem UML, modelagem em *Java*, modelagem de fluxogramas baseado em *Statecharts* (diagrama de estados), que pode ser dividido em equações ordinárias e mistas, diferenciais e algébricas.

Com este *software* é possível modelar diferentes sistemas complexos e heterogéneos. Damos como exemplo: sistemas de controle, tráfego, linhas de produção, departamentos de logística, telecomunicações, redes, sistemas de computadores, máquinas, produtos químicos, tratamento de esgoto, sistemas militares, de educação, entre outros.

Para além do *software* permitir a construção dos modelos de forma modular, hierárquica e incremental, este inclui um banco de dados padrão que pode ser usado como ajuda de construção, o que permite construir os modelos mais rapidamente. Este banco de dados é usado para simular eventos discretos relacionados com a indústria produtiva, recursos logísticos, etc.

Esta subsecção foi baseada nos artigos [12] e [13]

## 3.2 Implementação do modelo

É no ficheiro *main* que o programa é iniciado e controlado. Todo o funcionamento está ligado a este ficheiro principal, pelo que os agentes são criados no mesmo, mas considerando um agente um objeto complexo, é necessário criar um ficheiro para cada agente com as suas características. Neste sentido os agentes são descritos nas suas subseções.

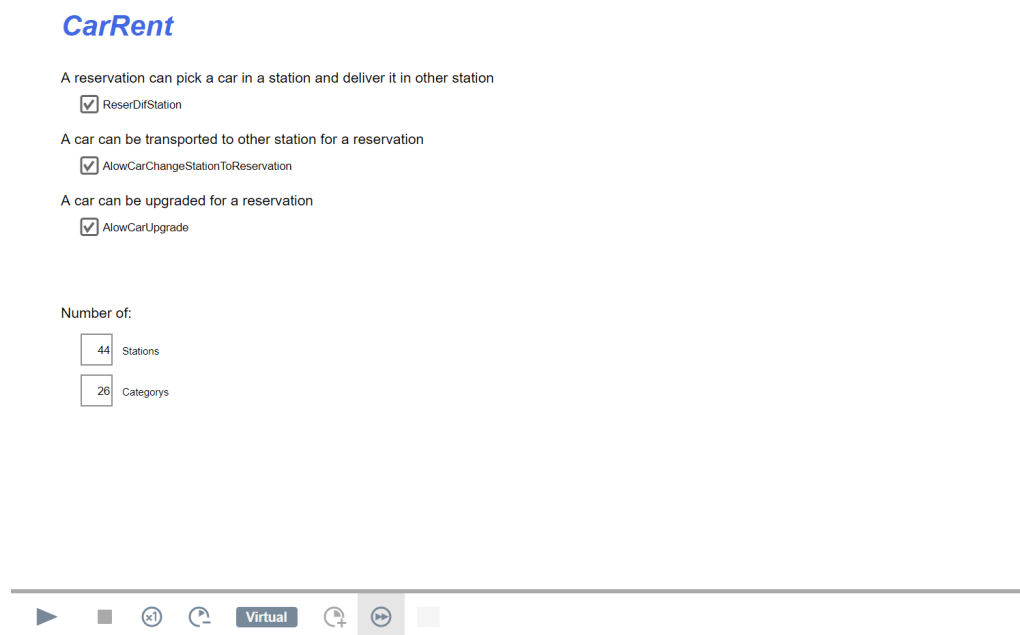


Figura 3.1: Painel de inicio da simulação

Na figura 3.1 é apresentado o painel de inicio da simulação. Foi colocado a possibilidade de alterar as características da simulação de forma a alterá-las facilmente, sem a alteração de código. Estas 3 características são: a possibilidade de serem criadas reservas que se iniciam numa estação e terminam noutra, ser realizado o transporte de um carro para satisfazer uma reserva, e ser realizado um *upgrade* numa reserva. Ao iniciar a simulação, clicando no *play*, é guardada a informação em três variáveis booleanas (apenas adquirem valor *true* ou *false*): *reserDifStation*, *alowCarTransport*, *alowCarUpgrade*, que serão acedidas posteriormente para cumprir estas características.

Antes de iniciar-se a simulação também é possível alterar o número de estações e de categorias de carros. Estes valores têm de estar de acordo com as informações contidas nos ficheiros *excel*, seja nos ficheiros de informação de *upgrade*, de transporte de carros ou da frota a ser estudada. Tanto as estações como as categorias têm códigos sequenciais e a começar no número 0. Isto significa que se quisermos 20 estações, estes irão adquirir códigos identificativos desde o valor 0 até ao valor 19. O incumprimento destes códigos nos ficheiros *excel* pode provocar erros na execução da simulação. Esta informação é guardada nas variáveis de valores numéricos inteiros: *numberOfStations* e *numberOfCarCategorys*

Tabela 3.1: Variáveis na *Main*

| Nome                                      | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>reservationsDifStations</i></b>     | se o valor for <i>true</i> autoriza a que sejam realizadas reservas que recolham carro numa estação e entreguem o mesmo noutra estação. Este valor pode ser alterado ao iniciar o programa                                                                                                    |
| <b><i>alowCarTransport</i></b>            | se o valor for <i>true</i> autoriza a que sejam realizados transportes de carros para a satisfação de uma reserva. Este valor pode ser alterado ao iniciar o programa                                                                                                                         |
| <b><i>alowCarUpgrade</i></b>              | se o valor for <i>true</i> autoriza a que sejam realizados <i>upgrades</i> . Este valor pode ser alterado ao iniciar o programa                                                                                                                                                               |
| <b><i>numberOfStations</i></b>            | indica o número de estações com que estamos a trabalhar. É usado este valor para criar as estações e o mesmo limita o número de células lidas no diversos ficheiros de <i>excel</i>                                                                                                           |
| <b><i>numberOfCarCategorys</i></b>        | indica o número de categorias de carros que estamos a trabalhar. Este valor limita o número de células lidas no diversos ficheiros de <i>excel</i>                                                                                                                                            |
| <b><i>dateStartCountCars</i></b>          | indica a data em que começa a ser feito o estudo. Esta variável foi necessária porque o programa começa a correr 14 dias antes para ser possível programar as reservas a serem realizadas, e porque se pretende a contagem de dias parados de cada carro apenas durante os 365 dias de estudo |
| <b><i>timeBetweenCarReservations</i></b>  | indica em minutos quanto tempo tem de haver entre a recolha de um carro e a entrega do mesmo para outra reserva                                                                                                                                                                               |
| <b><i>rateOfOrders</i></b>                | este valor é alterado todos os dias da simulação consoante o número de reservas que é suposto caírem nesse dia. Estes valores são retirados da lista                                                                                                                                          |
| <b><i>numberOfReservations</i></b>        | indica o número de reservas criadas até ao momento na simulação                                                                                                                                                                                                                               |
| <b><i>numberOfTransports</i></b>          | indica o número de transportes criados até ao momento na simulação                                                                                                                                                                                                                            |
| <b><i>numberOfUpgrades</i></b>            | indica o número de upgrades criados até ao momento na simulação                                                                                                                                                                                                                               |
| <b><i>numberOReservationsAccepted</i></b> | indica o número de reservas concluídas até ao momento na simulação                                                                                                                                                                                                                            |
| <b><i>numberOReservationsRefused</i></b>  | indica o número de reservas recusadas até ao momento na simulação                                                                                                                                                                                                                             |

Na simulação é necessário criar os diferentes agentes. Estes são criados ao iniciar o programa em diferentes quantidades.

- **Estações** - os agentes *Station* são criados consoante o número na variável *numberOfStations*
- **Carros** - para criar os agentes *Car* é utilizado um *excel* de nome *CarsStationDate*. Este *excel* contém uma matriz em que as linhas representam as categorias e as colunas as estações. Neste sentido o *excel* é percorrido por linha/coluna e cria o valor de carros em cada célula do *excel* adicionando a informação da sua categoria e da estação em que se inicia.
- **Reservas** - devido a uma limitação da versão de *software student*, é necessário fazer o reaproveitamento dos agentes das reservas. Antes de serem reaproveitados os agentes, quando o número total de agentes criados atingia os 50 mil, não era possível continuar a simulação. Este facto impossibilitava a simulação de um ano completo, visto que num ano há mais de 50 mil pedidos de reservas. Neste sentido são criados 34 mil agentes *Reservation* ao iniciar a simulação.

De forma a ser possível analisar a informação após a simulação, é utilizado um ficheiro *excel* de nome *ReservationInfo* para guardar todas as informações das reservas aceites, das reservas recusadas, dos transportes realizados e dos carros da simulação. Para não existir cruzamento indesejado de informação, todos os dados deste ficheiro são apagados ao iniciar a simulação. Após os dados serem apagados, são inseridos novamente as informações dos carros, que posteriormente serão atualizados. As reservas aceites e os transportes são introduzidos quando é associado um carro à mesma, enquanto uma reserva recusada é introduzida logo que esta é recusada.

Tabela 3.2: Distribuições na *Main*

| Nome                                   | Descrição                                           |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <i>durationReservationDistribution</i> | distribuição da duração das reservas                |
| <i>stationDistribution</i>             | distribuição das estações para as reservas          |
| <i>stationXXDistribution</i>           | distribuição das categorias dos carros na estação X |

Para controlo do utilizador durante a simulação, são criadas 5 variáveis que são atualizadas com o decorrer da simulação. Assim em qualquer momento da simulação é possível verificar o número de reservas criadas. E, dessas reservas, qual o número de reservas recusadas, o número de reservas aceites e iniciadas, o número de transportes e o número de upgrades.

Para facilitar o decorrer do programa são criadas listas para as reservas e os transportes consoante o seu estado. Neste caso temos uma lista com todas as *Reservation* que não se encontram em uso, de forma a ser possível utilizar uma *Reservation* desta lista quando é criado uma reserva ou um transporte. Se se encontrar em utilização, para além de encontrar-se na lista de reservas ou transportes ativos, *reservationsActive*, também se encontra noutra lista consoante o seu estado.

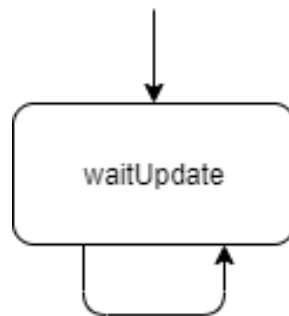
Pode encontrar-se à espera da data de recolha do carro, *reservationsWaiting*, pode encontrar-se a receber um carro, *reservationsToServe*, e pode encontrar-se em serviço, seja uma reserva ou um transporte, *reservationsInService* e *transportationsInProgress*. De forma a ser possível verificar um erro cometido pelo programa existem as duas listas de reservas e transportes em que ocorreu um erro. Estas duas listas, encontram-se vazias em toda a simulação.

Tabela 3.3: Listas na *Main*

| Nome                                    | Descrição                                                                                                                     |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>upgradePossibility</i></b>        | lista com listas com de booleanos, formando uma matriz que contém a possibilidade de upgrade                                  |
| <b><i>priceByCategory</i></b>           | lista com o preço de cada categoria por dia                                                                                   |
| <b><i>numberOfOrdersByDay</i></b>       | lista com o número de reservas a serem criadas por cada dia                                                                   |
| <b><i>emptyReservations</i></b>         | lista com todos os agentes <i>Reservation</i> que não se encontram em uso                                                     |
| <b><i>reservationsActive</i></b>        | lista com todos os agentes <i>Reservation</i> que se encontram em uso                                                         |
| <b><i>reservationsWaiting</i></b>       | lista com todos os agentes <i>Reservation</i> que se encontram à espera de uma data específica para receber um carro          |
| <b><i>reservationsToServe</i></b>       | lista com todos os agentes <i>Reservation</i> que encontram-se a receber um carro                                             |
| <b><i>reservationsInService</i></b>     | lista com todos os agentes <i>Reservation</i> , que se encontrem com uma reserva que se encontra em serviço                   |
| <b><i>transportationsInProgress</i></b> | lista com todos os agentes <i>Reservation</i> , que se encontrem com um transporte que se encontra a ser realizado no momento |
| <b><i>reservationsError</i></b>         | lista com todos os agentes Reserva com uma reserva em que ocorreu um erro                                                     |
| <b><i>transportationsInProgress</i></b> | lista com todos os agentes Reserva com um transporte em que ocorreu um erro                                                   |

Como será visto na subsecção referente ao agente reserva, cada reserva tem um preço associado ao cliente. Este valor depende do número de dias da reserva e da categoria do carro pretendida. Com este valor pretende-se verificar se é recompensador realizar o transporte de um carro para outra estação, caso esta característica da simulação esteja ativa. Neste sentido é criada uma lista de preços com o nome *priceByCategory*. Como o nome indica, estes preços estão organizados por categoria e é respetivo a um único dia de aluguer.

Com a informação do ficheiro *excel UpgradeData* é criada uma matriz (uma lista com diversas listas) de nome *upgradePossibility*. Esta matriz é utilizada sempre que se pretende verificar para que categorias é possível realizar um *upgrade* a partir de outra.

Figura 3.2: Diagrama de estado na *Main*

As reservas são criadas por um evento, *newOrder*. Este evento é realizado consoante uma taxa por dia de simulação, que é descrita na variável *rateOfOrders*. Esta variável é atualizada a cada 24h pelo diagrama de estados da imagem 3.2. Ao entrar no único estado deste diagrama é corrida a função *updateRateOfOrders*, sendo que este acontecimento ocorre a cada 24h de simulação. Em cada evento é criado uma reserva, em que é selecionado:

- *stationout* - uma estação para recolha do carro, com base numa distribuição discreta das estações *stationDistribution*;
- *stationin* - uma estação de devolução do carro, sendo que há uma probabilidade de 15% que esta seja diferente da estação de recolha quando é autorizado que existam reservas deste género (é tido em atenção que um carro não pode ser recolhido numa estação em Portugal continental e ser devolvido nas ilhas, e vice-versa)
- *dateout* - a data de início, que é 14 dias após a data atual da simulação
- *datein* - a data de fim, que é calculada a partir da duração da reserva que tem como base uma distribuição de duração, *durationReservationDistribution*;
- *carcategory* - a categoria do carro que se pretende, tendo em conta uma distribuição discreta das categorias em relação à estação de recolha do carro, *stationXXDistribution*;
- *price* - o preço da reserva que é calculado pelo número de dias da reserva e a categoria do carro

Tabela 3.4: Função na *Main*

| Nome                             | Descrição                                                                                     |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>updateRateOfOrders</i></b> | procura o número de reservas a serem criadas no dia e atualiza a variável <i>rateOfOrders</i> |

A função *updateRateOfOrders* que é referida no parágrafo anterior, obtém uma nova taxa para a criação de reservas consoante a data atual de simulação. Esta taxa é recolhida por uma lista, *numberOfOrdersByDay*, que inicialmente foi criada perante uma lista de valores num ficheiro *excel* de nome *OrdersDayData*.

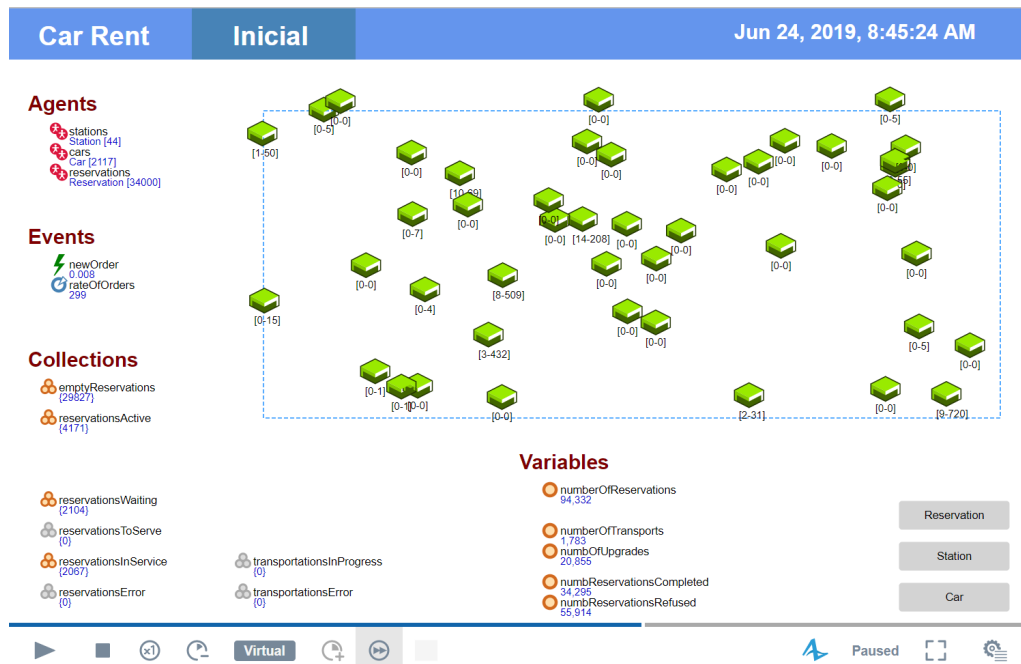


Figura 3.3: Painel durante uma simulação

O painel que é visualizado durante uma simulação é o apresentado na imagem 3.3. Neste painel é possível retirar diversas informações no momento de simulação:

- Data: no canto superior direito
- Número de agentes: à esquerda é possível verificar quantos agentes são considerados na simulação. Neste caso:
  - 44 agentes *Station*, que no total são referenciados como *stations*;
  - 2217 agentes *Car*, que no total são referenciados como *cars*;
  - 34000 agentes *Reservation*, que no total são referenciados como *reservations*
- Informação de criação de uma nova reserva: é possível verificar a contagem decrescente para o evento *newOrder* ocorrer, e quantas reservas estão a ser realizadas nesse dia pela variável *rateOfOrders*
- O estado geral dos agentes *Reservation*: pelas listas, é possível perceber quantos agentes se encontram sem utilização, quantos carros se encontram em transporte ou a serem utilizados em reservas. Neste caso nenhum carro se encontra em transporte, 2068 carros encontram-se em utilização numa reserva e 2104 reservas foram aceites e encontram-se em espera pela data de início.
- Os dados gerais da simulação: pelas variáveis do lado direito central inferior é possível perceber quantas reservas foram aceites, recusadas, etc. Neste caso foram criadas 94332 reservas, das quais 55914 foram recusadas, 34295 foram aceites e já se iniciaram. Das aceites, é possível verificar que 1783 necessitaram de transporte e 20855 necessitaram de *upgrade*.

- Informação básica sobre as estações: abaixo de cada representação da estação é possível verificar quantos carros se encontram na estação (valor à esquerda) e quantos carros irão ser entregues (valor à direita).

No canto inferior direito ainda existem 3 botões que são reencaminhados para as informações individuais de cada agente.

### 3.2.1 Car

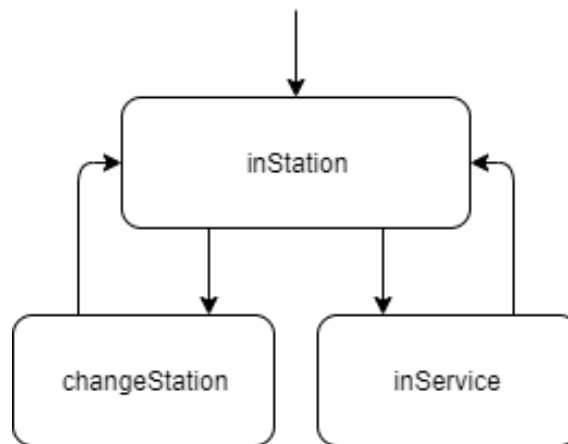
Como o próprio nome indica, este agente representa o carro a ser alugado. Cada carro tem um código associado, de forma a ser possível identificar o carro sempre que necessário. Quando um agente *Car* é criado, é obrigatório serem definidas mais duas características além do código de identificação. Estas duas características são: a categoria de carros em que este se insere e a estação onde é colocado no início da simulação.

Tabela 3.5: Variáveis do agente *Car*

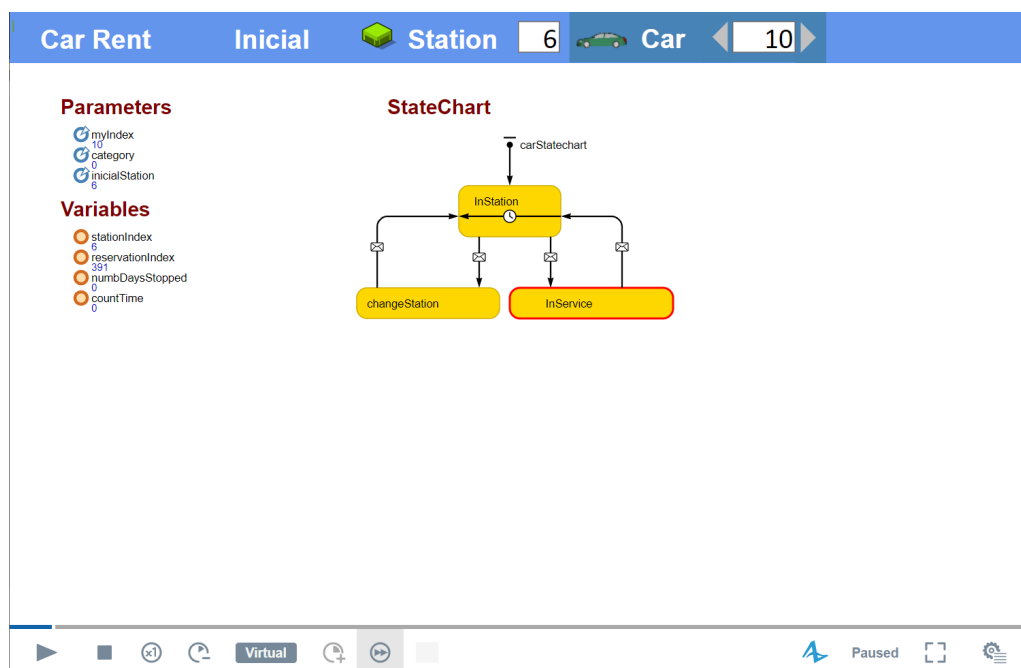
| Nome                           | Descrição                                                                                                          |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>myIndex</i></b>          | indica o código do respetivo carro em relação ao total de carros.                                                  |
| <b><i>category</i></b>         | indica a categoria/gama em que se insere o carro.                                                                  |
| <b><i>inicialStation</i></b>   | indica o código da estação a que foi alocado este carro no início da simulação.                                    |
| <b><i>stationIndex</i></b>     | indica o código da estação em que se encontra, ou qual a estação é que este vai ser entregue                       |
| <b><i>reservationIndex</i></b> | indica o código da reserva em que se encontra a ser utilizado, podendo o valor ser -1 se encontrar-se numa estação |
| <b><i>numbDaysStopped</i></b>  | indica o número de dias desde o início da simulação, que o carro esteve parado                                     |
| <b><i>countTime</i></b>        | é uma variável auxiliar para contabilizar o tempo que o carro esteve parado                                        |

No decorrer da simulação a localização do carro vai diferenciando. Desta forma existem duas variáveis que pretendem identificar qual a localização do mesmo. A variável *stationIndex* que identifica o código da estação em que se encontra o carro ou que irá ser entregue, e a variável *reservationIndex* que indica o código da reserva/transporte ao qual o carro se encontra alocado. Quando o carro não se encontra alocado a nenhuma reserva ou transporte a variável adquire o valor -1.

Para efeitos de análise posterior é guardado o código da estação em que o carro iniciou a simulação, *inicialStation*, mas também calculado o número de dias parados. Para a contagem de dias parados é utilizada uma variável auxiliar, *countTime*, que incrementa enquanto o carro está parado e volta a zero quando o carro é recebido numa estação após uma reserva.

Figura 3.4: Diagrama de estado do agente *Car*

Este agente é definido pelo diagrama de estados apresentado na imagem 3.4. Quando o agente é criado com todas as suas características este encontra-se no primeiro estado, ou seja, disponível na estação. Estando disponível na estação é feita a contagem de dias parados como já referido. Assim caso esteja 24h parado é incrementada a variável *numbDaysStopped*. Ao se encontrar disponível na estação este pode ser alterado de estação, ou seja, transportado para outra estação, ou então pode ser entregue a um cliente. Ao concluir a reserva ou o transporte volta ao estado inicial. A transição do estado é realizada por mensagens de um agente reserva, sendo possível o carro receber 4 mensagens diferentes.

Figura 3.5: Painel de um agente *Car*

Na imagem 3.5 é possível ver o painel de um carro durante uma simulação. Neste é possível retirar as informações do mesmo. Neste caso é possível verificar que este carro é da categoria 0 e iniciou-se na estação 6. Neste momento encontra-se alocado a uma reserva, mais concretamente à reserva com o código 391, e vais retornar novamente à estação 6. É possível navegar entre os carros pelas setas que se encontram no topo do painel.

### 3.2.2 Station

O agente que representa uma estação tem unicamente uma característica, o código da estação.

Tabela 3.6: Variável do agente *Station*

| Nome                  | Descrição                            |
|-----------------------|--------------------------------------|
| <b><i>myIndex</i></b> | indica o código da respetiva estação |

Neste agente existem três listas de elementos do mesmo género. A primeira lista serve para saber que carros se encontram disponíveis de cada categoria. Assim se for necessário por exemplo saber quantos carros da categoria X se encontram disponíveis nessa estação, é apenas necessário correr o código *carNotInUse.get(X).size()*. As outras duas listas são utilizadas para verificar se é possível e rentável fazer um transporte de um carro para outra estação. Caso se justifique são utilizados novamente os valores para criar o transporte.

Estas últimas duas listas são preenchidas com base nas duas matrizes que se encontram no ficheiro *excel* de nome *Transport*. Este procedimento acontece na função *collectValues*. Nesta função ainda são criadas as diversas listas consoante o número de categorias na lista *CarNotInUse*. Esta função é corrida uma única vez quando o agente é criado.

Tabela 3.7: Listas do agente *Station*

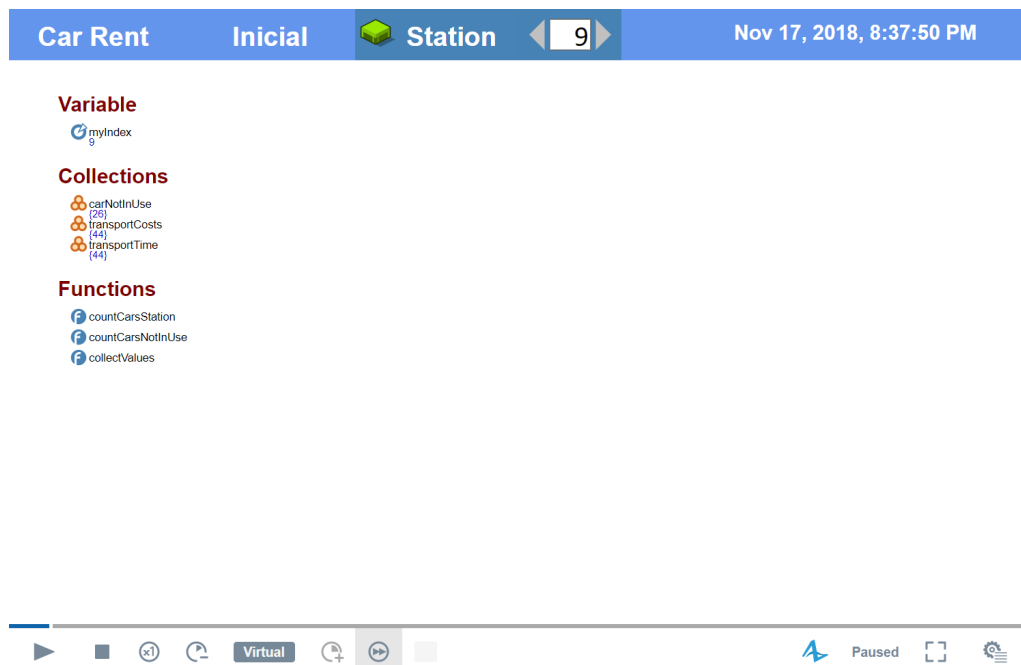
| Nome                         | Descrição                                                                                                                                |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>carNotInUse</i></b>    | Esta lista contém outras listas. Estas últimas contêm os carros que se encontram disponíveis na estação consoante a categoria dos mesmos |
| <b><i>transportCosts</i></b> | Contém uma lista dos custos de transporte de carros entre as outras estações para a mesma estação                                        |
| <b><i>transportTime</i></b>  | Contém uma lista do tempo necessário para transporte de carros de outras estações para a mesma estação                                   |

Para perceber quantos carros serão entregues na estação e/ou quantos se encontram na estação de momento, são criadas as funções *countCarStation* e *countCarsNotInUse*.

Tabela 3.8: Funções do agente *Station*

| Nome                            | Descrição                                                                                                                                                               |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>countCarStation</i></b>   | Função que recolhe a quantidade total de carros que se encontram na estação e que retornaram a esta estação                                                             |
| <b><i>countCarsNotInUse</i></b> | Função que recolhe a quantidade total de carros que se encontram disponíveis na estação                                                                                 |
| <b><i>collectValues</i></b>     | Função que obtém o tempo e custo de transporte entre as estações, e que cria as listas de carros disponíveis por categoria consoante o número de categorias existentes. |

Quando realizada uma simulação com os dados reais, verificou-se que o diagrama de estados realizado para este agente era incompatível, pelo que este foi eliminado. Inicialmente foi implementado um diagrama de estados em que a estação recolhia a informação das reservas e recebia ou dava um carro. Quando recorremos aos dados reais, devido ao curto espaço de tempo em que as reservas eram geradas e os carros na estação eram entregues ao cliente ou recebidos pelo mesmo, a informação que o carro tinha sido entregue ou recebido chegava com um *delay* que afetava a aceitação ou rejeição das novas reservas. Neste sentido esta questão é realizada apenas nos agentes da reserva e do carro selecionado.

Figura 3.6: Painel de um agente *Station*

No painel referente a uma estação, imagem 3.6, não é possível retirar informação útil a partir deste painel. Neste caso o painel principal é mais informativo.

### 3.2.3 Reservation

Um agente *Reservation* como já foi referido pode estar a ser utilizado ou não. O mesmo quando é utilizado pode referir-se a um transporte ou uma reserva. Em ambos os casos têm um código de identificação, que se encontra na variável *myIndex*. Para ser perceptível se o agente está a ser utilizado como reserva ou transporte, ainda é utilizado uma variável booleana, *transportation*, que nos indica que a mesma é um transporte caso tenha valor *true*, ou que é uma reserva caso tenha valor *false*.

Uma reserva e um transporte têm informações importantes semelhantes:

- *stationOut* - estação em que é recolhido o carro
- *stationIn* - estação em que é devolvido o carro
- *dayOut* - data em que é recolhido o carro
- *dayIn* - data em que é devolvido o carro
- *carCategory* - categoria do carro

Para além destas informações, como já foi referido uma reserva está associada a um valor monetário que é guardado na variável *price*. No caso de um transporte a mesma variável é utilizada para introduzir o custo do mesmo transporte.

Tabela 3.9: Variáveis do agente *Reservation*

| Nome                            | Descrição                                                                                                                            |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>myIndex</i></b>           | indica o código da reserva                                                                                                           |
| <b><i>stationOut</i></b>        | indica o código da estação em que se pretende recolher o carro                                                                       |
| <b><i>stationIn</i></b>         | indica o código da estação em que se pretende devolver o carro                                                                       |
| <b><i>dayOut</i></b>            | indica a data e hora em que se pretende recolher o carro                                                                             |
| <b><i>dayIn</i></b>             | indica a data e hora em que se pretende devolver o carro                                                                             |
| <b><i>carCategory</i></b>       | indica a categoria do carro que se pretende, ou caso a reserva tenha sido aceite, a categoria do carro selecionado                   |
| <b><i>price</i></b>             | indica o valor gerado pela reserva                                                                                                   |
| <b><i>transportation</i></b>    | caso seja <i>true</i> , significa que é um transporte entre estações para satisfazer uma reserva                                     |
| <b><i>carPicked</i></b>         | indica o carro que foi selecionado                                                                                                   |
| <b><i>acceptReservation</i></b> | indica se a reserva foi aceite ou não                                                                                                |
| <b><i>waitTime</i></b>          | é uma variável de auxílio para caso não haja o carro disponível, ou seja para verificar que não existiu erro na aceitação da reserva |
| <b><i>upgrade</i></b>           | indica se a reserva teve um upgrade ou não                                                                                           |
| <b><i>carCategoryAsked</i></b>  | indica a categoria do carro pedido inicialmente, caso este tenha sofrido um upgrade                                                  |

Uma reserva pode sofrer um upgrade. Neste caso a variável booleana *upgrade* é tornada *true*, é guardada a categoria pedida na variável *carCategoryAsked* e colocado na variável *carCategory* a categoria do carro para o qual é feito o upgrade.

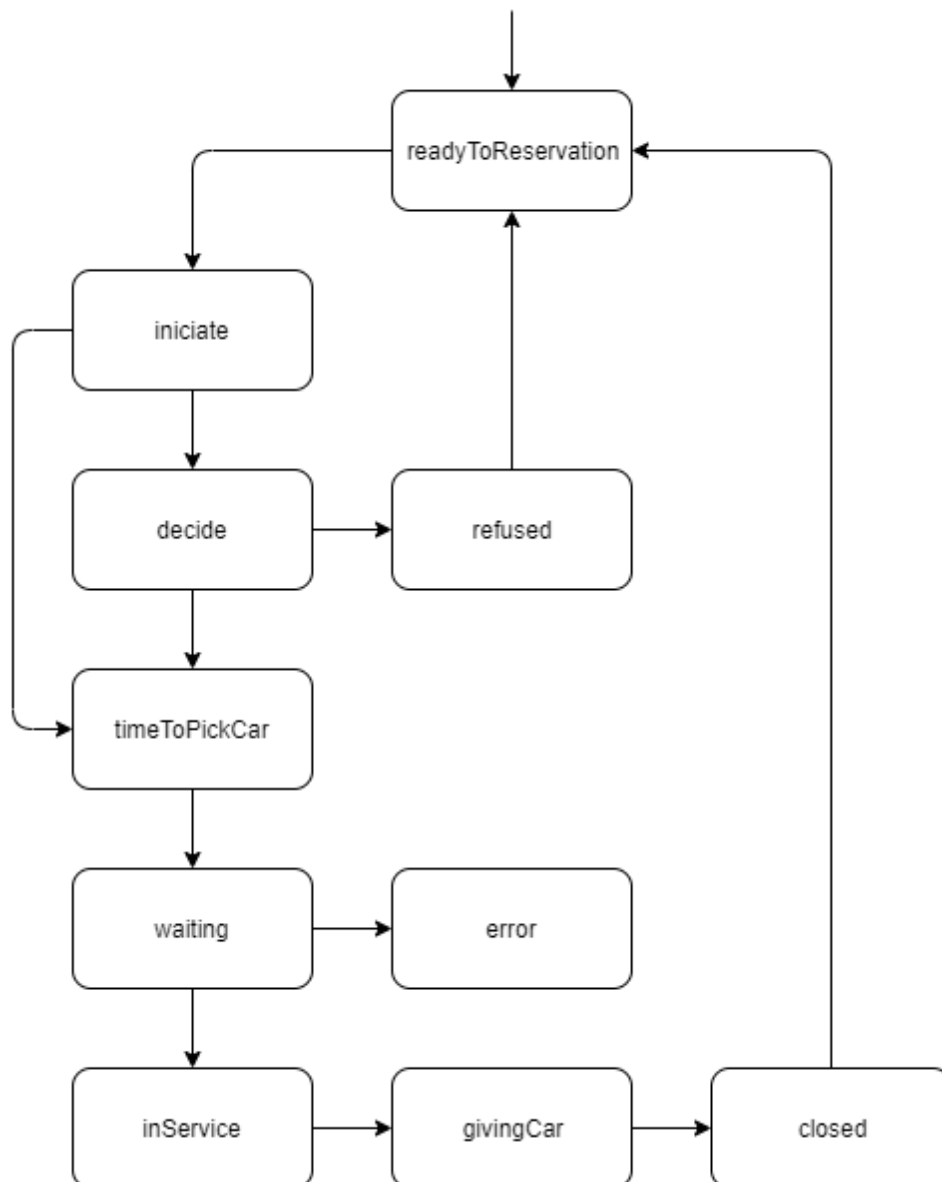


Figura 3.7: Diagrama de estado do agente *Reservation*

O estado deste agente é representado na imagem 3.7. Como foi referido, quando o agente é iniciado é colocado num estado disponível para receber informações de uma reserva ou de um transporte. Quando este recebe informações, este agente é iniciado, sendo possível passar para o estado *decide* ou *timeToPickCar*. Se for uma reserva este passa para o estado *decide* em que verifica se é possível satisfazer a reserva ou não. Quando não é possível satisfazer a reserva esta é recusada e o agente passa para o estado inicial, disponível para receber informações de uma nova

reserva ou transporte.

Quando uma reserva pode ser satisfeita a variável *acceptReservation* passa a *true*. Para isto acontecer foi necessário criar três funções que avaliam a possibilidade de uma reserva ser satisfeita:

- A função *joinReservations* necessita que seja passada uma lista de reservas e a estação que se está a estudar. Consoante esta lista de reservas é retornado a quantidade de carros que são necessários na estação em estudo. É tido em consideração que o mesmo carro pode ser utilizado para várias reservas caso as datas o permitam.
- A função *carAvailableInStation* necessita que seja passado a categoria do carro, a estação de recolha e entrega do carro como as respetivas datas. Com base nesta informação são percorridas todas as reservas e transportes a decorrer e já agendados (lista *reservationsActive* na *Main*). Todos os transportes e reservas que influenciem o número de carros disponíveis na estação para o intervalo de datas em estudo são agrupados numa lista que é passada para a função *joinReservations*. Com a informação de quantos carros são necessários e quantos existem de momento na estação da categoria em estudo, a função retorna quantos carros se encontram disponíveis para as datas em estudo. É tido em consideração a deslocação de carros em reservas, e a necessidade dos mesmos para reservas futuras.
- A função *acceptReservation* verifica se existem carros disponíveis da categoria pretendida no intervalo de datas da reserva. Caso não existam, é verificado se a simulação permite *upgrades* (variável *allowCarUpgrade* na *Main*), e em caso afirmativo é verificado se existe a possibilidade de upgrade na estação em estudo. Caso não seja possível realizar *upgrade*

Tabela 3.10: Funções do agente *Reservation*

| Nome                                | Parametros                                                                                     | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>receiveCar</i></b>            |                                                                                                | Seleciona um carro disponível da categoria na estação de recolha da reserva/transporte                                                                                                                                                                                |
| <b><i>giveCar</i></b>               |                                                                                                | Entrega o carro utilizado na estação de entrega da reserva/transporte                                                                                                                                                                                                 |
| <b><i>joinReservations</i></b>      | Lista de Reservas<br>Estação de Estudo                                                         | Verifica quantos carros são necessários para a lista de reservas na estação em estudo                                                                                                                                                                                 |
| <b><i>carAvailableInStation</i></b> | Categoria do Carro<br>Estação de Saída<br>Estação de Entrada<br>Dia de Saída<br>Dia de Entrada | Verifica se existe carros disponíveis da categoria indicada entre a data de saída e entrada na estação de saída (verificando se vai ser preciso o mesmo caso a estação de entrada seja diferente da de saída). Esta função utiliza a função <i>joinReservations</i> . |
| <b><i>acceptReservation</i></b>     |                                                                                                | Verifica se é possível aceitar a reserva tendo em conta <i>upgrades</i> e transportes. Esta função utiliza a função <i>carAvailableInStation</i>                                                                                                                      |

ainda é verificado se a simulação permite o transporte de carros entre estações (variável *allowCarTransport* na *Main*) e em caso afirmativo é verificado se existe a possibilidade de transporte com um custo inferior a 20% do valor monetário guardado na variável *price*. Esta função utiliza em todas as situações a função *carAvailableInStation*

Na função *acceptReservation*, quando é verificado que uma reserva pode ser satisfeita com um transporte, este é imediatamente criado. Da mesma forma, quando uma reserva pode ser satisfeita com um *upgrade* a informação relativa a este *upgrade* é imediatamente atualizada na reserva.

Depois de um transporte ou de uma reserva ter sido aceite, este fica no estado *timeToPickUp*, o que significa que fica à espera do momento em que o transporte ou a reserva foi programada. Quando chega o momento ao qual a reserva ou transporte foi programado este passa para o estado *waiting*, em que é dado um carro para satisfazer o pedido. Caso não tenha sido selecionado nenhum carro este passa para o estado *error*. Nota-se que este estado tem como objetivo verificar se existiu algum erro no processo, sendo que na versão final, não existe qualquer agente que entre neste estado.

Para verificar se existiu algum erro no processo, é utilizado a variável *waitTime*, em que conta o tempo que a reserva está à espera de receber o carro. O tempo limite é de meia hora.

Quando a reserva ou o transporte recebe o carro, o código relativo ao carro é guardado na variável *carPicked*. No diagrama de estados este fica no estado *inService* até que o carro seja devolvido no estado *givingCar*. Após a reserva ser concluída este agente passa a estar disponível para receber informações de uma próxima reserva ou transporte.

Para a recolha e entrega do carro foi necessário criar uma função para cada tarefa, *receiveCar* e *giveCar*

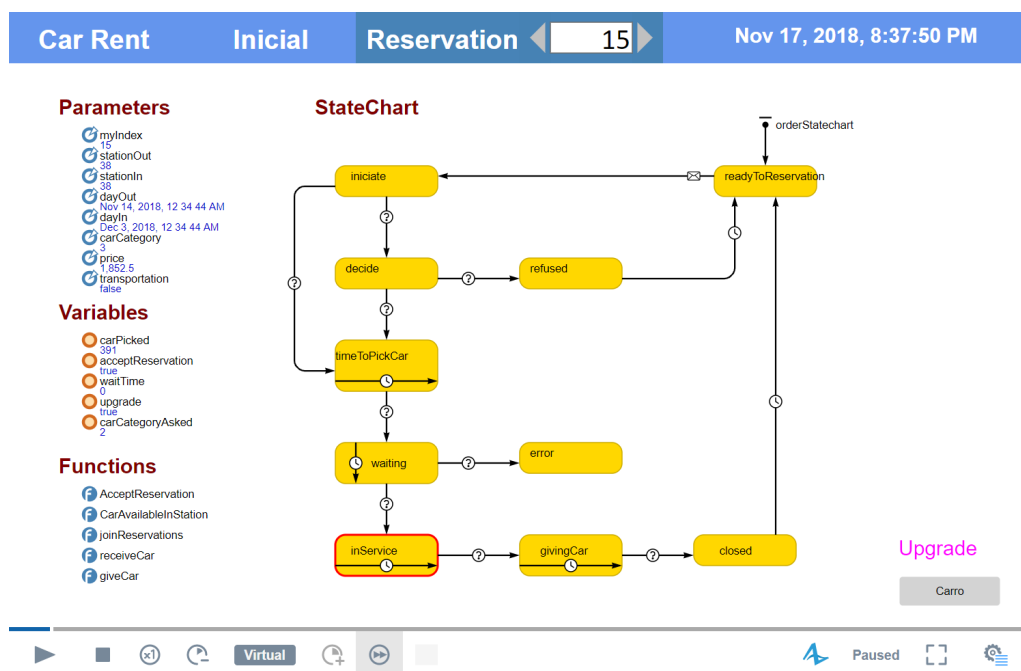


Figura 3.8: Painel de um agente *Reservation*

Na imagem 3.8 é possível observar o painel de uma reserva durante uma simulação. É possível retirar as informações básicas da reserva, e ainda perceber em que estado se encontra a reserva no momento da simulação.

## Capítulo 4

# Simulação

Com os dados fornecidos de uma empresa de aluguer automóvel portuguesa foi possível estabelecer uma simulação realista. As informações usadas para a simulação encontram-se na secção 4.1 enquanto os resultados das diversas simulações são apresentados na secção 4.2.

### 4.1 Dados Utilizados

A partir de uma amostra de pedidos de reservas de 6 meses de uma empresa de aluguer automóvel são retiradas as diversas informações de forma a criar as diversas distribuições necessárias. Estas distribuições pretendem descrever a duração das reservas, as estações que são pedidas e as categorias que são pedidas consoante a estação. Estes dados foram analisados e foram feitas diversas tentativas para aproximar estas distribuições a distribuições conhecidas. Devido ao ajuste das distribuições conhecidas ser muito baixo, estas foram inseridas no programa como distribuições customizadas, ou seja, diretamente sob a forma de uma distribuição de probabilidades/histograma.

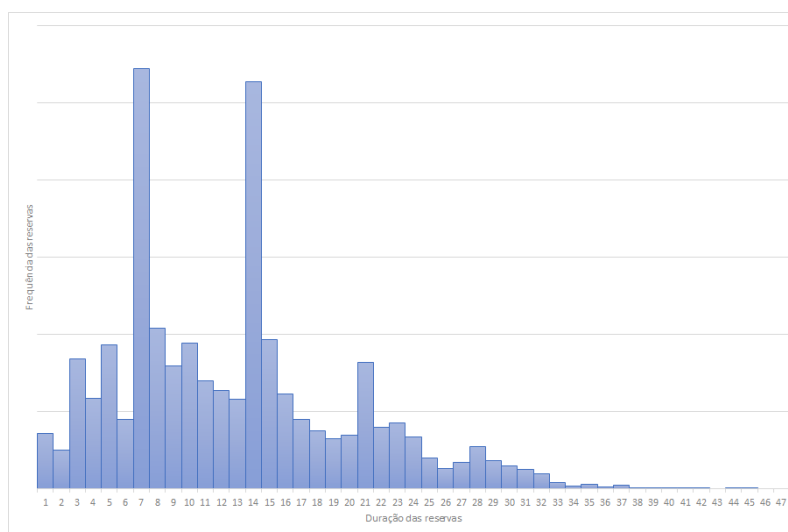


Figura 4.1: Histograma da duração das reserva

Para a duração das reservas foi criada a tabela de frequência A.1 (que se encontra no anexo A). Na amostra obtivemos o valor mínimo de 0,04 dias, o valor máximo de 365 dias e a média da amostra é de 12,82 dias. A tabela contém 365 classes de forma a que cada barra do gráfico corresponda a reservas com X dias. Analisando esta tabela foi decidido que apenas seria utilizado a tabela até ao valor 47. Esta decisão teve em consideração que apenas existiam 3 reservas com duração entre os 55 e os 56 dias, 65 reservas entre os 95 e os 96 e 8 reservas entre os 364 e os 365 dias, o que é um valor residual numa amostra de 40232 reservas, para além de que estas reservas de longa duração requerem uma atenção diferente por parte da empresa de aluguer. Neste sentido no gráfico da figura 4.1 é possível visualizar o histograma realizado a partir da tabela de frequência, sendo este o que é inserido na simulação.

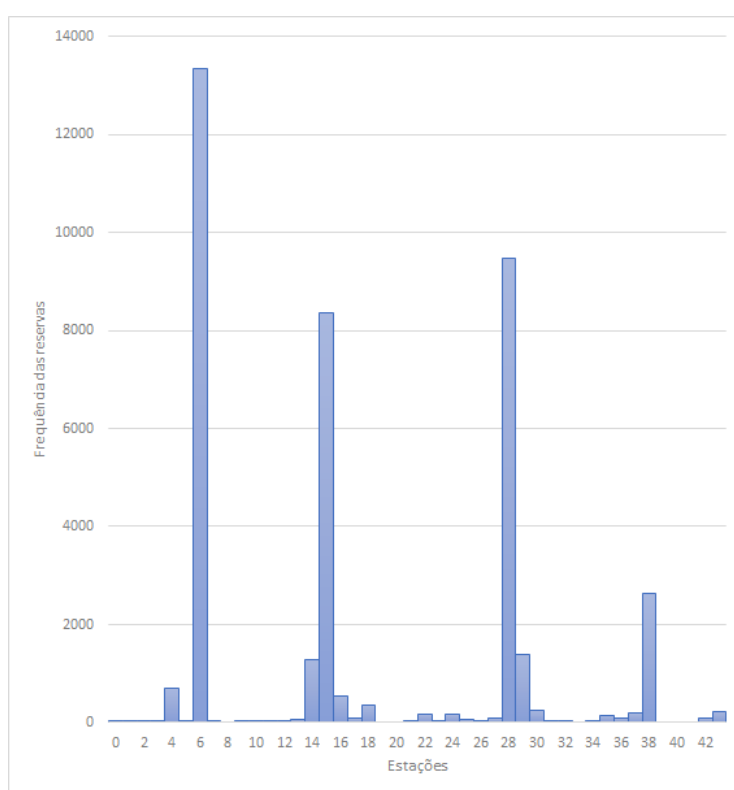


Figura 4.2: Distribuição das reservas pelas diversas estações

Tendo em conta as 44 estações é criada uma distribuição discreta com o número de reservas para cada estação. Destas 44 estações existem estações que não tiveram qualquer pedido de reserva na amostra de reservas fornecido pela empresa portuguesa. Neste sentido temos 37 estações que irão receber reservas na simulação e 7 estações que apenas têm carros disponíveis para transporte para as outras estações. A distribuição discreta pode ser observada no gráfico da imagem 4.2, ou então na tabela A.2 no anexo A.

A distribuição das categorias é feita por estação, o que significa que são criadas 44 distribuições discretas para as categorias. As tabelas e os gráficos dos mesmos encontram-se no anexo

A. As 7 estações (8, 19, 20, 33, 39, 40 e 41) que não têm reservas, foram colocadas com uma distribuição igual por todas as categorias.

Tabela 4.1: Preço médio por dia por categoria

| Categoria | Preço médio | Categoria | Preço médio | Categoria | Preço médio |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 0         | 95,77       | 10        | 92,66       | 20        | 95,73       |
| 1         | 95,33       | 11        | 94,15       | 21        | 97,23       |
| 2         | 97,5        | 12        | 97,6        | 22        | 93,34       |
| 3         | 95          | 13        | 93,0        | 23        | 96,29       |
| 4         | 95,97       | 14        | 93,67       | 24        | 97,68       |
| 5         | 100,88      | 15        | 92,7        | 25        | 96,29       |
| 6         | 95,61       | 16        | 94,58       |           |             |
| 7         | 96,18       | 17        | 93,8        |           |             |
| 8         | 96,42       | 18        | 95,37       |           |             |
| 9         | 94,77       | 19        | 98,38       |           |             |

Para a lista de preços por categoria, que vai ser usada como comparação para os transportes de carros, foi feito uma média do preço por categoria. Esta média pode ser observada na tabela 4.1. Lembra-se que estes valores serão utilizados para definir um valor a cada reserva de forma a ser possível verificar se é rentável fazer um transporte para a mesma reserva.

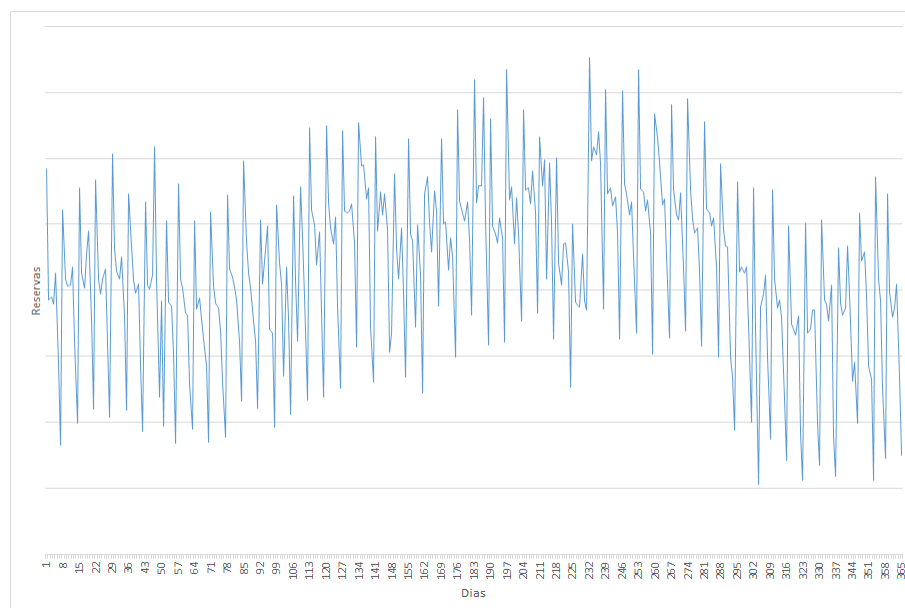


Figura 4.3: Variação do número de reservas em 365 dias

O gráfico 4.3 representa os dados fornecidos pela empresa de aluguer portuguesa, referentes ao número de reservas que se iniciaram em 365 dias. O número de reservas sofre várias variações, como por exemplo o dia da semana e a altura do ano. Numa fase inicial foi realizada a simulação com os dados reais. Posteriormente procedeu-se à redução em 50% dos valores reais, devido ao tempo necessário para a simulação, mantendo a possibilidade de extrapolação de dados.

Com a amostra da lista de carros que a empresa de aluguer automóvel forneceu, foi possível criar a matriz base 4.2, apresentado a quantidade das diferentes tipologias de veículos (horizontal) pelas diversas estações (vertical). Esta matriz representa a proporção de carros a ser utilizada nas simulações. Isto significa que se a estação 6 tiver um carro da categoria 4, esta mesma estação irá ter quatro carro da categoria 3, e a estação 15 irá ter sete carros da categoria 3. Por outro lado se a estação 6 tiver dois carros da categoria 4, esta mesma estação irá ter oito carros da categoria 3 e a estação 15 irá ter quatorze carros da categoria 3.

A matriz de possibilidade de *upgrade*, a matriz de tempos de transportes e a matriz de custos de transportes também foram fornecidos e encontram-se no anexo A.

## 4.2 Resultados das Simulações

### 4.2.1 Primeiros Resultados

Para estudar a proporção de carros que foi fornecida é multiplicado a matriz 4.2. Com esta multiplicação é possível obter frotas com diferentes dimensões com a mesma proporção de carros das diferentes categorias nas diversas estações.

Tabela 4.3: Informações das simulações com base na matriz base

| Multiplicação | Nº Carros | Nº Aceites | Nº Recusadas | Nº Transportes | Nº Upgrades | Sem transporte/upgrade |
|---------------|-----------|------------|--------------|----------------|-------------|------------------------|
| 3             | 1848      | 52260      | 105851       | 2209           | 28343       | 21708                  |
| 5             | 3080      | 85585      | 72270        | 4356           | 38060       | 43169                  |
| 7             | 4312      | 113538     | 44489        | 6991           | 40240       | 66307                  |
| 9             | 5544      | 131858     | 26410        | 8606           | 39735       | 83517                  |
| 11            | 6776      | 142103     | 15658        | 9103           | 36437       | 96563                  |
| 13            | 8008      | 147882     | 10152        | 8754           | 34608       | 104520                 |
| 15            | 9240      | 150987     | 7244         | 8014           | 32798       | 110175                 |
| 17            | 10472     | 152502     | 5264         | 7449           | 31126       | 113927                 |
| 19            | 11704     | 154196     | 4035         | 6668           | 28801       | 118727                 |
| 21            | 12936     | 154765     | 3086         | 6046           | 25752       | 122967                 |
| 23            | 14168     | 155309     | 2634         | 5340           | 23235       | 126734                 |

Os resultados destas 11 simulações encontram-se apresentados na tabela 4.3. De forma a analisar os dados desta tabela as reservas recusadas foram traduzidas no gráfico da imagem 4.4 e as reservas aceites foram traduzidas no gráfico da imagem 4.5.

Tabela 4.2: Matriz base da distribuição da frota

|    | 0  | 1  | 2  | 3  | 4 | 5  | 6 | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | T   |
|----|----|----|----|----|---|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 2   |
| 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   |
| 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2   |
| 3  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   |
| 4  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 1  | 1  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3  | 0  | 1  | 0  | 2  | 14  |
| 5  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0 | 1  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 5   |
| 6  | 4  | 3  | 5  | 4  | 1 | 2  | 0 | 6  | 6  | 10 | 4  | 6  | 4  | 2  | 2  | 4  | 5  | 6  | 2  | 0  | 4  | 6  | 3  | 2  | 0  | 4  | 95  |
| 7  | 3  | 0  | 0  | 0  | 0 | 2  | 0 | 1  | 2  | 3  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 2  | 3  | 1  | 0  | 0  | 2  | 2  | 0  | 0  | 3  | 2  | 28  |
| 8  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3   |
| 9  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 1  | 0 | 1  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 7   |
| 10 | 3  | 0  | 1  | 1  | 0 | 0  | 0 | 2  | 0  | 1  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2  | 1  | 1  | 0  | 2  | 3  | 2  | 2  | 0  | 0  | 24  |
| 11 | 3  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 11  |
| 12 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4   |
| 13 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 2   |
| 14 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 2  | 7   |
| 15 | 5  | 1  | 5  | 7  | 1 | 1  | 0 | 8  | 1  | 6  | 3  | 7  | 0  | 3  | 0  | 7  | 6  | 3  | 1  | 0  | 3  | 6  | 1  | 3  | 0  | 3  | 81  |
| 16 | 1  | 0  | 0  | 1  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3   |
| 17 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   |
| 18 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3   |
| 19 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 20 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 21 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 3   |
| 22 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 10  |
| 23 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2   |
| 24 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 1  | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 4   |
| 25 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4   |
| 26 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 6   |
| 27 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 28 | 5  | 1  | 4  | 1  | 4 | 0  | 0 | 5  | 1  | 7  | 2  | 3  | 0  | 3  | 0  | 0  | 3  | 2  | 1  | 0  | 1  | 4  | 2  | 6  | 3  | 4  | 62  |
| 29 | 2  | 0  | 0  | 2  | 1 | 0  | 0 | 0  | 2  | 1  | 1  | 1  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 3  | 1  | 0  | 1  | 1  | 19  |
| 30 | 2  | 2  | 0  | 0  | 0 | 1  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 10  |
| 31 | 2  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 2  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 12  |
| 32 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 2  | 6   |
| 33 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 3   |
| 34 | 0  | 0  | 1  | 1  | 0 | 0  | 0 | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 7   |
| 35 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 5   |
| 36 | 3  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 2  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 13  |
| 37 | 0  | 0  | 0  | 1  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4   |
| 38 | 2  | 1  | 0  | 2  | 0 | 0  | 0 | 4  | 0  | 2  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2  | 2  | 3  | 0  | 0  | 0  | 2  | 1  | 1  | 0  | 2  | 25  |
| 39 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 40 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 41 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 42 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   |
| 43 | 9  | 3  | 5  | 7  | 2 | 2  | 0 | 7  | 2  | 8  | 5  | 8  | 6  | 5  | 1  | 4  | 14 | 8  | 2  | 2  | 1  | 9  | 4  | 6  | 2  | 5  | 127 |
| T  | 48 | 13 | 24 | 28 | 9 | 11 | 0 | 47 | 18 | 41 | 25 | 36 | 16 | 17 | 6  | 23 | 50 | 35 | 9  | 3  | 21 | 48 | 16 | 29 | 12 | 31 | 616 |

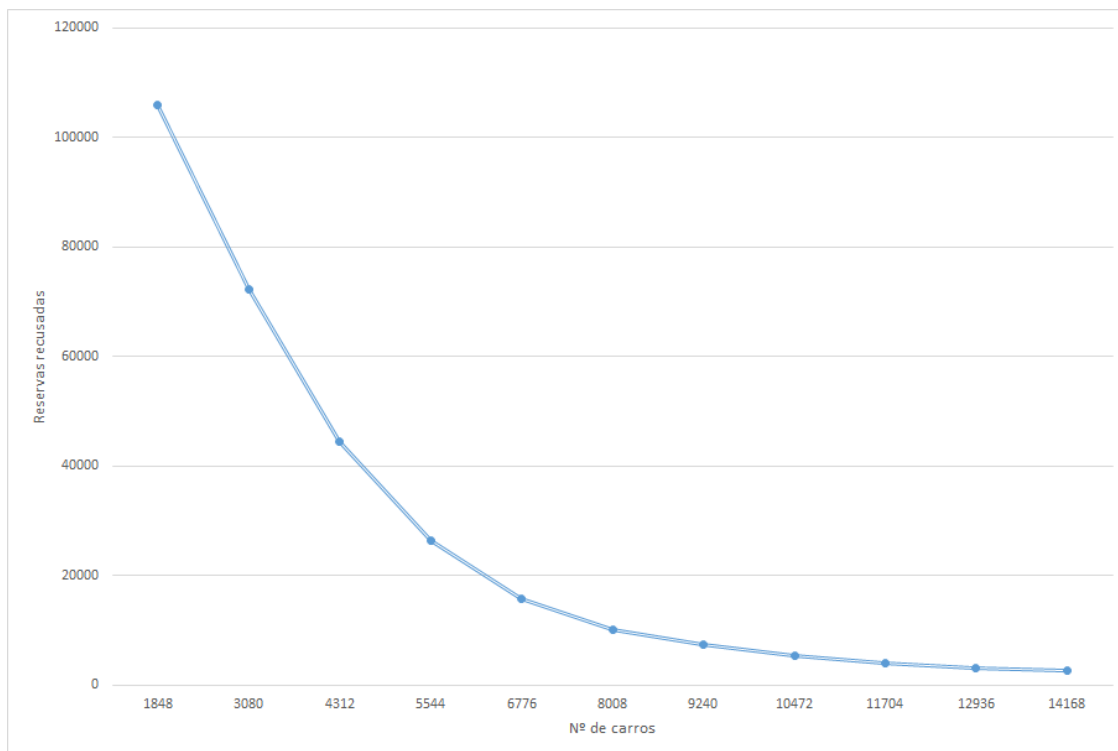


Figura 4.4: Reservas recusadas da primeira proporção

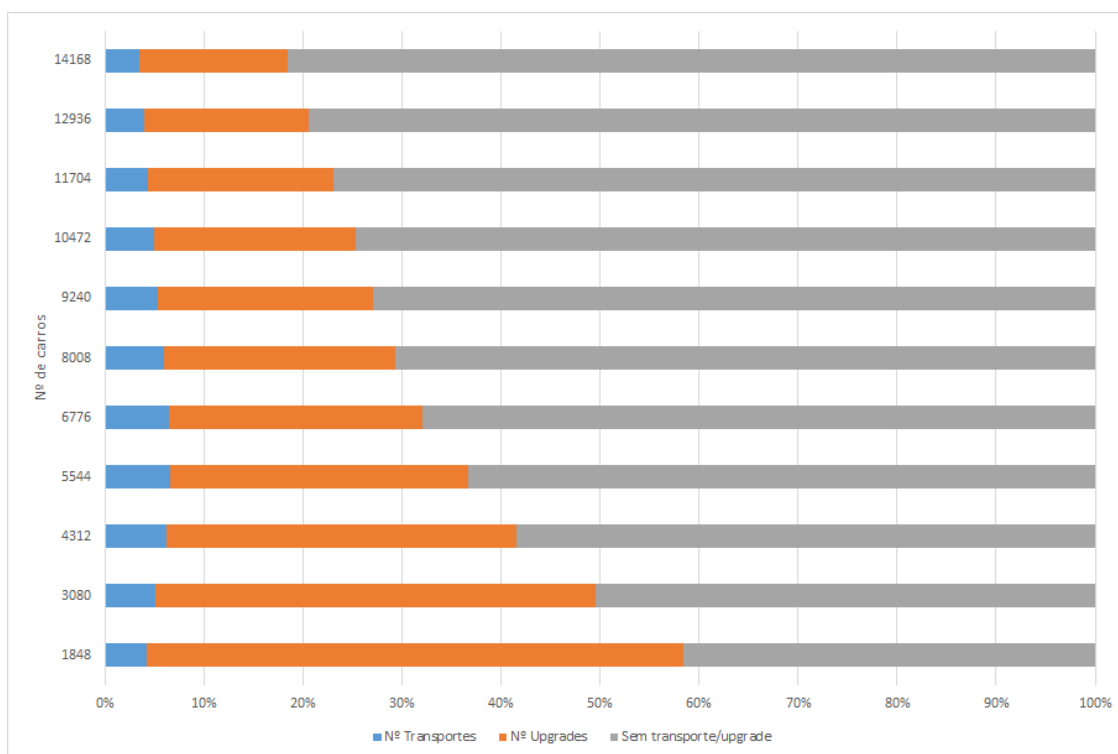


Figura 4.5: Reservas aceites da primeira proporção

No gráfico da imagem 4.4 é possível observar que quanto maior é frota menos reservas são recusadas, como seria de esperar.

No gráfico da imagem 4.5 é possível verificar que a percentagem de reservas que foram aceites sem necessitarem de *upgrade* ou transporte aumentam com a frota. Apesar da redução da percentagem, com o aumento da frota, das reservas que necessitaram *upgrade*, em relação aos transportes é visível que estes diminuem com o número de carros apenas após os 6776 carros, antes desta valor há um aumento de transportes com o aumento da frota.

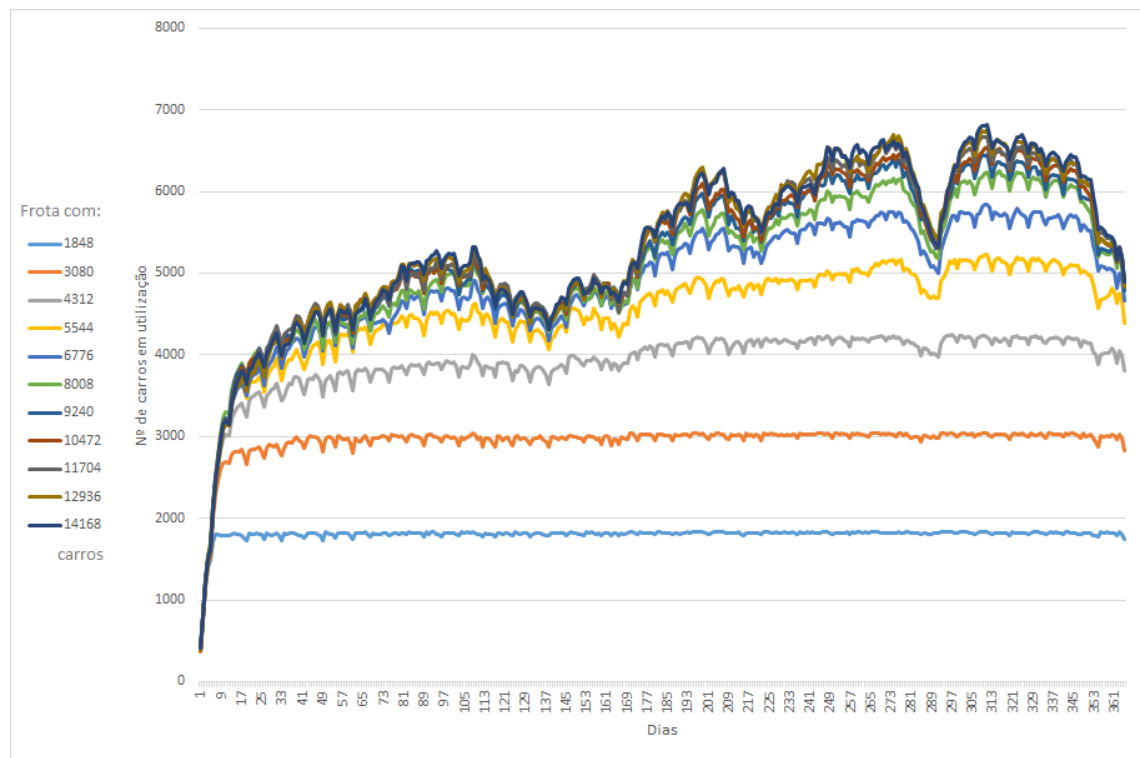


Figura 4.6: Ocupação da frota da primeira proporção

No gráfico da imagem 4.6 é possível verificar a ocupação da frota nas diversas simulações. Com frotas mais pequenas verifica-se que a mesma tem uma ocupação próxima a 100%. Em frotas maiores é possível verificar que esta nunca se encontra próximo de uma ocupação de 100%.

### 4.2.2 Alteração da proporção da frota

De forma a perceber como melhorar a distribuição da frota analisamos os valores da simulação com 9240 carros.

Pelo gráfico da imagem 4.7 é possível verificar que estações receberam mais carros de transferes do que o oposto. Por outro lado, não é possível verificar que categorias se referem estes transferes.

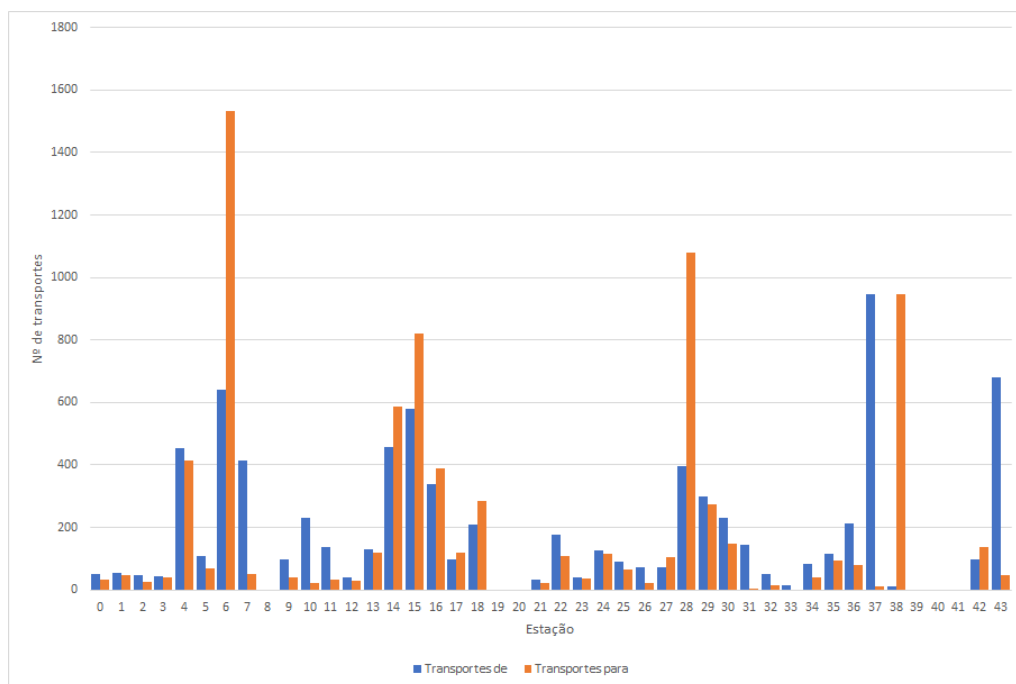


Figura 4.7: Transportes por estações

Para obter os valores por estação e categoria são dados os seguintes passos para obter uma nova distribuição de frota:

1. Criar uma matriz com os transferes que saíram em cada estação por categoria
2. Criar uma matriz com os transferes que entraram em cada estação por categoria
3. Criar uma matriz com a subtração da segunda matriz pela primeira
4. Passar os valores negativos da matriz a 0
5. Dividir a matriz pelo valor pelo qual proporção de carros inicial foi multiplicado, neste caso esse valor foi 15.
6. Adicionar a matriz à proporção de carros pretendida, neste caso à matriz base de proporção de carros

Tabela 4.4: 2ª Matriz base

|    | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6 | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19  | 20  | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | T            |
|----|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|--------------|
| 0  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 1    | 0    | 0,1  | 0    | 0,3  | 0   | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0    | 0   | 0,2 | 0,1  | 0    | 1    | 0    | 0    | 2,9          |
| 1  | 0,1  | 0    | 0,2  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0,1  | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0,1  | 1    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 1,9          |
| 2  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0,1  | 0    | 0    | 1    | 0,3  | 0    | 0   | 1   | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0,2  | 2,8          |
| 3  | 0,2  | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0   | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0   | 0   | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0    | 0    | 1,9          |
| 4  | 0    | 2    | 0,5  | 0,3  | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 2    | 0   | 0,1  | 1    | 1    | 2    | 0,8  | 0,3  | 0   | 0,4 | 3    | 0,5  | 1    | 0,2  | 2    | 17,1         |
| 5  | 0    | 0,1  | 0    | 1    | 0,1  | 1    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0   | 0   | 2    | 0    | 0,3  | 0    | 0,1  | 5,9          |
| 6  | 10,8 | 4,4  | 5    | 7    | 2,7  | 4,7  | 0 | 6,9  | 6,1  | 11,1 | 4    | 6,1  | 4,3 | 6,2  | 3,2  | 7,9  | 10,8 | 8,9  | 5,8  | 1,7 | 5   | 7,9  | 3,3  | 8,2  | 5,5  | 7,6  | 155,1        |
| 7  | 3    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2    | 0 | 1    | 2    | 3    | 0    | 1    | 0   | 1    | 0    | 2    | 3    | 1    | 0    | 0   | 2   | 2    | 0    | 0    | 3    | 2    | 28           |
| 8  | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3            |
| 9  | 0    | 0,1  | 1    | 0    | 0    | 1    | 0 | 1    | 0    | 0    | 2    | 0    | 0,1 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0   | 0,1 | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 7,4          |
| 10 | 3    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0 | 2    | 0    | 1    | 0    | 2    | 0,1 | 0    | 0    | 1    | 2    | 1    | 1    | 0   | 2   | 3    | 2    | 2    | 0,1  | 0,1  | 24,3         |
| 11 | 3    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0 | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0   | 0    | 0    | 0    | 4    | 0    | 0    | 0   | 1   | 0    | 0    | 0,2  | 0    | 1    | 11,4         |
| 12 | 1    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 1    | 0    | 0   | 0   | 1    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0    | 4,5          |
| 13 | 0,4  | 0    | 0,2  | 0    | 0,1  | 0    | 0 | 0    | 0    | 0,3  | 0    | 0,1  | 0   | 0    | 0,1  | 0,1  | 0,4  | 0,1  | 1    | 0   | 0   | 0    | 0    | 1    | 0    | 0,1  | 3,9          |
| 14 | 0,9  | 1,2  | 1,3  | 1,3  | 0,1  | 0,2  | 0 | 2    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0,3  | 1,1 | 0    | 0    | 1,1  | 0,9  | 0,7  | 0,1  | 0   | 0   | 1,2  | 1,7  | 0,6  | 0,1  | 2    | 17           |
| 15 | 55   | 2,1  | 5    | 7    | 1,9  | 3    | 0 | 8    | 1    | 6    | 3    | 7    | 0,2 | 4,6  | 1,1  | 7,3  | 6,4  | 3,9  | 1    | 0,5 | 3   | 6    | 5,1  | 4,7  | 2,5  | 5,5  | 100,8        |
| 16 | 1    | 0    | 0    | 1    | 0,2  | 0    | 0 | 0,1  | 0    | 0    | 1    | 0    | 0,5 | 0    | 0,1  | 0,5  | 0,6  | 0,3  | 0,5  | 0   | 1,1 | 0,3  | 0,7  | 0,6  | 0,1  | 0,9  | 9,5          |
| 17 | 0,5  | 0    | 0    | 0,4  | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,2  | 1   | 0,3  | 0    | 0    | 0,4  | 0    | 0    | 0,1 | 0   | 0    | 0,1  | 0,3  | 0,1  | 0    | 3,5          |
| 18 | 1,1  | 0,1  | 0,5  | 0,9  | 0    | 0,3  | 0 | 1    | 0,1  | 0,2  | 0    | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 1    | 1    | 0,5  | 0,5  | 0    | 0,1 | 0,6 | 0,3  | 0,1  | 0,2  | 0,1  | 0,5  | 9,7          |
| 19 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0            |
| 20 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0            |
| 21 | 0,3  | 0,3  | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 1    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 3,8          |
| 22 | 1    | 0    | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,3  | 0 | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0   | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0,1 | 1   | 1    | 0,2  | 1    | 1    | 0    | 11,3         |
| 23 | 0    | 0,1  | 0,2  | 0,1  | 0,3  | 0,1  | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 1    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0   | 0,1 | 1    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 3,2          |
| 24 | 0,5  | 0    | 0,1  | 0,3  | 0,1  | 1    | 0 | 0    | 0    | 0    | 1,1  | 0    | 0   | 0    | 0    | 0,1  | 0,2  | 0,1  | 0    | 0   | 1   | 0,3  | 0    | 0    | 0    | 1    | 5,8          |
| 25 | 1    | 0    | 0,1  | 0,3  | 0,1  | 0,3  | 0 | 1    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0   | 0    | 0,1  | 0    | 2    | 0,3  | 0    | 0   | 0   | 0,3  | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 5,7          |
| 26 | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0   | 1    | 0,1  | 0    | 0    | 2    | 0    | 0   | 1   | 1    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 6,4          |
| 27 | 0,5  | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0 | 0,4  | 0,1  | 0,1  | 0    | 0,1  | 0,2 | 0    | 0    | 0    | 0,3  | 0,1  | 0    | 0   | 0   | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0,5  | 2,6          |
| 28 | 9,4  | 3    | 6,1  | 2,3  | 4    | 1,8  | 0 | 5,4  | 1,3  | 7,1  | 2,1  | 3,1  | 0,4 | 7,1  | 1,1  | 3,6  | 8,7  | 4,6  | 3,1  | 0,4 | 4,9 | 5,3  | 4,1  | 9,8  | 3,3  | 6,6  | 108,6        |
| 29 | 2    | 0,3  | 0    | 2    | 1    | 0,7  | 0 | 0    | 2    | 1    | 1    | 1    | 2   | 0    | 0    | 0    | 0,4  | 1,1  | 0,1  | 0,2 | 0,5 | 3    | 1    | 0,6  | 1    | 1,3  | 22,2         |
| 30 | 2    | 2    | 0    | 0,3  | 0    | 1    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0,2 | 0,1  | 0,5  | 0,1  | 2    | 0,3  | 0    | 0   | 1   | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 11,5         |
| 31 | 2    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 2    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1   | 1    | 0    | 1    | 1    | 2    | 0    | 0   | 2   | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 12,1         |
| 32 | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0,1 | 0    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0   | 0   | 2    | 0    | 0    | 0    | 2    | 6,5          |
| 33 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 3            |
| 34 | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0,1  | 0 | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    | 1   | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 1    | 0    | 0,1 | 0   | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 7,5          |
| 35 | 0    | 0,5  | 0    | 0,2  | 0,1  | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0,1 | 1    | 0    | 0    | 0,2  | 0,3  | 0    | 0   | 0   | 1    | 0    | 1    | 1    | 0,2  | 6,6          |
| 36 | 3    | 0    | 0,1  | 0    | 0,3  | 0    | 0 | 2    | 2    | 0    | 0    | 0    | 0,1 | 0    | 0,1  | 0    | 1    | 1    | 1    | 1   | 0,1 | 0    | 1    | 1    | 0    | 0,1  | 13,8         |
| 37 | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 2    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 4            |
| 38 | 7,5  | 4,3  | 0    | 8,8  | 0    | 0    | 0 | 6,5  | 0    | 5,1  | 1,5  | 3,5  | 0   | 0    | 0    | 7,3  | 7,6  | 15   | 0    | 0   | 0   | 4,7  | 3,8  | 4,9  | 0    | 6,9  | 87,4         |
| 39 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0            |
| 40 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0            |
| 41 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0            |
| 42 | 0,4  | 0    | 0,2  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0,1  | 0,1  | 0    | 0,2  | 0,3  | 0,3 | 0    | 0    | 0    | 0,7  | 0,3  | 0    | 0,3 | 0   | 0,1  | 0    | 0,3  | 0,2  | 0    | 3,5          |
| 43 | 9    | 3    | 5    | 7    | 2    | 2    | 0 | 7    | 2    | 8    | 5    | 8    | 6   | 5    | 1    | 4    | 14   | 8    | 2    | 2   | 1   | 9    | 4    | 6    | 2    | 5    | 127          |
| T  | 69,6 | 23,8 | 29,7 | 43,8 | 13,4 | 19,5 | 0 | 51,6 | 18,9 | 46,1 | 27,1 | 40,5 | 19  | 27,8 | 10,7 | 38,3 | 72,5 | 58,1 | 15,9 | 6,5 | 29  | 55,8 | 27,8 | 48,1 | 21,5 | 48,1 | <b>863,1</b> |

Neste caso a segunda matriz base 4.4 têm valores decimais. Visto ser impossível adquirir uma fração de um carro, após multiplicar pelo valor pretendido, os valores da matriz são arredondados (sempre para o valor superior) de forma a obter apenas valores inteiros. Utilizando esta lógica para a 12ª simulação utilizou-se a segunda matriz base multiplicada por 15.

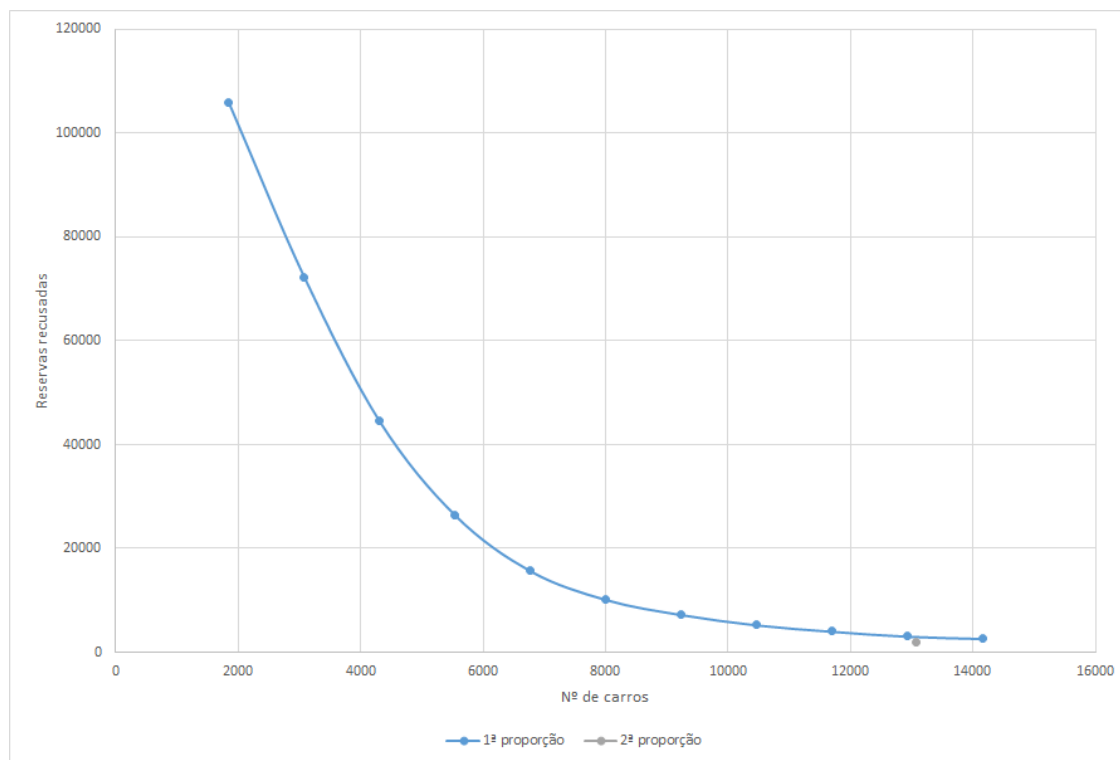


Figura 4.8: Reservas recusadas com a 1ª e 2ª proporção

No gráfico da imagem 4.8, é possível comparar os resultados da primeira proporção com a segunda proporção. Obtém-se uma melhoria, mas não muito significativa.

Com base nos resultados da 12ª simulação é repetido o processo de criação de uma nova matriz a partir dos valores de transporte, com o qual é feito a 13ª simulação. O mesmo processo repete-se com esta simulação, sendo realizado a 14ª simulação.

Tabela 4.5: Informações das simulações 12 à 14

| Simulação | Proporção | Nº Carros | Nº Aceites | Nº Recusadas | Nº Transportes | Nº Upgrades | Sem transporte/upgrade |
|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|----------------|-------------|------------------------|
| 12        | 2ª        | 13067     | 156208     | 1879         | 2453           | 20558       | 133197                 |
| 13        | 3ª        | 12962     | 156400     | 1810         | 1421           | 23304       | 131675                 |
| 14        | 4ª        | 12722     | 156794     | 1866         | 1200           | 26093       | 129501                 |

Na tabela 4.5 é possível verificar todos os resultados destas simulações. Com esta informação das reservas recusadas colocadas no gráfico da imagem 4.9 é possível verificar que as melhorias continuam a não ser significativas.

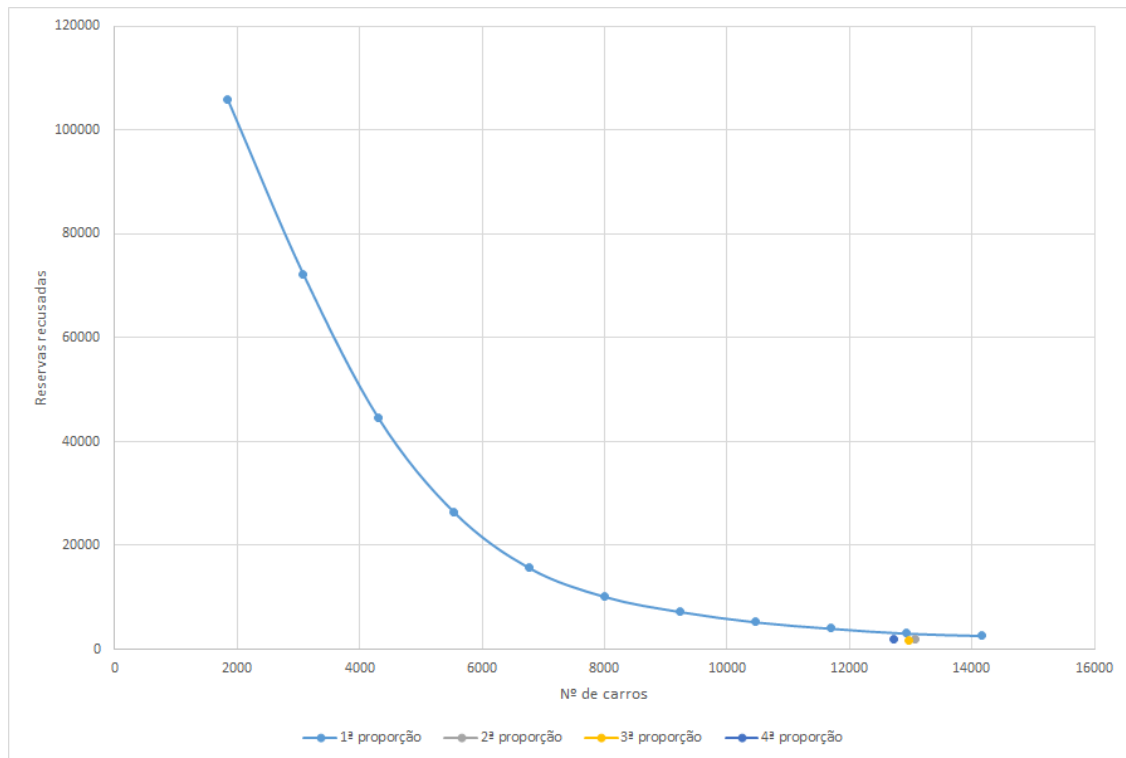


Figura 4.9: Reservas Recusadas da 1ª à 4ª proporção

Ao analisar todas as simulações, a proporção que teve uma melhoria mais significativa perante a anterior foi a 2ª proporção. Neste sentido, é analisado a simulação 12.

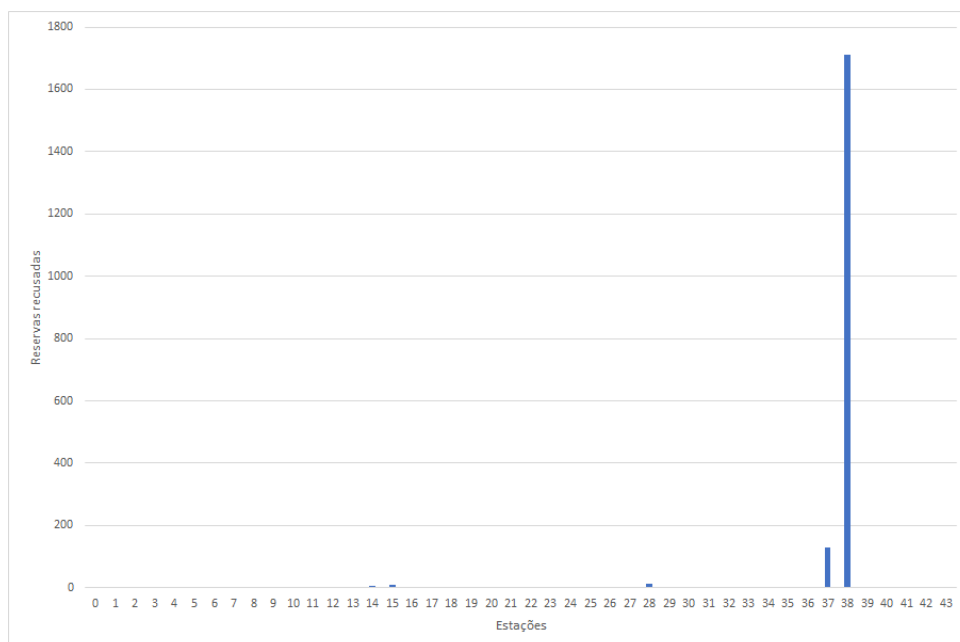


Figura 4.10: Reservas recusadas na simulação 12 por estação

No gráfico da imagem 4.10 é possível verificar que a estação que teve mais reservas recusadas na simulação 12 é a estação 38. Neste sentido vamos aumentar apenas a frota nesta estação.

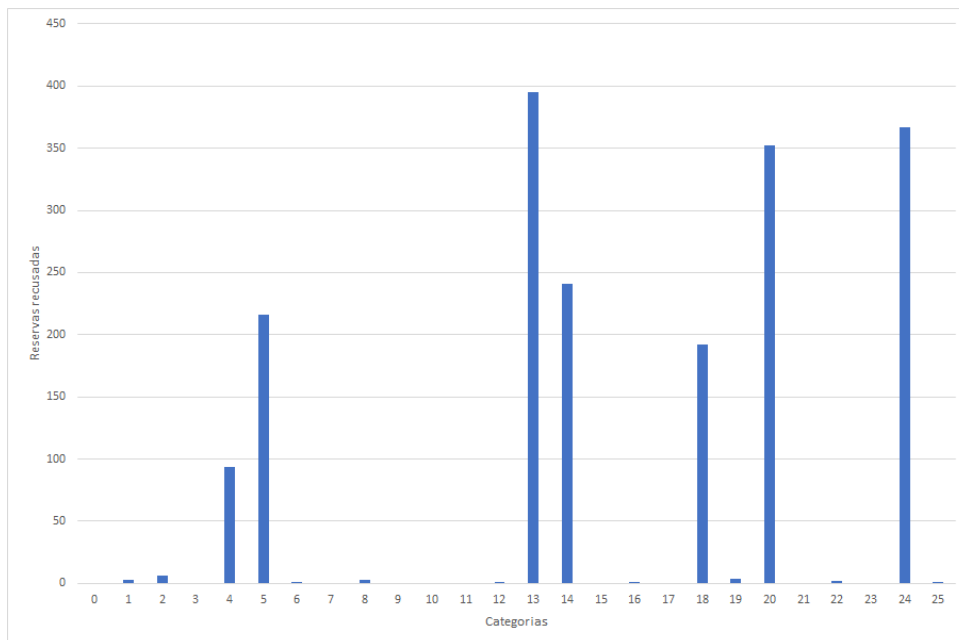


Figura 4.11: Reservas recusadas na simulação 12 por categoria

No gráfico da imagem 4.11 é possível verificar em que categorias houve mais reservas recusadas na simulação 12.

Tabela 4.6: Aumento na 2ª matriz base

|    | 0 | 1 | 2 | 3 | 4   | 5   | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13  | 14  | 15 | 16 | 17 | 18  | 19 | 20  | 21 | 22 | 23 | 24  | 25 |
|----|---|---|---|---|-----|-----|---|---|---|---|----|----|----|-----|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|-----|----|
| 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,6 | 1,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 2,4 | 1,4 | 0  | 0  | 0  | 1,1 | 0  | 2,3 | 0  | 0  | 0  | 2,3 | 0  |

Com a informação destes dois gráficos é decidido acrescentar os valores da tabela 4.6 na 2ª matriz base. Assim é obtido a 3ª matriz base.

Tabela 4.7: Informações das simulações 12 à 15

| Simulação | Proporção | Nº Carros | Nº Aceites | Nº Recusadas | Nº Transportes | Nº Upgrades | Sem transporte/upgrade |
|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|----------------|-------------|------------------------|
| 12        | 2ª        | 13067     | 156208     | 1879         | 2453           | 20558       | 133197                 |
| 13        | 3ª        | 12962     | 156400     | 1810         | 1421           | 23304       | 131675                 |
| 14        | 4ª        | 12722     | 156794     | 1866         | 1200           | 26093       | 129501                 |
| 15        | 5ª        | 12064     | 157757     | 272          | 3594           | 24977       | 129186                 |

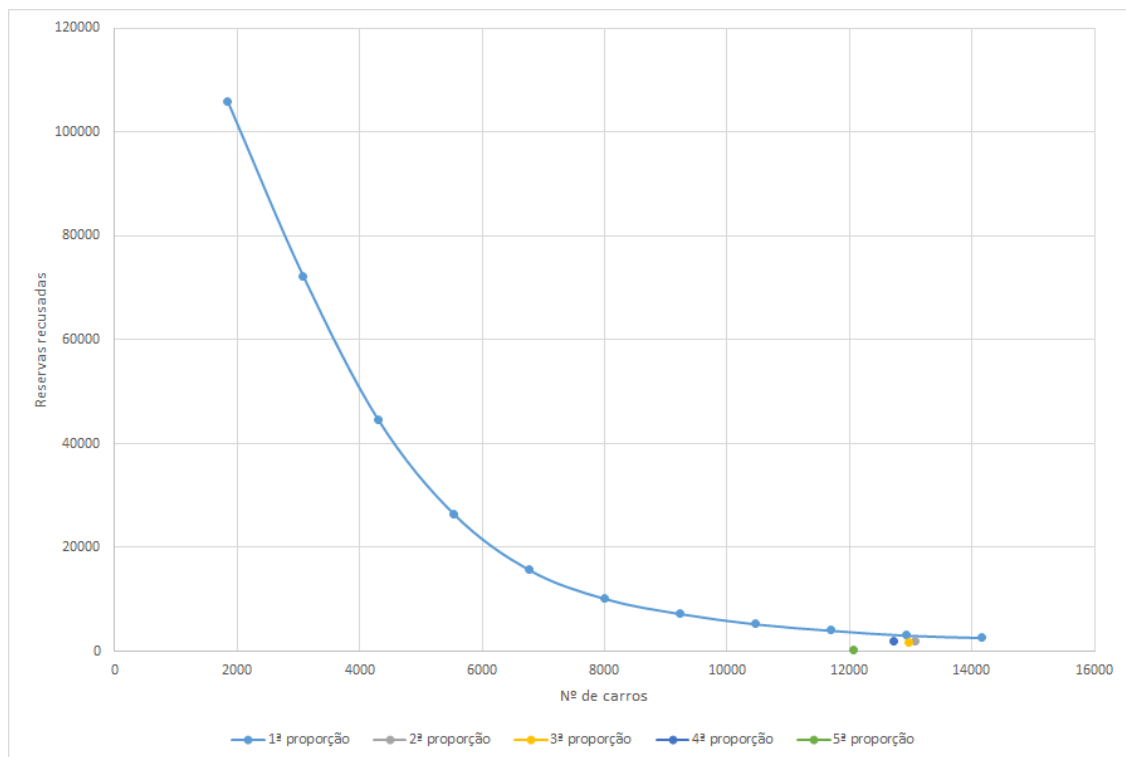


Figura 4.12: Reservas recusadas da 1ª à 5ª proporção

Com a 3ª matriz base é realizado a 15ª simulação. O resultado desta simulação encontra-se na tabela 4.7. Pelo gráfico da imagem 4.12, baseado na tabela, é possível verificar uma melhoria bastante significativa, em que utilizando uma quantidade inferior de carros são recusadas menos reservas.

Utilizando as informações da simulação 15, é seguido os seguintes passos para criar a 4ª matriz base:

1. Criar uma matriz com o número de carros que tiveram parados mais de 300 dias.
2. Dividir a matriz pelo valor pelo qual a proporção de carros inicial foi multiplicada, neste caso esse valor foi 13,5.
3. Subtrair a matriz anterior à 3ª matriz base

Tabela 4.8: 4ª Matriz base

|    | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6 | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18  | 19  | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | T     |
|----|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0,3  | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0   | 0   | 0,2  | 0,1  | 0    | 0,2  | 0    | 0    | 1,1   |
| 1  | 0,1  | 0    | 0,2  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0,1  | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,2  | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 1     |
| 2  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | -0,1 | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,2  | 0,2   |
| 3  | 0,2  | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0   | 0   | 0    | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0    | 0    | 0,9   |
| 4  | 0    | 2    | 0,5  | 0,3  | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 2    | 0    | 0,1  | 1    | 1    | 2    | 0,8  | 0,3 | 0   | 0,3  | 1,9  | 0,5  | 1    | 0,2  | 2    | 15,9  |
| 5  | 0    | 0,1  | 0    | 0,5  | 0,1  | 1    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0,4  | 0   | 0   | 0    | 0,1  | 0    | 0,3  | 0    | 0    | 2,8   |
| 6  | 10,8 | 4,4  | 5    | 6,9  | 2,6  | 4,6  | 0 | 6,8  | 6    | 11,1 | 4    | 6    | 4,3  | 6,2  | 3,2  | 7,8  | 10,8 | 8,9  | 5,8 | 1,7 | 4,9  | 7,8  | 3,3  | 8,2  | 5,5  | 7,5  | 154   |
| 7  | 3    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1,9  | 0 | 1    | 0,4  | 0,7  | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0,9  | 1,1  | 0,3  | 0   | 0   | 0    | 1,1  | 0    | 0    | 3    | 1,4  | 15,8  |
| 8  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 9  | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0,4  | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0   | 0   | 0,1  | 0    | 0    | 0,6  | 0    | 0,3  | 1,7   |
| 10 | 0,3  | 0    | 0,1  | 0,7  | 0    | 0    | 0 | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1   | 0   | 0,1  | 0    | 2    | 0,4  | 0,1  | 0,1  | 5,1   |
| 11 | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,3  | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0,2  | 0    | 0    | 0,7   |
| 12 | 1    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0    | 1,4   |
| 13 | 0,4  | 0    | 0,2  | 0    | 0,1  | 0    | 0 | 0    | 0    | 0,3  | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0,4  | 0,1  | 1   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0,9  | 0    | 0,1  | 3,8   |
| 14 | ,9   | 1,2  | 1,3  | 1,3  | 0,1  | 0,2  | 0 | 2    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0,2  | 1    | 0    | 0    | 1,1  | 0,9  | 0,7  | 0,1 | 0   | 0    | 1,2  | 1,7  | 0,6  | 0,1  | 2    | 16,8  |
| 15 | 5    | 2,1  | 5    | 7    | 1,9  | 2,9  | 0 | 8    | 1    | 6    | 3    | 6,9  | 0,2  | 4,6  | 1,1  | 7,2  | 6,4  | 3,9  | 1   | 0,5 | 3    | 6    | 5,1  | 4,6  | 2,5  | 5,5  | 100,4 |
| 16 | 1    | 0    | 0    | 0,9  | 0,2  | 0    | 0 | 0,1  | 0    | 0    | 1    | 0    | 0,5  | 0    | 0,1  | 0,5  | 0,6  | 0,3  | 0,5 | 0   | 1,1  | 0,3  | 0,7  | 0,6  | 0,1  | 0,9  | 9,4   |
| 17 | 0,5  | 0    | 0    | 0,3  | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,2  | 1    | 0,3  | 0    | 0    | 0,4  | 0    | 0   | 0,1 | 0    | 0    | 0,1  | 0,3  | 0,1  | 0    | 3,4   |
| 18 | ,1   | 0,1  | 0,5  | 0,8  | 0    | 0,3  | 0 | 1    | 0,1  | 0,2  | 0    | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 1    | 1    | 0,5  | 0,5  | 0   | 0,1 | 0,6  | 0,3  | 0,1  | 0,2  | 0,1  | 0,5  | 9,6   |
| 19 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 20 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 21 | 0,3  | 0,3  | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0,6  | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 1,5   |
| 22 | 0,9  | 0    | 0,1  | 0,3  | 0,2  | 0,2  | 0 | 1    | 0    | 0,8  | 0,1  | 0,3  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,9  | 0    | 0   | 0,1 | 0    | 1    | 0,2  | 1    | 1    | 0    | 8,1   |
| 23 | 0    | 0,1  | 0,2  | 0,1  | 0,2  | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0   | 0   | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 2     |
| 24 | 0,5  | 0    | 0,1  | 0,2  | 0,1  | 0,9  | 0 | 0    | 0    | 0    | 1,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0,2  | 0,1  | 0   | 0   | 0,2  | 0,3  | 0    | 0    | 0    | 0,2  | 4     |
| 25 | 1    | 0    | 0    | 0,2  | 0,1  | 0,2  | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0    | 0   | 0   | 0    | 0,3  | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 2,2   |
| 26 | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0,1  | 0    | 0    | 0,1  | 0   | 0   | 0,3  | 0,5  | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 2,2   |
| 27 | 0,5  | 0    | 0    | 0,1  | 0,1  | 0    | 0 | 0,4  | 0,1  | 0,1  | 0    | 0,1  | 0,2  | 0    | 0    | 0    | 0,3  | 0,1  | 0   | 0   | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0,5  | 2,6   |
| 28 | 9,4  | 3    | 6,1  | 2,2  | 3,9  | 1,8  | 0 | 5,4  | 1,3  | 7    | 2,1  | 3,1  | 0,4  | 7,1  | 1,1  | 3,6  | 8,6  | 4,6  | 3,1 | 0,4 | 4,8  | 5,2  | 4,1  | 9,8  | 3,3  | 6,5  | 107,9 |
| 29 | 2    | 0,3  | 0    | 2    | 0,8  | 0,7  | 0 | 0    | 2    | 1    | 0,9  | 1    | 2    | 0    | 0    | 0    | 0,4  | 1,1  | 0,1 | 0,2 | 0,5  | 2,9  | 1    | 0,6  | 1    | 1,3  | 21,8  |
| 30 | 2    | 1,9  | 0    | 0,3  | 0    | 0,6  | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0,2  | 0,1  | 0,5  | 0,1  | 2    | 0,3  | 0   | 0   | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 11    |
| 31 | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0,3  | 0    | 0    | 0   | 0   | 0,5  | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 2,1   |
| 32 | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0,1  | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,3  | 0,8   |
| 33 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,9  | 0    | 0,9   |
| 34 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0 | 0    | 0    | 0    | 0,2  | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0   | 0,1 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0,6   |
| 35 | 0    | 0,5  | 0    | 0,2  | 0,1  | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0,1  | 1    | 0    | 0    | 0,2  | 0,3  | 0   | 0   | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0,2  | 6,6   |
| 36 | 2,3  | 0    | 0,1  | 0    | 0,3  | 0    | 0 | 0,5  | 0,1  | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0    | 0,1  | 0    | 1    | 0,6  | 1   | 0,1 | 0,1  | 0    | 1    | 0,6  | 0    | 0,1  | 8     |
| 37 | 0    | 0    | 0    | 0,5  | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0,2  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,1  | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,8   |
| 38 | 7,4  | 4,2  | 0    | 7,2  | 0,6  | 1,3  | 0 | 5,7  | 0    | 4,8  | 0,9  | 3,2  | 0    | 2,4  | 1,4  | 6,4  | 7,2  | 10,1 | 1,1 | 0   | 2,3  | 4,3  | 3,8  | 4,8  | 2,3  | 6,2  | 87,6  |
| 39 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 40 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 41 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 42 | 0,4  | 0    | 0,2  | 0    | 0    | 0    | 0 | 0,1  | 0,1  | 0    | 0,2  | 0,3  | 0,3  | 0    | 0    | 0    | 0,7  | 0,3  | 0   | 0,3 | 0    | 0,1  | 0    | 0,3  | 0,2  | 0    | 3,5   |
| 43 | 0,1  | 1,3  | 0    | 0,1  | 0,8  | 0    | 0 | 0,7  | 0,1  | 0,4  | 0,3  | 0,2  | 0,3  | 5    | 1    | 0,5  | 1    | 0,9  | 2   | 0,1 | 0,2  | 0,2  | 4    | 0,4  | 0,5  | 0,1  | 20,2  |
| T  | 51,2 | 21,9 | 19,7 | 32,3 | 12,3 | 16,7 | 0 | 33,1 | 11,4 | 32,5 | 15,6 | 25,4 | 11,2 | 30,2 | 12,1 | 30,9 | 46,5 | 35,5 | 17  | 3,7 | 20,2 | 34,9 | 27,8 | 38,1 | 22,2 | 36,1 | 838,5 |

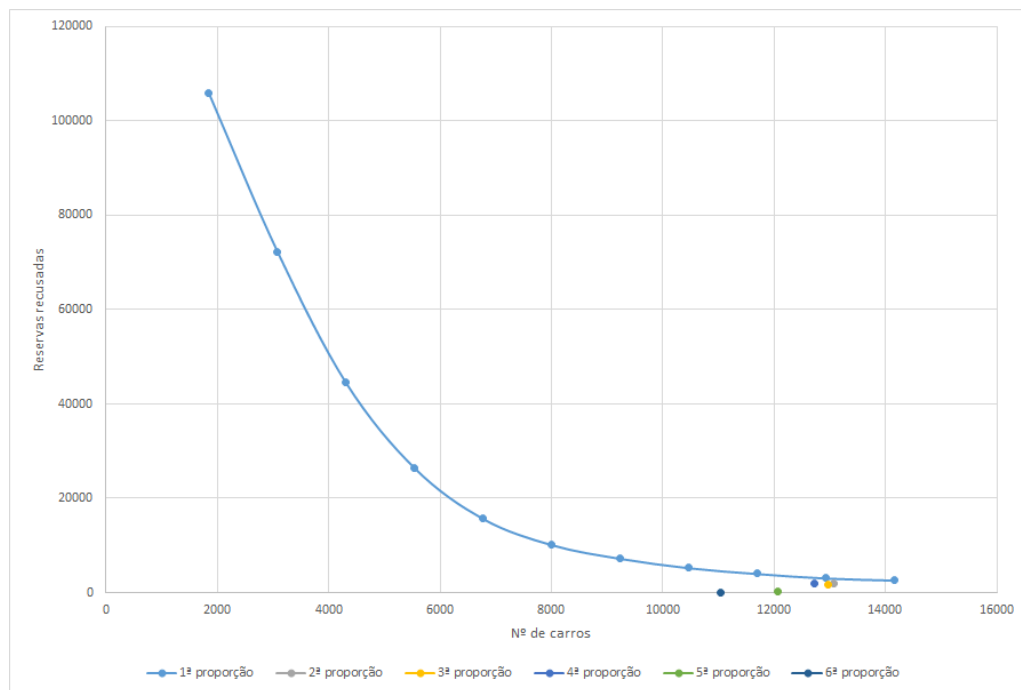


Figura 4.13: Reservas recusadas da 1ª à 6ª proporção

Pelo gráfico da imagem 4.13 é possível verificar novamente uma melhoria significativa, em que utilizando uma quantidade inferior de carros são recusadas o mesmo número de reservas.

### 4.2.3 Resultados da 4ª matriz

Para estudar os resultados desta proporção, são feitas várias simulações com frotas de diversas dimensões.

Tabela 4.9: Informações das simulações com base na matriz fornecida

| Serie | Nº Carros | Nº Aceites | Nº Recusadas | Nº Transportes | Nº Upgrades | Sem transporte/upgrade |
|-------|-----------|------------|--------------|----------------|-------------|------------------------|
| 3     | 2117      | 57407      | 98811        | 2392           | 33317       | 21698                  |
| 5     | 3331      | 90372      | 67690        | 3951           | 44871       | 41550                  |
| 7     | 4660      | 116752     | 37200        | 6152           | 49269       | 61331                  |
| 9     | 5872      | 141649     | 16098        | 7609           | 45370       | 88670                  |
| 11    | 7290      | 154288     | 3327         | 6855           | 35608       | 111825                 |
| 13    | 8501      | 157825     | 566          | 4531           | 27938       | 125356                 |
| 15    | 9718      | 153447     | 141          | 2957           | 21929       | 128561                 |
| 17    | 11045     | 158080     | 38           | 2031           | 15564       | 140485                 |

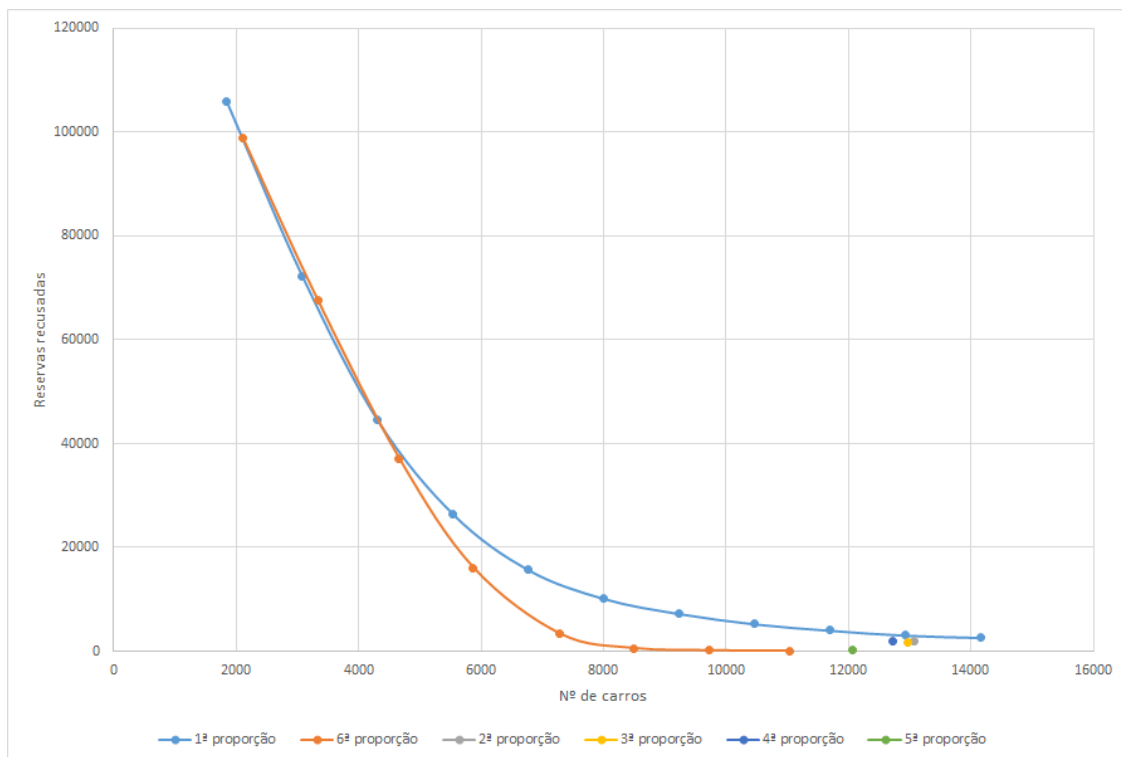


Figura 4.14: Reservas recusadas da 1ª e da 6ª proporção

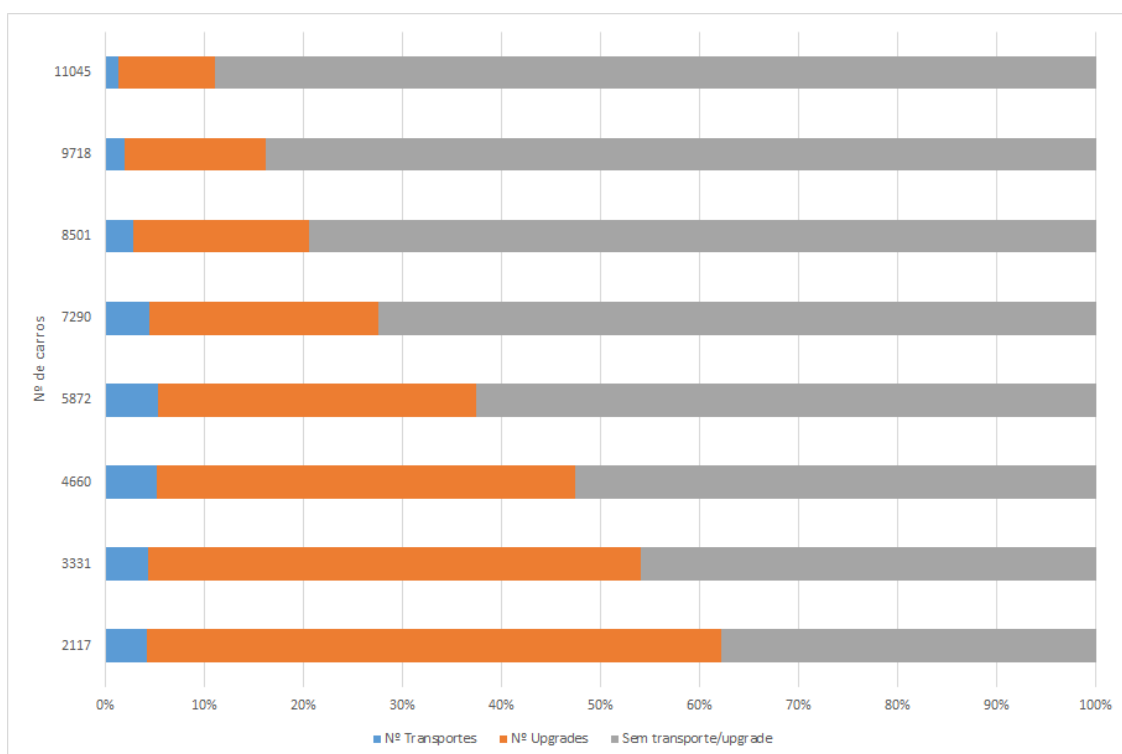


Figura 4.15: Reservas aceites na 6ª proporção

Na tabela 4.9 encontram-se todos os resultados com base na matriz 4. Ao introduzir as informações das reservas recusadas no gráfico com as simulações anteriores é obtido o gráfico da imagem 4.14.

Neste gráfico é possível comparar os resultados das reservas recusadas, da proporção dos carros da 1ª matriz base com os da 4ª matriz base. Os resultados são muito similares até uma frota de 4500 carros. Com uma frota superior a 4500 carros, obtêm-se melhores resultados com uma proporção gerada pela 4ª matriz base.

O gráfico da imagem 4.5 em comparação com o gráfico da imagem 4.15, é possível concluir que com a ultima distribuição de frota as reservas são satisfeitas com um menor recurso aos transportes e *upgrade*. Este facto é mais evidente quanto maior a frota.

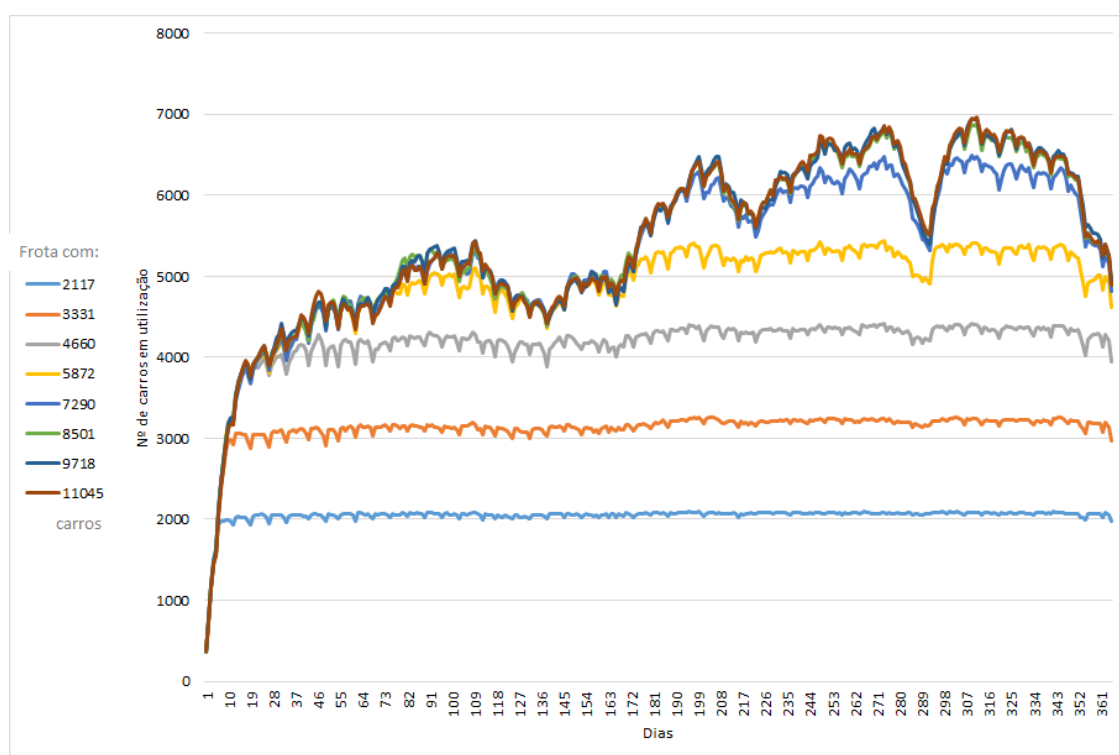


Figura 4.16: Ocupação da frota na 6ª proporção

Ao analisar o gráfico da imagem 4.16, é possível verificar que ainda existe a possibilidade de melhorar a frota. Na simulação com 11045 são apenas recusadas 38 reservas, o que significa que quando a taxa de ocupação se encontra mais elevada, no máximo podem faltar mais 38 carros. Neste caso, com 11045 carros, o número de carros usados em reservas em simultâneo são de 6963, ou que reflete uma taxa de ocupação de 63%.



## Capítulo 5

# Conclusões e Trabalho Futuro

### 5.1 Conclusões

Com a utilização de uma plataforma de simulação das operações de uma empresa de aluguer e a tendência do mercado é possível estudar as diversas distribuições de frota. Neste sentido uma empresa que possua uma ferramenta deste género e que realize um estudo de mercado, definitivamente conseguirá tomar melhores decisões sobre a sua frota, com um apoio sustentado na:

- **Seleção da quantidade e gama de veículos:** de acordo com o dinheiro que se pretende investir é possível determinar uma seleção de quantidade e das diversas gamas mais apropriada com a procura do mercado.
- **Distribuição e disponibilização da frota em estações da rede:** de acordo com a seleção dos veículos é possível verificar as consequências das diversas distribuições.

No caso das simulações efetuadas nesta tese é possível verificar que se obtiveram melhores resultados com uma proporção gerada pela 4ª matriz.

- Em termos de aquisição de veículos, na tabela 5.1 é possível verificar a percentagem de carros de cada categoria inicialmente e a percentagem de carros de cada categoria utilizados na 4ª matriz. De uma forma geral há um aumento de veículos nas categorias 0, 1, 3, 4, 5, 13, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 24 e 25, e uma diminuição nas restantes (exceção da categoria 6 que se mantém sem carros).
- Em termos da distribuição da frota, no gráfico da imagem 5.1, é possível verificar que as estações 6, 14, 15, 16, 28, 29, 30 e 38 foram as estações que receberam mais carros em relação as simulações iniciais, em contrapartida as estações 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 21, 22, 26, 31, 32, 33, 34, 26 e 43 são as estações que receberam menos carros em relação as simulações iniciais.

| Categoria | Percentagem de carros inicial | Percentagem de carros final |
|-----------|-------------------------------|-----------------------------|
| 0         | 7,79                          | 8,02                        |
| 1         | 2,11                          | 3,43                        |
| 2         | 3,90                          | 3,09                        |
| 3         | 4,55                          | 5,06                        |
| 4         | 1,46                          | 1,93                        |
| 5         | 1,79                          | 2,62                        |
| 6         | 0,00                          | 0,00                        |
| 7         | 7,63                          | 5,18                        |
| 8         | 2,92                          | 1,79                        |
| 9         | 6,66                          | 5,09                        |
| 10        | 4,06                          | 2,44                        |
| 11        | 5,84                          | 3,98                        |
| 12        | 2,60                          | 1,75                        |
| 13        | 2,76                          | 4,73                        |
| 14        | 0,97                          | 1,90                        |
| 15        | 3,73                          | 4,84                        |
| 16        | 8,12                          | 7,28                        |
| 17        | 5,68                          | 5,56                        |
| 18        | 1,46                          | 2,66                        |
| 19        | 0,49                          | 0,58                        |
| 20        | 3,41                          | 3,16                        |
| 21        | 7,79                          | 5,47                        |
| 22        | 2,60                          | 4,35                        |
| 23        | 4,71                          | 5,97                        |
| 24        | 1,95                          | 3,48                        |
| 25        | 5,03                          | 5,65                        |

Tabela 5.1: Percentagem de carros nas diversas categorias

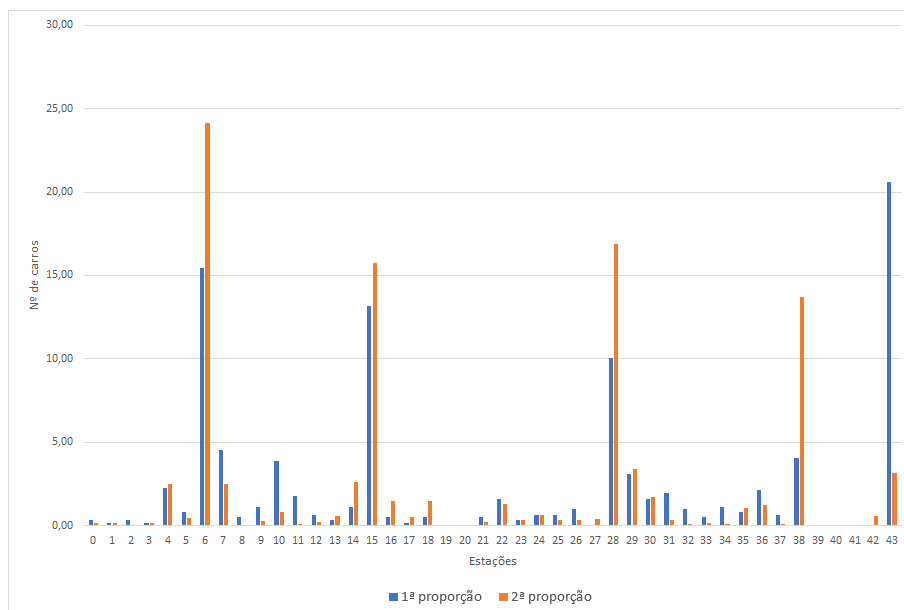


Figura 5.1: Distribuição dos carros pelas Estações

Na simulação com a proporção gerada pela 4ª matriz, o valor mais elevado da taxa de ocupação com 11045 carros foi de 63% em que nesta simulação foram apenas recusadas 38 reservas. Pretendendo o menor número de reservas recusadas e a maior taxa de ocupação, é possível afirmar que ainda existe a possibilidade de melhorar a proporção de carros para o mercado de procura estudado.

## 5.2 Trabalho Futuro

Quando uma empresa de aluguer automóvel pretende saber qual é a quantidade e gama de veículos e como deve distribuí-los pelas estações da rede para um determinado ano, esta deve estar ajustada à previsão de mercado desse mesmo ano. Neste sentido, um trabalho que poderá ser realizado futuramente é a utilização de um mercado de procura desenhado à imagem da tendência para esse mesmo ano com uma plataforma de simulação idêntica à realizada nesta dissertação.

De forma a tornar a plataforma de simulação, poderiam ainda ser incluídas outras funcionalidades ou informações:

- **Contabilizar todas as despesas e/ou lucros:** apesar de nesta dissertação o foco principal ser a satisfação de reservas, a não aquisição, já que a não satisfação de algumas reservas pode ser mais rentável. Assim, ao introduzir a variabilidade do preço dos automóveis para o cliente e todos os diversos custos da empresa (manutenção dos automóveis, funcionários, etc) seria possível estudar a variação os ganhos da empresa com as diferentes frotas.
- **Chegada das reservas não cronológica:** o tempo de antecedência ao qual um cliente faz a reserva de um carro é aleatória. Apesar do código para aceitar reservas ter sido implementado de forma correta para esta aleatoriedade, as reservas são criadas de forma cronológica com uma antecedência de 2 semanas. Este fator torna a simulação menos realista, uma reserva que realizada com antecedência inferior pode impossibilitar um transporte de veículo de outra estação.
- **Manutenções dos automóveis:** um aspeto que não é considerado na plataforma desenvolvida é a necessidade de existir manutenções. Neste sentido, não é considerado o tempo que um automóvel se encontra indisponível, o que torna a simulação menos realista.
- **A compra e a venda de veículos:** em vez de os carros serem criados com base numa matriz, estes podiam ser inseridos no programa em forma de lista. Nesta lista seria necessário incluir a categoria do carro, a estação em que se inicia, a data de receção do carro na estação, e a data de exclusão do carro na estação. Neste sentido seria possível estudar não só a quantidade e gama de veículos e a sua distribuição, mas também.



## Anexo A

# Dados Utilizados na Simulação

### A.1 Tabela de Frequência - Duração das Reservas

Tabela A.1: Tabela de Frequência da duração das reservas

| Classes  | Frequência | Classes  | Frequência | Classes          | Frequência |
|----------|------------|----------|------------|------------------|------------|
| ]0, 1]   | 723        | ]18, 19] | 653        | ]36, 37]         | 50         |
| ]1, 2]   | 503        | ]19, 20] | 692        | ]37, 38]         | 14         |
| ]2, 3]   | 1681       | ]20, 21] | 1642       | ]38, 39]         | 2          |
| ]3, 4]   | 1179       | ]21, 22] | 800        | ]39, 40]         | 21         |
| ]4, 5]   | 1871       | ]22, 23] | 853        | ]40, 41]         | 16         |
| ]5, 6]   | 903        | ]23, 24] | 680        | ]41, 42]         | 18         |
| ]6, 7]   | 5439       | ]24, 25] | 402        | ]42, 43]         | 0          |
| ]7, 8]   | 2087       | ]25, 26] | 262        | ]43, 44]         | 9          |
| ]8, 9]   | 1592       | ]26, 27] | 350        | ]44, 45]         | 11         |
| ]9, 10]  | 1887       | ]27, 28] | 555        | <b>]45, 55]</b>  | 0          |
| ]10, 11] | 1402       | ]28, 29] | 367        | ]55, 56]         | 3          |
| ]11, 12] | 1273       | ]30, 31] | 258        | <b>]56, 95]</b>  | 0          |
| ]13, 14] | 5275       | ]31, 32] | 195        | ]95, 96]         | 65         |
| ]14, 15] | 1932       | ]32, 33] | 88         | <b>]96, 364]</b> | 0          |
| ]15, 16] | 1235       | ]33, 34] | 36         | ]364, 365]       | 8          |
| ]16, 17] | 901        | ]34, 35] | 59         |                  |            |
| ]17, 18] | 749        | ]35, 36] | 22         |                  |            |

## A.2 Tabela de Frequência - Estação da Reserva

Tabela A.2: Tabela de Frequência da estação da reserva

| Estação | Frequência | Estação | Frequência |
|---------|------------|---------|------------|
| 0       | 22         | 22      | 162        |
| 1       | 35         | 23      | 49         |
| 2       | 12         | 24      | 172        |
| 3       | 22         | 25      | 77         |
| 4       | 697        | 26      | 44         |
| 5       | 47         | 27      | 96         |
| 6       | 13353      | 28      | 9468       |
| 7       | 41         | 29      | 1387       |
| 8       | 0          | 30      | 252        |
| 9       | 34         | 31      | 8          |
| 10      | 14         | 32      | 12         |
| 11      | 32         | 33      | 0          |
| 12      | 32         | 34      | 33         |
| 13      | 78         | 35      | 141        |
| 14      | 1288       | 36      | 96         |
| 15      | 8349       | 37      | 210        |
| 16      | 545        | 38      | 2638       |
| 17      | 99         | 39      | 0          |
| 18      | 348        | 40      | 0          |
| 19      | 0          | 41      | 0          |
| 20      | 0          | 42      | 96         |
| 21      | 27         | 43      | 216        |

### A.3 Tabelas e Gráficos - Categoria por Estação

Tabela A.3: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 0

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 0          | 13        | 0          |
| 1         | 0          | 14        | 0          |
| 2         | 0          | 15        | 1          |
| 3         | 2          | 16        | 1          |
| 4         | 0          | 17        | 2          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 2          | 20        | 3          |
| 8         | 1          | 21        | 3          |
| 9         | 1          | 22        | 0          |
| 10        | 0          | 23        | 0          |
| 11        | 3          | 24        | 3          |
| 12        | 0          | 25        | 0          |

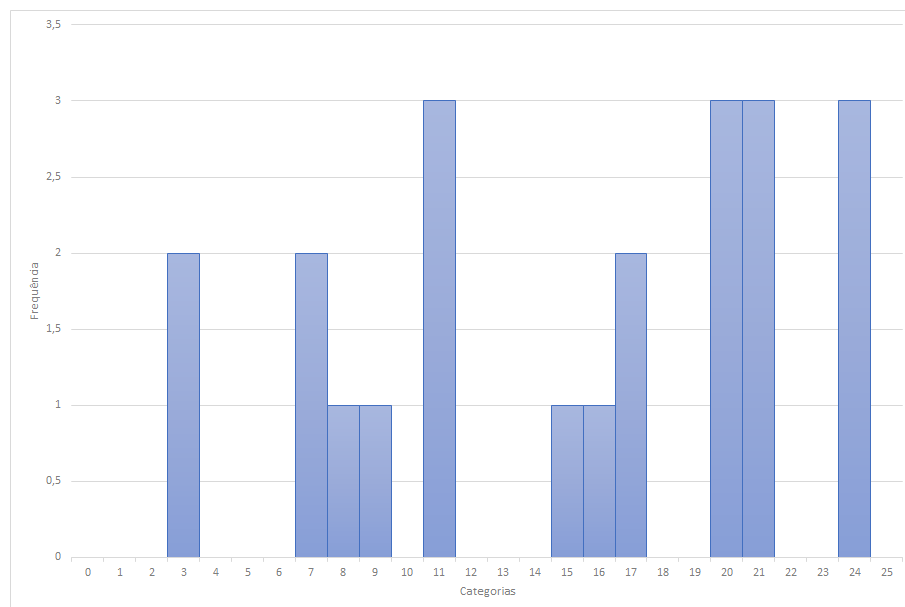


Figura A.1: Gráfico das Categorias na Estação 0

Tabela A.4: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 1

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 1          | 13        | 1          |
| 1         | 1          | 14        | 0          |
| 2         | 4          | 15        | 1          |
| 3         | 2          | 16        | 2          |
| 4         | 0          | 17        | 2          |
| 5         | 1          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 4          | 20        | 0          |
| 8         | 2          | 21        | 4          |
| 9         | 1          | 22        | 1          |
| 10        | 0          | 23        | 2          |
| 11        | 0          | 24        | 3          |
| 12        | 0          | 25        | 3          |

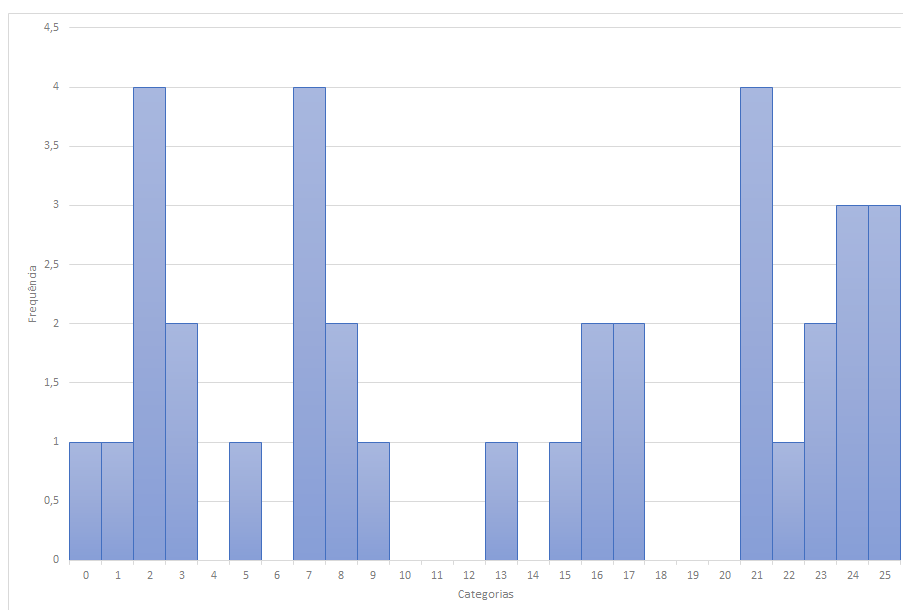


Figura A.2: Gráfico das Categorias na Estação 1

Tabela A.5: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 2

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 0          | 13        | 1          |
| 1         | 0          | 14        | 0          |
| 2         | 0          | 15        | 2          |
| 3         | 0          | 16        | 1          |
| 4         | 1          | 17        | 2          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 1          | 20        | 0          |
| 8         | 0          | 21        | 1          |
| 9         | 0          | 22        | 0          |
| 10        | 0          | 23        | 0          |
| 11        | 0          | 24        | 1          |
| 12        | 0          | 25        | 2          |

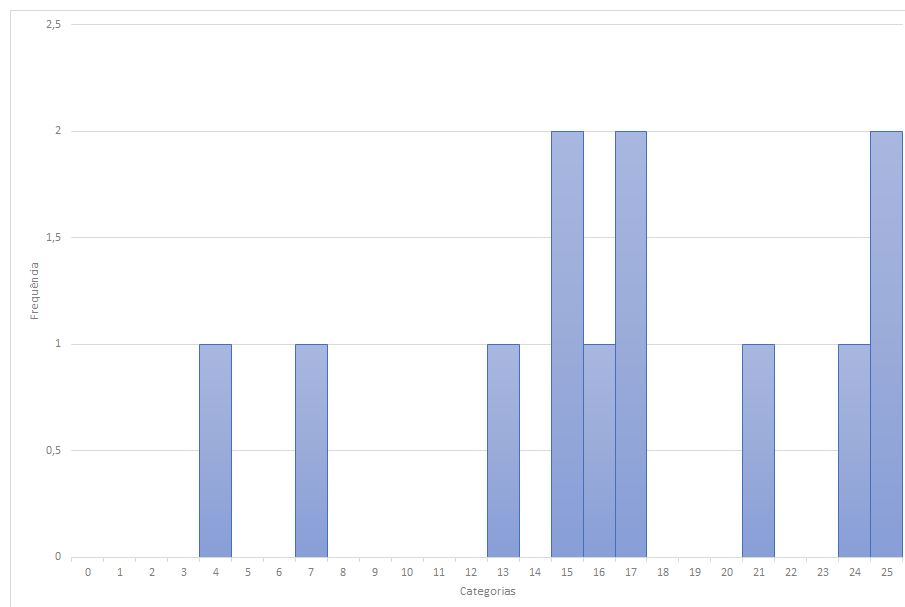


Figura A.3: Gráfico das Categorias na Estação 2

Tabela A.6: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 3

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 2          | 13        | 2          |
| 1         | 0          | 14        | 1          |
| 2         | 0          | 15        | 1          |
| 3         | 0          | 16        | 2          |
| 4         | 0          | 17        | 2          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 2          | 20        | 0          |
| 8         | 0          | 21        | 1          |
| 9         | 1          | 22        | 2          |
| 10        | 0          | 23        | 3          |
| 11        | 1          | 24        | 0          |
| 12        | 1          | 25        | 1          |

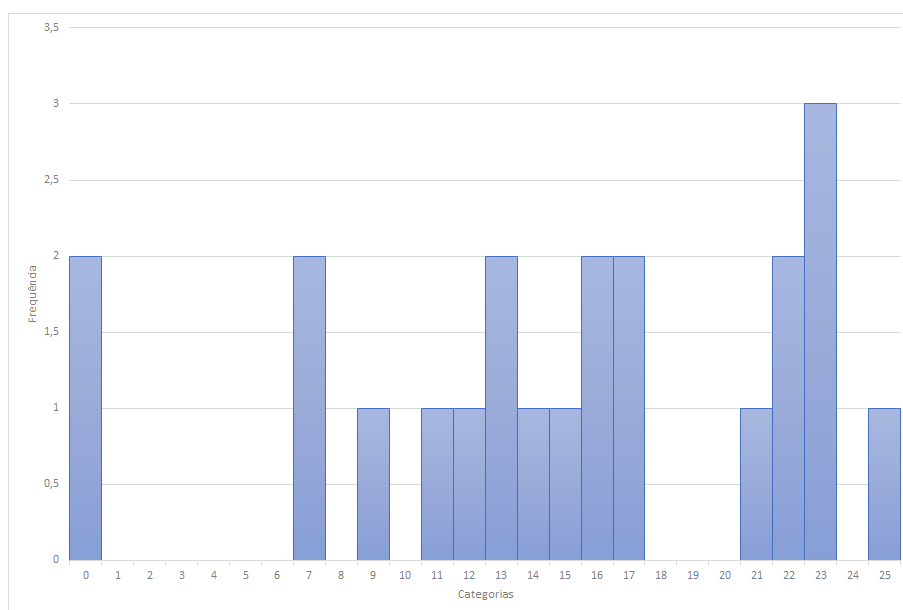


Figura A.4: Gráfico das Categorias na Estação 3

Tabela A.7: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 4

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 40         | 13        | 35         |
| 1         | 27         | 14        | 15         |
| 2         | 24         | 15        | 21         |
| 3         | 37         | 16        | 56         |
| 4         | 8          | 17        | 44         |
| 5         | 15         | 18        | 8          |
| 6         | 0          | 19        | 3          |
| 7         | 68         | 20        | 23         |
| 8         | 15         | 21        | 31         |
| 9         | 38         | 22        | 41         |
| 10        | 14         | 23        | 33         |
| 11        | 19         | 24        | 16         |
| 12        | 25         | 25        | 41         |

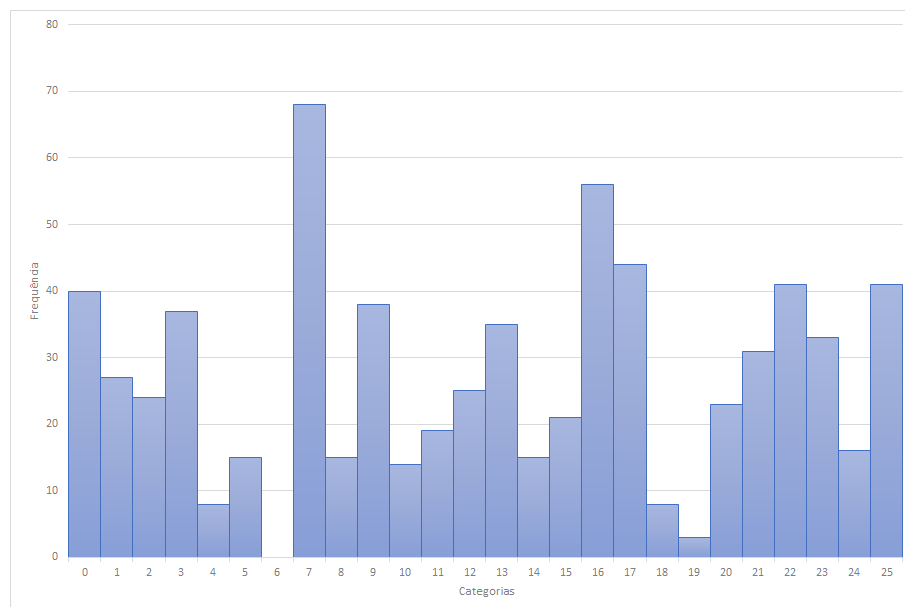


Figura A.5: Gráfico das Categorias na Estação 4

Tabela A.8: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 5

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 4          | 13        | 2          |
| 1         | 1          | 14        | 0          |
| 2         | 2          | 15        | 0          |
| 3         | 2          | 16        | 5          |
| 4         | 1          | 17        | 2          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 1          |
| 7         | 3          | 20        | 2          |
| 8         | 0          | 21        | 0          |
| 9         | 2          | 22        | 1          |
| 10        | 1          | 23        | 5          |
| 11        | 4          | 24        | 2          |
| 12        | 5          | 25        | 2          |

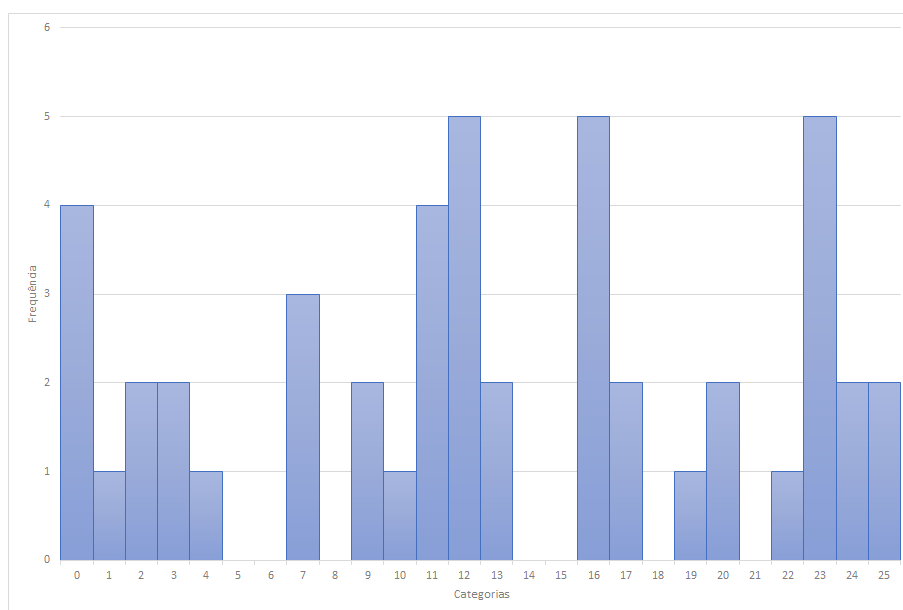


Figura A.6: Gráfico das Categorias na Estação 5

Tabela A.9: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 6

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 758        | 13        | 501        |
| 1         | 387        | 14        | 200        |
| 2         | 443        | 15        | 716        |
| 3         | 534        | 16        | 1081       |
| 4         | 146        | 17        | 874        |
| 5         | 247        | 18        | 162        |
| 6         | 0          | 19        | 68         |
| 7         | 1211       | 20        | 380        |
| 8         | 370        | 21        | 656        |
| 9         | 796        | 22        | 559        |
| 10        | 324        | 23        | 760        |
| 11        | 462        | 24        | 442        |
| 12        | 543        | 25        | 733        |

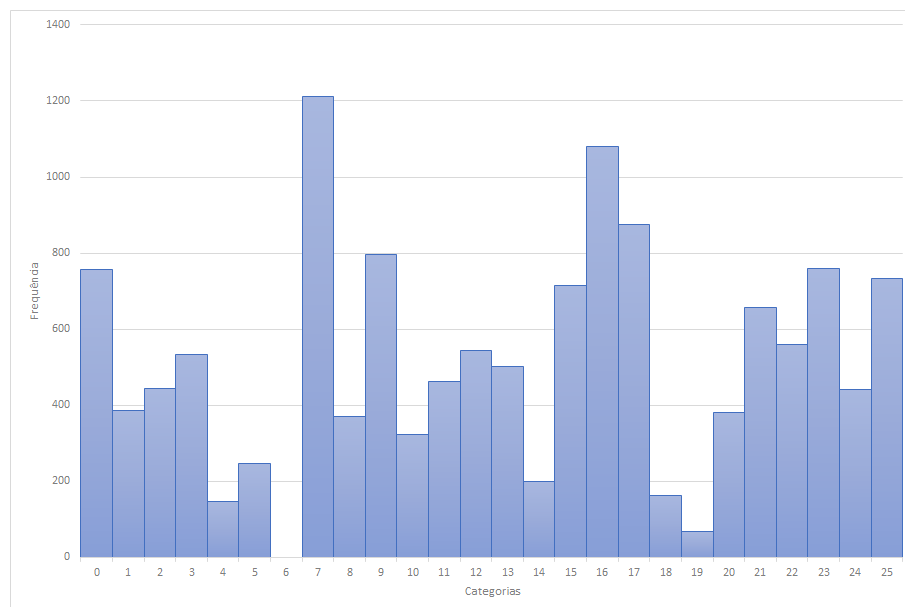


Figura A.7: Gráfico das Categorias na Estação 6

Tabela A.10: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 7

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 2          | 13        | 4          |
| 1         | 1          | 14        | 1          |
| 2         | 1          | 15        | 2          |
| 3         | 1          | 16        | 4          |
| 4         | 0          | 17        | 2          |
| 5         | 1          | 18        | 1          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 6          | 20        | 1          |
| 8         | 1          | 21        | 3          |
| 9         | 0          | 22        | 4          |
| 10        | 2          | 23        | 0          |
| 11        | 0          | 24        | 1          |
| 12        | 0          | 25        | 3          |

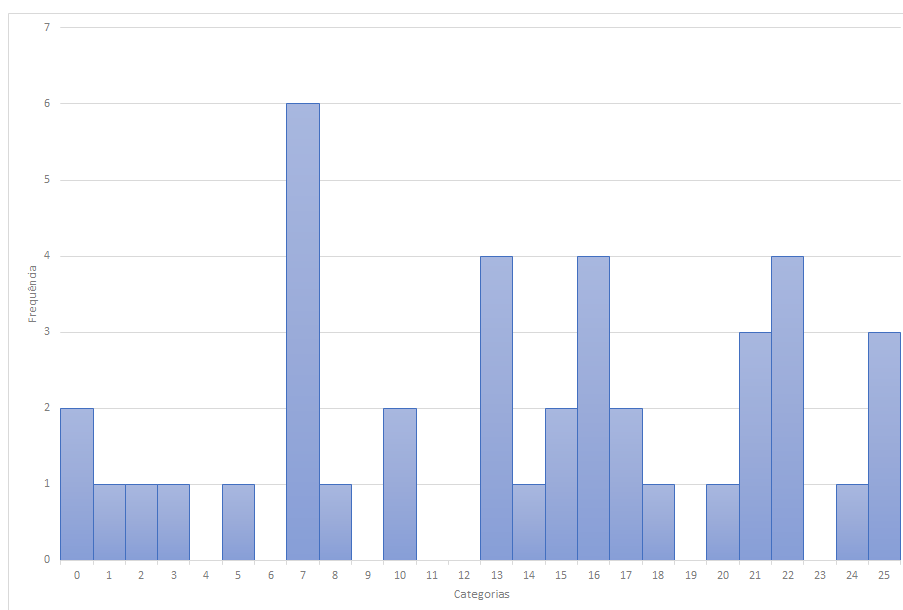


Figura A.8: Gráfico das Categorias na Estação 7

Tabela A.11: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 8, 19, 20, 33, 39, 40 e 41

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 1          | 13        | 1          |
| 1         | 1          | 14        | 1          |
| 2         | 1          | 15        | 1          |
| 3         | 1          | 16        | 1          |
| 4         | 1          | 17        | 1          |
| 5         | 1          | 18        | 1          |
| 6         | 1          | 19        | 1          |
| 7         | 1          | 20        | 1          |
| 8         | 1          | 21        | 1          |
| 9         | 1          | 22        | 1          |
| 10        | 1          | 23        | 1          |
| 11        | 1          | 24        | 1          |
| 12        | 1          | 25        | 1          |

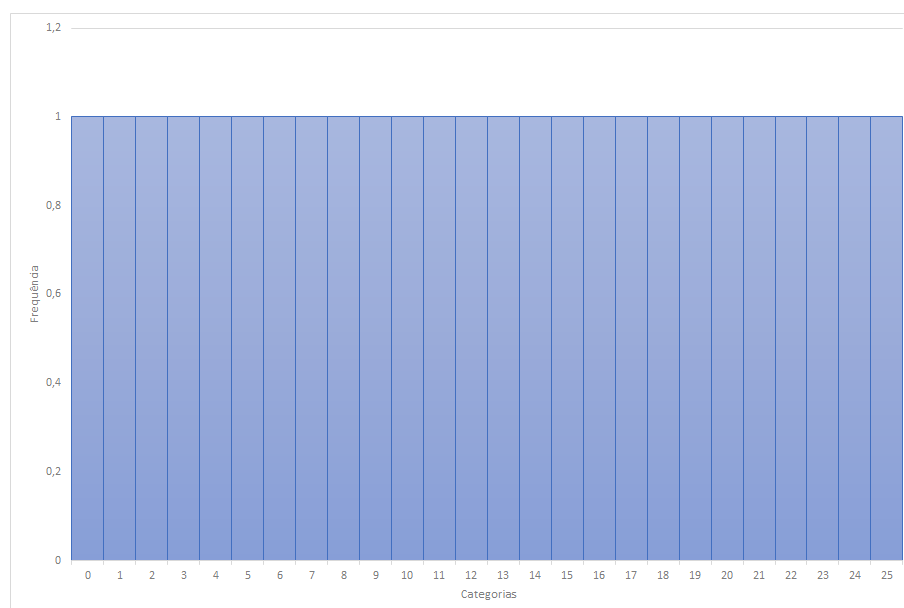


Figura A.9: Gráfico das Categorias na Estação 8, 19, 20, 33, 39, 40 e 41

Tabela A.12: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 9

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 3          | 13        | 0          |
| 1         | 2          | 14        | 0          |
| 2         | 2          | 15        | 0          |
| 3         | 1          | 16        | 4          |
| 4         | 1          | 17        | 1          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 2          | 20        | 2          |
| 8         | 1          | 21        | 0          |
| 9         | 1          | 22        | 1          |
| 10        | 1          | 23        | 2          |
| 11        | 3          | 24        | 1          |
| 12        | 3          | 25        | 3          |

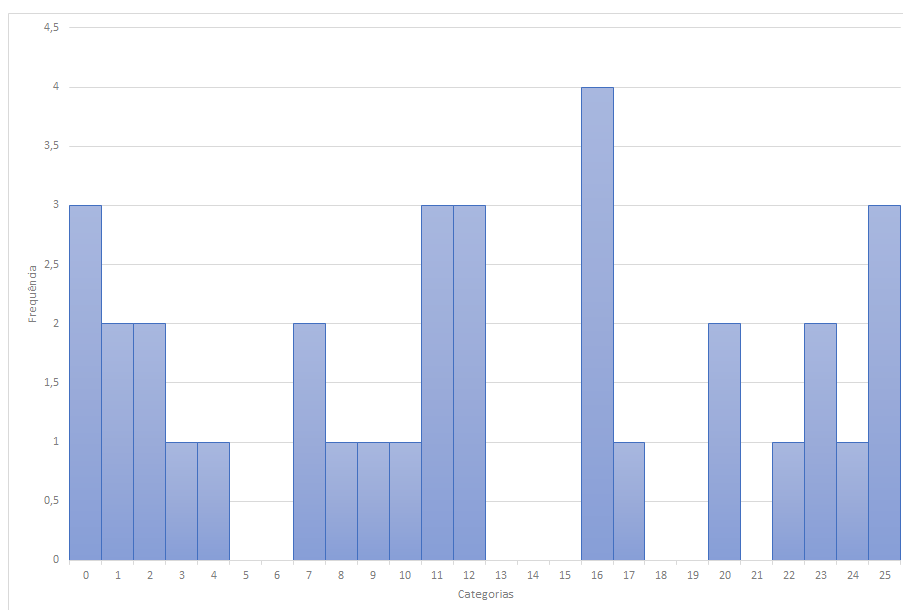


Figura A.10: Gráfico das Categorias na Estação 9

Tabela A.13: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 10

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 0          | 13        | 0          |
| 1         | 0          | 14        | 0          |
| 2         | 0          | 15        | 0          |
| 3         | 0          | 16        | 0          |
| 4         | 0          | 17        | 0          |
| 5         | 1          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 0          | 20        | 1          |
| 8         | 0          | 21        | 0          |
| 9         | 0          | 22        | 2          |
| 10        | 1          | 23        | 3          |
| 11        | 2          | 24        | 1          |
| 12        | 1          | 25        | 2          |

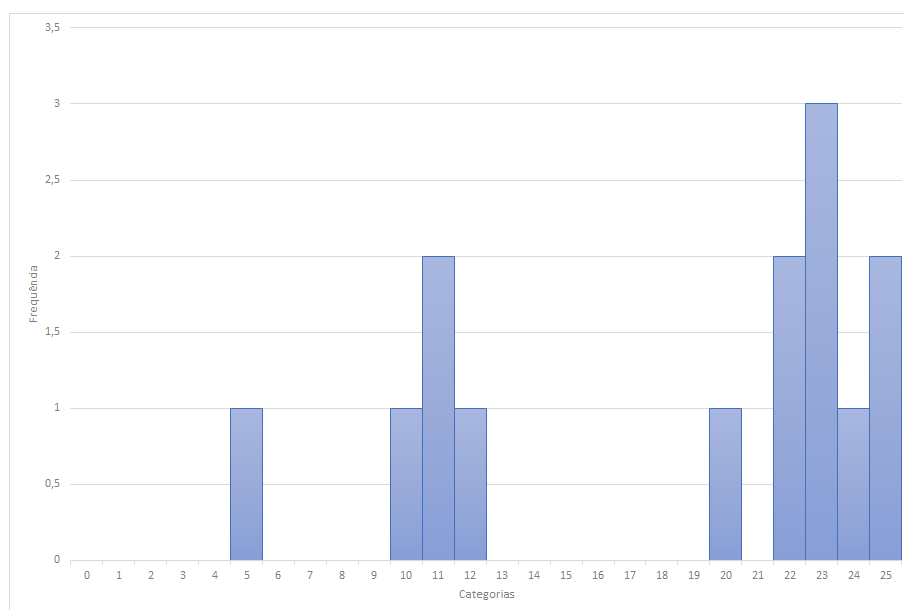


Figura A.11: Gráfico das Categorias na Estação 10

Tabela A.14: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 11

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 2          | 13        | 2          |
| 1         | 1          | 14        | 0          |
| 2         | 1          | 15        | 3          |
| 3         | 1          | 16        | 4          |
| 4         | 2          | 17        | 1          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 2          | 20        | 0          |
| 8         | 1          | 21        | 0          |
| 9         | 3          | 22        | 2          |
| 10        | 1          | 23        | 2          |
| 11        | 1          | 24        | 0          |
| 12        | 2          | 25        | 1          |

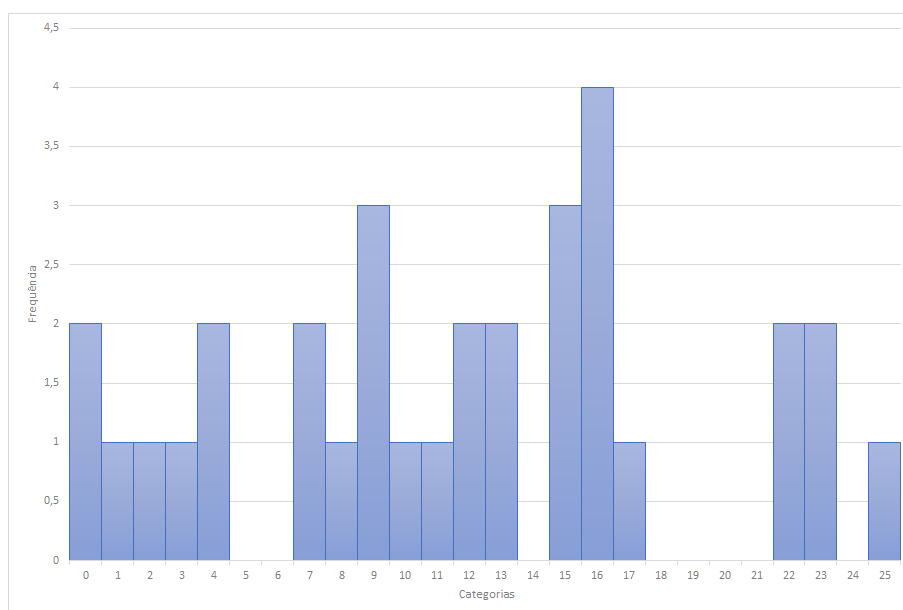


Figura A.12: Gráfico das Categorias na Estação 11

Tabela A.15: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 12

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 4          | 13        | 2          |
| 1         | 2          | 14        | 0          |
| 2         | 1          | 15        | 2          |
| 3         | 1          | 16        | 2          |
| 4         | 0          | 17        | 1          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 6          | 20        | 0          |
| 8         | 0          | 21        | 0          |
| 9         | 1          | 22        | 3          |
| 10        | 0          | 23        | 2          |
| 11        | 1          | 24        | 1          |
| 12        | 0          | 25        | 3          |

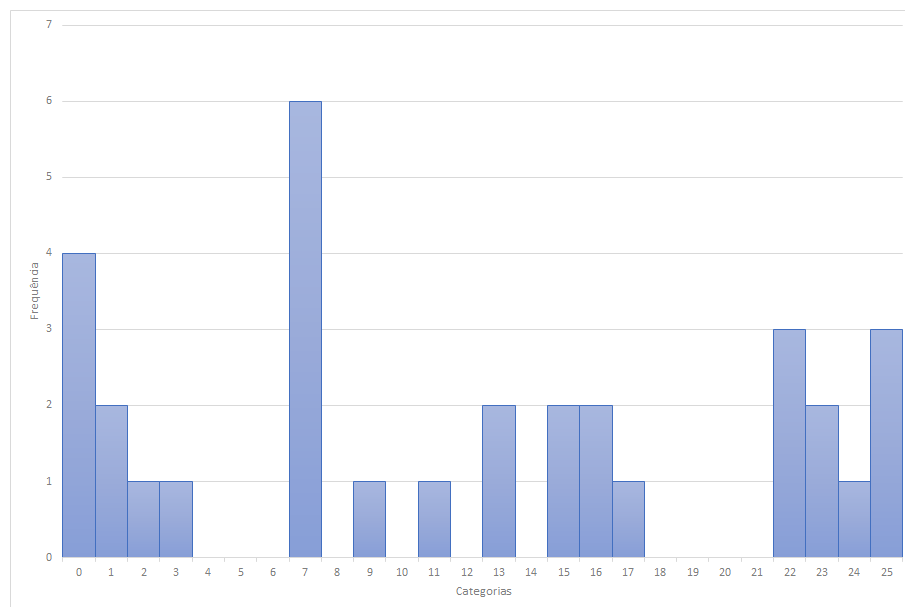


Figura A.13: Gráfico das Categorias na Estação 12

Tabela A.16: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 13

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 8          | 13        | 2          |
| 1         | 1          | 14        | 3          |
| 2         | 2          | 15        | 4          |
| 3         | 4          | 16        | 9          |
| 4         | 3          | 17        | 3          |
| 5         | 1          | 18        | 1          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 11         | 20        | 2          |
| 8         | 0          | 21        | 1          |
| 9         | 5          | 22        | 3          |
| 10        | 3          | 23        | 3          |
| 11        | 1          | 24        | 2          |
| 12        | 3          | 25        | 3          |

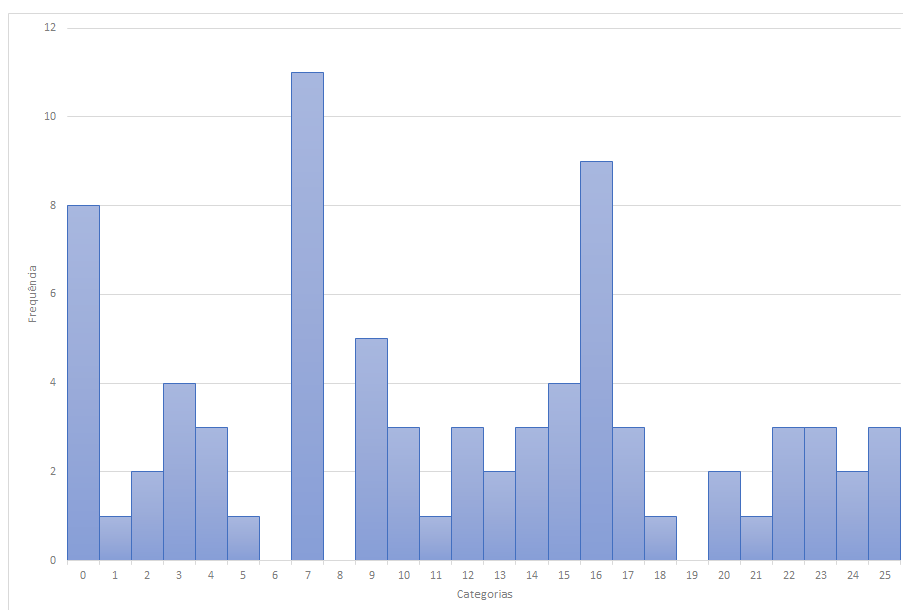


Figura A.14: Gráfico das Categorias na Estação 13

Tabela A.17: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 14

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 74         | 13        | 42         |
| 1         | 50         | 14        | 16         |
| 2         | 45         | 15        | 66         |
| 3         | 68         | 16        | 106        |
| 4         | 10         | 17        | 68         |
| 5         | 22         | 18        | 13         |
| 6         | 0          | 19        | 8          |
| 7         | 124        | 20        | 33         |
| 8         | 43         | 21        | 67         |
| 9         | 70         | 22        | 63         |
| 10        | 26         | 23        | 67         |
| 11        | 47         | 24        | 38         |
| 12        | 48         | 25        | 74         |

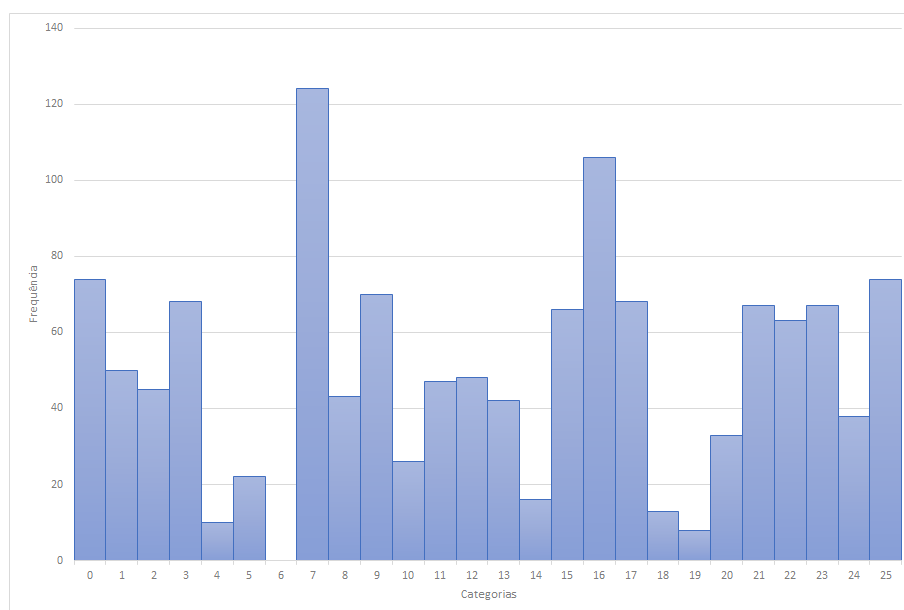


Figura A.15: Gráfico das Categorias na Estação 14

Tabela A.18: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 15

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 496        | 13        | 309        |
| 1         | 268        | 14        | 145        |
| 2         | 264        | 15        | 433        |
| 3         | 358        | 16        | 654        |
| 4         | 89         | 17        | 560        |
| 5         | 156        | 18        | 75         |
| 6         | 0          | 19        | 40         |
| 7         | 712        | 20        | 240        |
| 8         | 227        | 21        | 449        |
| 9         | 494        | 22        | 405        |
| 10        | 216        | 23        | 460        |
| 11        | 242        | 24        | 253        |
| 12        | 338        | 25        | 466        |

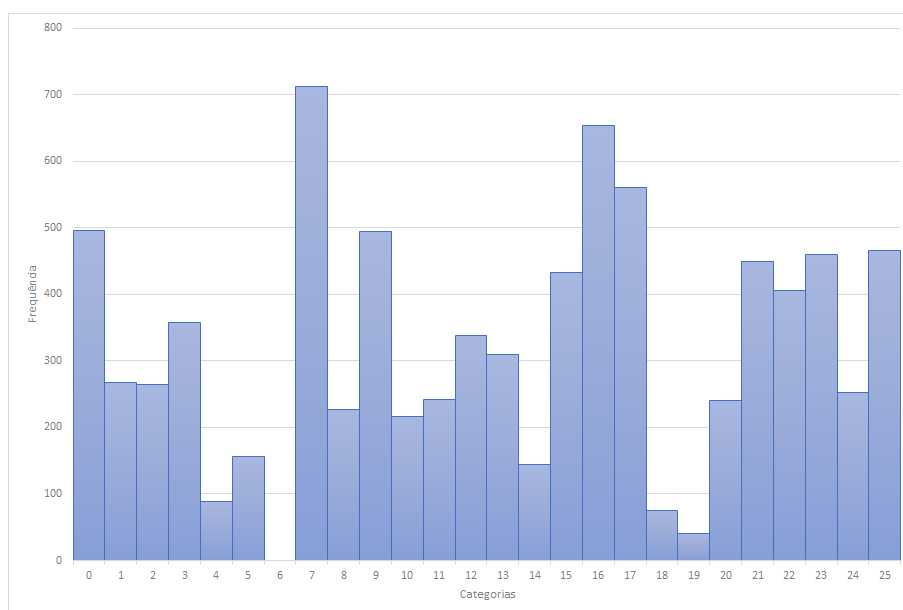


Figura A.16: Gráfico das Categorias na Estação 15

Tabela A.19: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 16

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 21         | 13        | 21         |
| 1         | 20         | 14        | 6          |
| 2         | 12         | 15        | 34         |
| 3         | 20         | 16        | 45         |
| 4         | 8          | 17        | 38         |
| 5         | 12         | 18        | 9          |
| 6         | 0          | 19        | 2          |
| 7         | 38         | 20        | 26         |
| 8         | 14         | 21        | 33         |
| 9         | 23         | 22        | 27         |
| 10        | 14         | 23        | 28         |
| 11        | 18         | 24        | 14         |
| 12        | 27         | 25        | 35         |

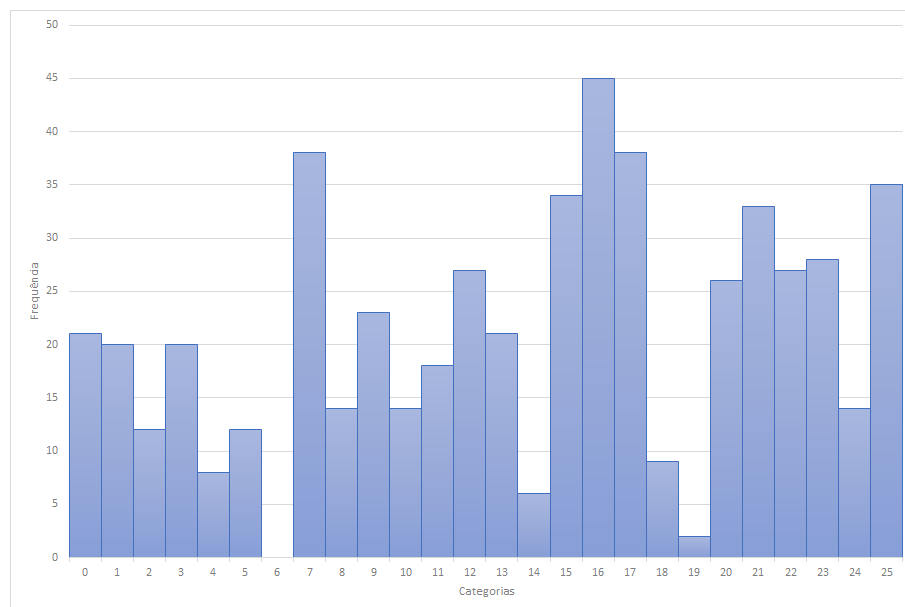


Figura A.17: Gráfico das Categorias na Estação 16

Tabela A.20: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 17

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 8          | 13        | 8          |
| 1         | 0          | 14        | 2          |
| 2         | 1          | 15        | 3          |
| 3         | 5          | 16        | 14         |
| 4         | 1          | 17        | 6          |
| 5         | 0          | 18        | 1          |
| 6         | 0          | 19        | 1          |
| 7         | 9          | 20        | 0          |
| 8         | 0          | 21        | 4          |
| 9         | 6          | 22        | 5          |
| 10        | 7          | 23        | 7          |
| 11        | 2          | 24        | 2          |
| 12        | 2          | 25        | 5          |

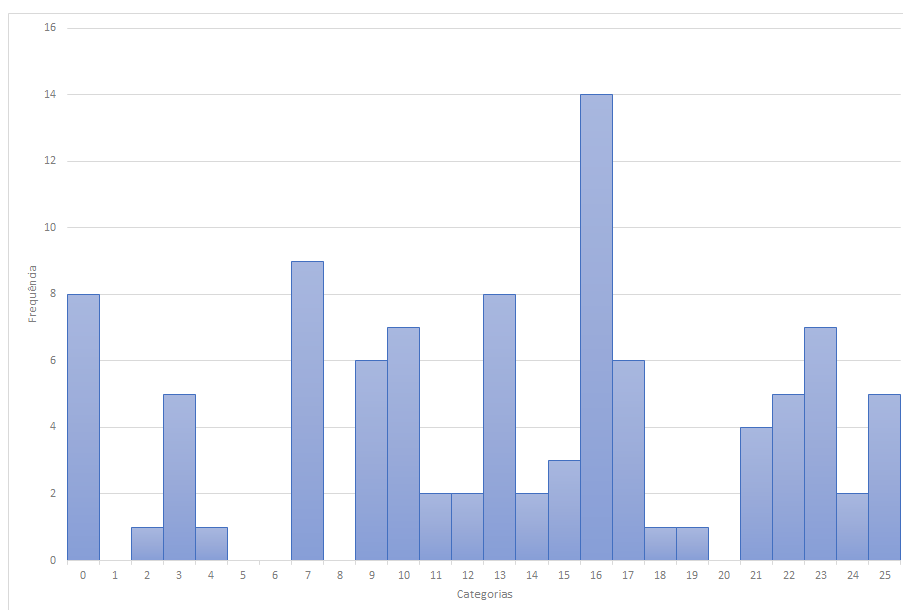


Figura A.18: Gráfico das Categorias na Estação 17

Tabela A.21: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 18

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 13         | 13        | 17         |
| 1         | 13         | 14        | 7          |
| 2         | 15         | 15        | 20         |
| 3         | 14         | 16        | 35         |
| 4         | 1          | 17        | 20         |
| 5         | 7          | 18        | 2          |
| 6         | 0          | 19        | 1          |
| 7         | 41         | 20        | 9          |
| 8         | 13         | 21        | 15         |
| 9         | 20         | 22        | 13         |
| 10        | 3          | 23        | 13         |
| 11        | 9          | 24        | 9          |
| 12        | 17         | 25        | 21         |

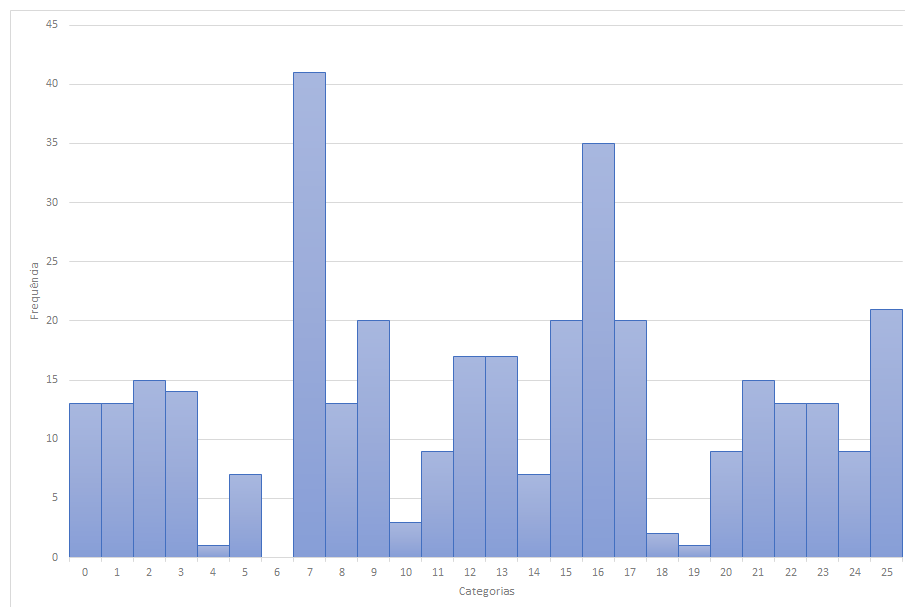


Figura A.19: Gráfico das Categorias na Estação 18

Tabela A.22: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 21

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 3          | 13        | 0          |
| 1         | 2          | 14        | 3          |
| 2         | 0          | 15        | 0          |
| 3         | 2          | 16        | 3          |
| 4         | 0          | 17        | 1          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 1          | 20        | 0          |
| 8         | 0          | 21        | 2          |
| 9         | 1          | 22        | 1          |
| 10        | 2          | 23        | 2          |
| 11        | 0          | 24        | 1          |
| 12        | 2          | 25        | 1          |

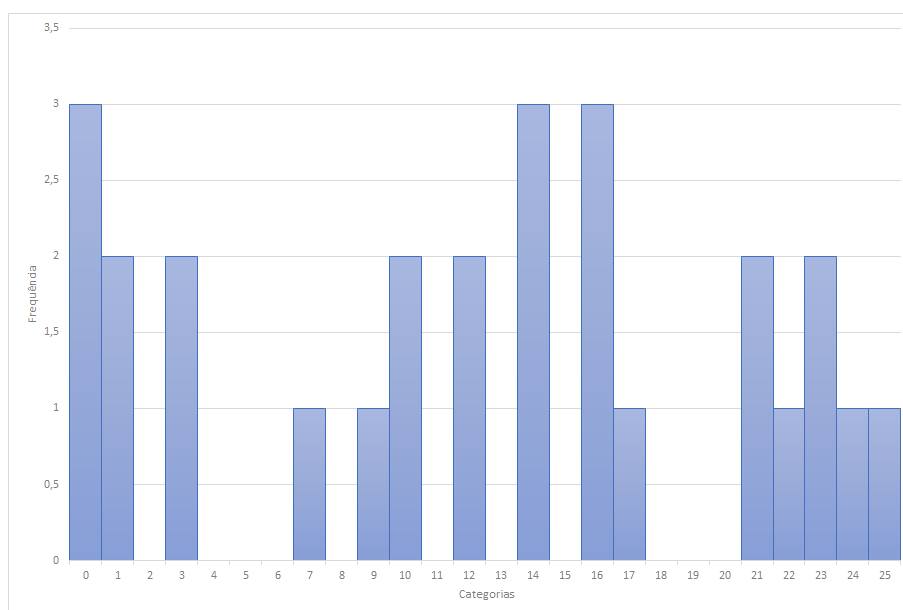


Figura A.20: Gráfico das Categorias na Estação 21

Tabela A.23: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 22

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 9          | 13        | 2          |
| 1         | 4          | 14        | 4          |
| 2         | 5          | 15        | 10         |
| 3         | 13         | 16        | 10         |
| 4         | 3          | 17        | 11         |
| 5         | 6          | 18        | 4          |
| 6         | 0          | 19        | 2          |
| 7         | 19         | 20        | 3          |
| 8         | 3          | 21        | 10         |
| 9         | 7          | 22        | 8          |
| 10        | 4          | 23        | 9          |
| 11        | 4          | 24        | 2          |
| 12        | 5          | 25        | 5          |

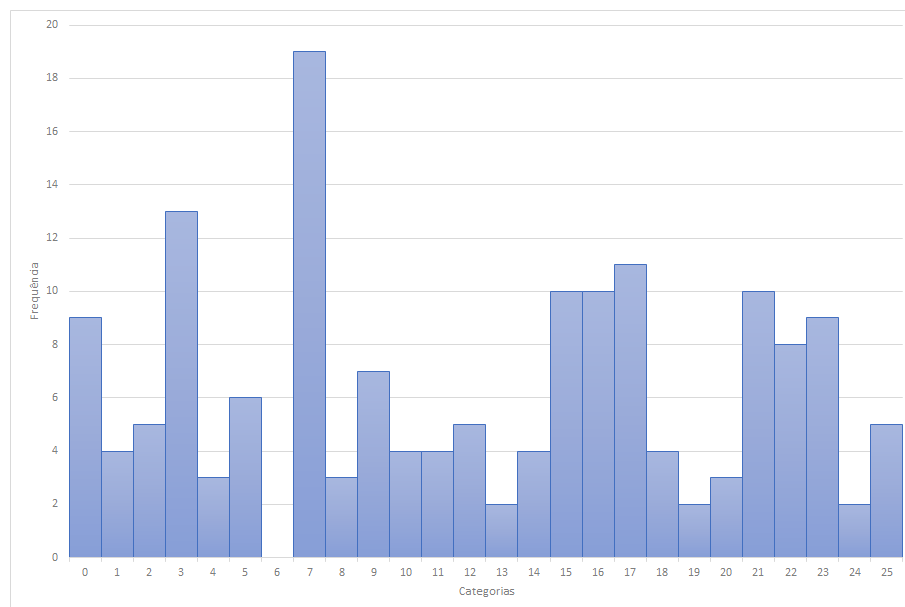


Figura A.21: Gráfico das Categorias na Estação 22

Tabela A.24: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 23

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 6          | 13        | 0          |
| 1         | 4          | 14        | 0          |
| 2         | 2          | 15        | 5          |
| 3         | 1          | 16        | 3          |
| 4         | 2          | 17        | 3          |
| 5         | 2          | 18        | 1          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 3          | 20        | 1          |
| 8         | 4          | 21        | 1          |
| 9         | 3          | 22        | 1          |
| 10        | 0          | 23        | 2          |
| 11        | 1          | 24        | 0          |
| 12        | 1          | 25        | 3          |

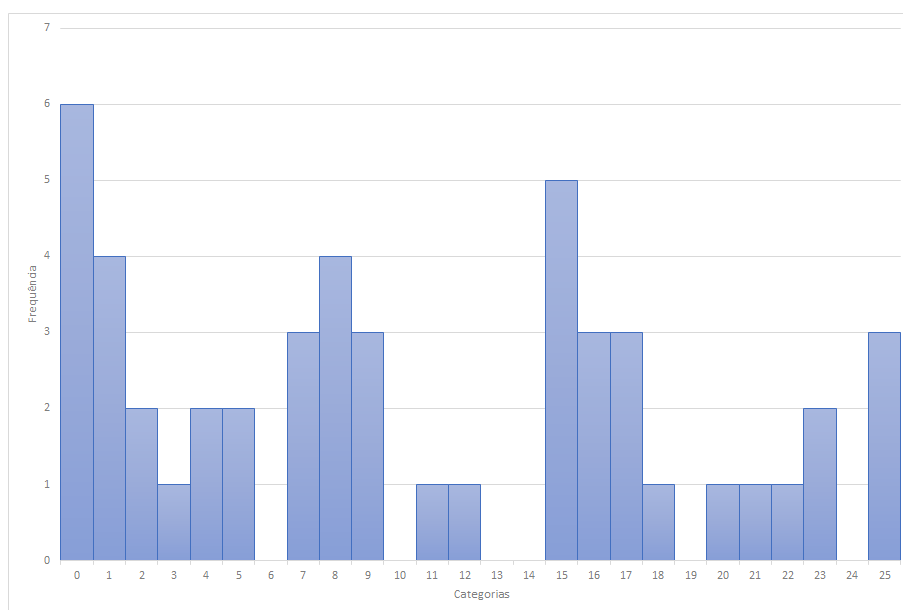


Figura A.22: Gráfico das Categorias na Estação 23

Tabela A.25: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 24

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 7          | 13        | 6          |
| 1         | 5          | 14        | 1          |
| 2         | 6          | 15        | 5          |
| 3         | 5          | 16        | 16         |
| 4         | 1          | 17        | 13         |
| 5         | 3          | 18        | 1          |
| 6         | 0          | 19        | 1          |
| 7         | 14         | 20        | 3          |
| 8         | 7          | 21        | 16         |
| 9         | 13         | 22        | 9          |
| 10        | 7          | 23        | 6          |
| 11        | 9          | 24        | 8          |
| 12        | 3          | 25        | 7          |

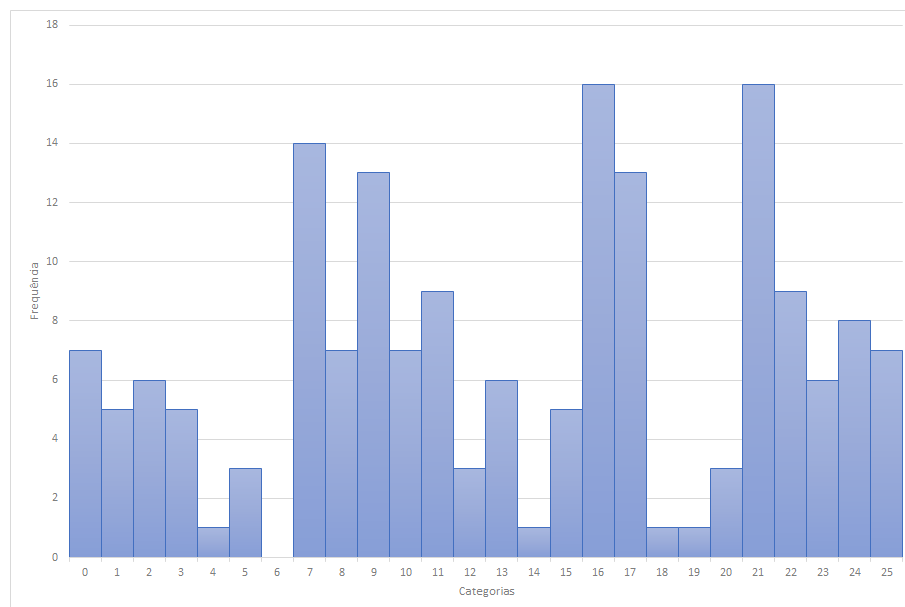


Figura A.23: Gráfico das Categorias na Estação 24

Tabela A.26: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 25

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 4          | 13        | 2          |
| 1         | 2          | 14        | 2          |
| 2         | 2          | 15        | 3          |
| 3         | 3          | 16        | 5          |
| 4         | 1          | 17        | 8          |
| 5         | 3          | 18        | 1          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 3          | 20        | 0          |
| 8         | 4          | 21        | 5          |
| 9         | 2          | 22        | 4          |
| 10        | 3          | 23        | 2          |
| 11        | 3          | 24        | 4          |
| 12        | 1          | 25        | 10         |

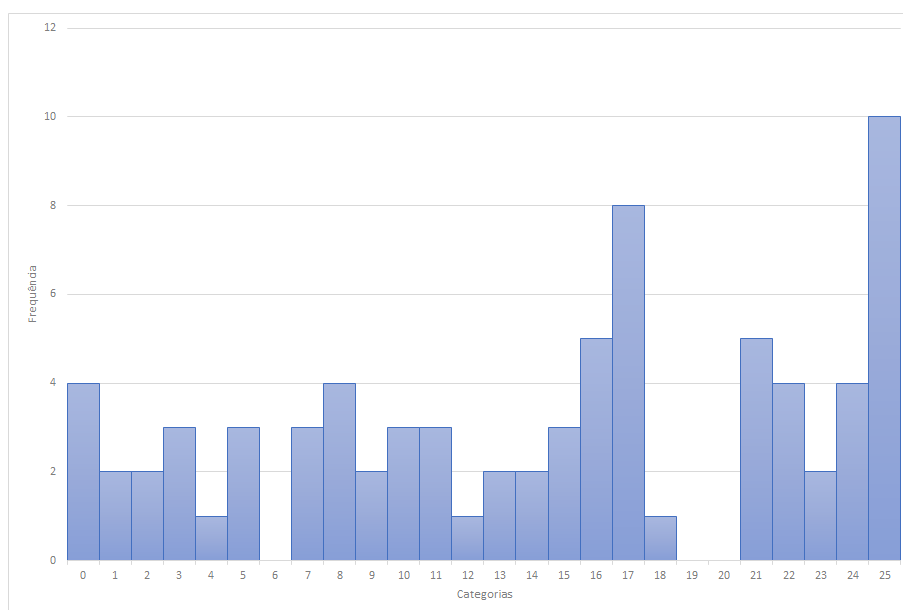


Figura A.24: Gráfico das Categorias na Estação 25

Tabela A.27: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 26

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 2          | 13        | 1          |
| 1         | 2          | 14        | 1          |
| 2         | 0          | 15        | 3          |
| 3         | 0          | 16        | 2          |
| 4         | 1          | 17        | 3          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 1          |
| 7         | 0          | 20        | 5          |
| 8         | 1          | 21        | 6          |
| 9         | 6          | 22        | 2          |
| 10        | 0          | 23        | 2          |
| 11        | 0          | 24        | 2          |
| 12        | 3          | 25        | 1          |

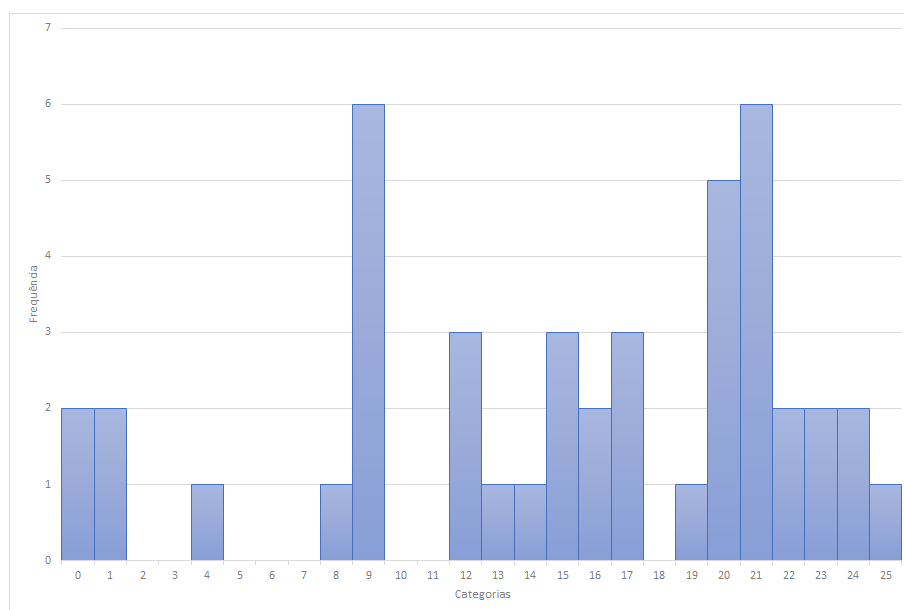


Figura A.25: Gráfico das Categorias na Estação 26

Tabela A.28: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 27

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 6          | 13        | 6          |
| 1         | 1          | 14        | 0          |
| 2         | 4          | 15        | 3          |
| 3         | 4          | 16        | 5          |
| 4         | 3          | 17        | 4          |
| 5         | 2          | 18        | 1          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 10         | 20        | 0          |
| 8         | 4          | 21        | 7          |
| 9         | 5          | 22        | 2          |
| 10        | 3          | 23        | 6          |
| 11        | 3          | 24        | 4          |
| 12        | 4          | 25        | 9          |

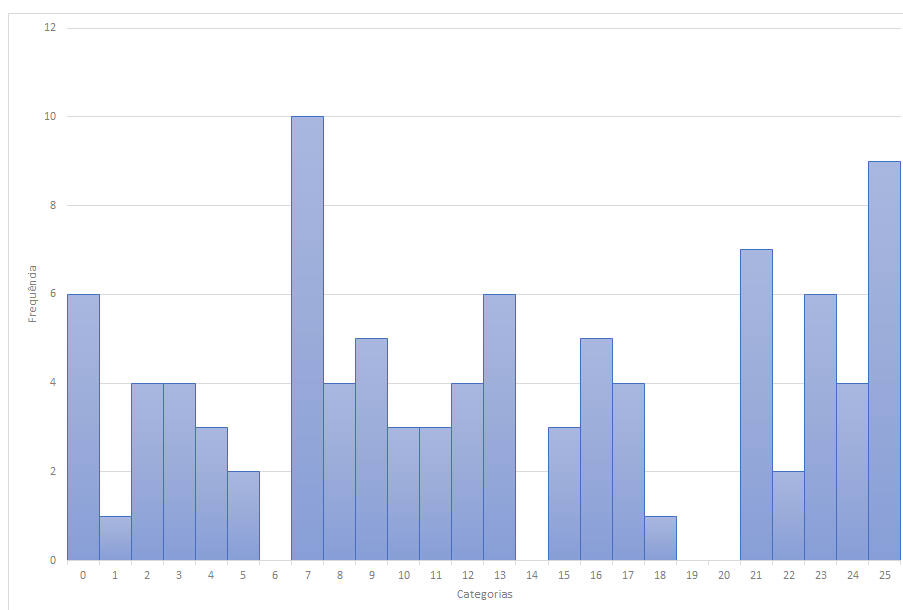


Figura A.26: Gráfico das Categorias na Estação 27

Tabela A.29: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 28

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 552        | 13        | 306        |
| 1         | 308        | 14        | 158        |
| 2         | 320        | 15        | 461        |
| 3         | 387        | 16        | 827        |
| 4         | 91         | 17        | 598        |
| 5         | 181        | 18        | 104        |
| 6         | 0          | 19        | 35         |
| 7         | 850        | 20        | 280        |
| 8         | 252        | 21        | 509        |
| 9         | 525        | 22        | 402        |
| 10        | 208        | 23        | 558        |
| 11        | 352        | 24        | 300        |
| 12        | 363        | 25        | 541        |

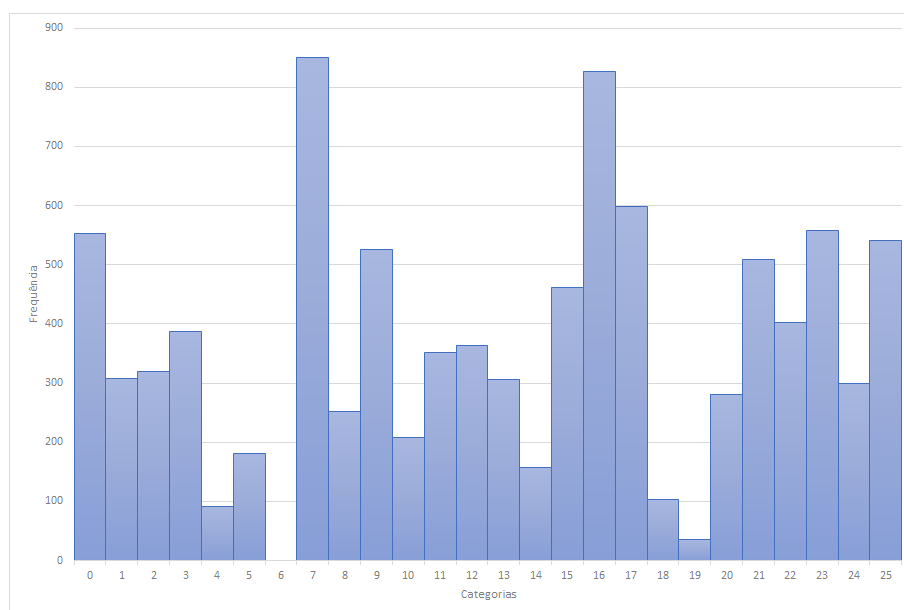


Figura A.27: Gráfico das Categorias na Estação 28

Tabela A.30: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 29

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 68         | 13        | 44         |
| 1         | 39         | 14        | 15         |
| 2         | 43         | 15        | 73         |
| 3         | 71         | 16        | 105        |
| 4         | 13         | 17        | 81         |
| 5         | 32         | 18        | 20         |
| 6         | 0          | 19        | 3          |
| 7         | 119        | 20        | 43         |
| 8         | 39         | 21        | 69         |
| 9         | 81         | 22        | 73         |
| 10        | 31         | 23        | 81         |
| 11        | 49         | 24        | 51         |
| 12        | 56         | 25        | 88         |

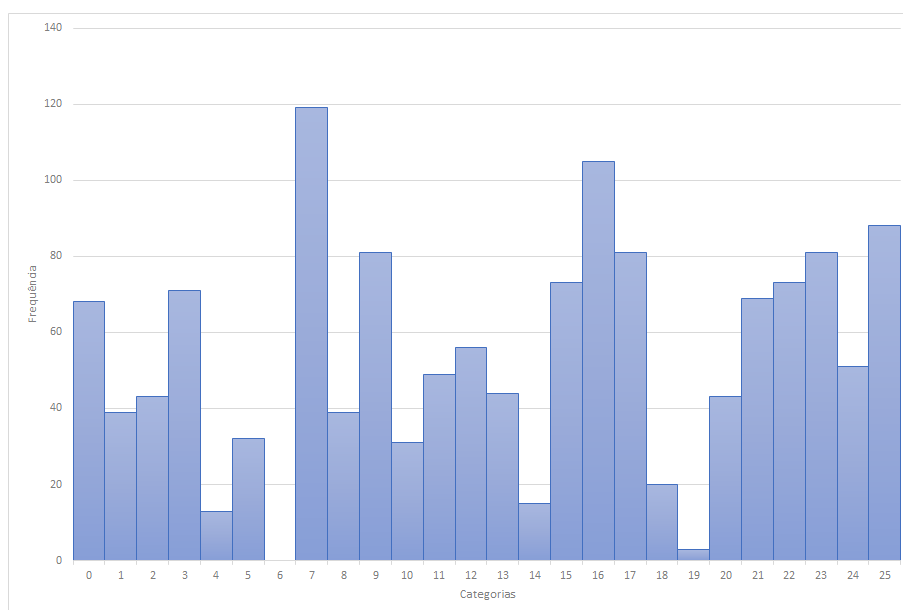


Figura A.28: Gráfico das Categorias na Estação 29

Tabela A.31: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 30

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 11         | 13        | 6          |
| 1         | 11         | 14        | 8          |
| 2         | 9          | 15        | 9          |
| 3         | 8          | 16        | 20         |
| 4         | 1          | 17        | 17         |
| 5         | 6          | 18        | 1          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 26         | 20        | 13         |
| 8         | 9          | 21        | 14         |
| 9         | 9          | 22        | 11         |
| 10        | 3          | 23        | 13         |
| 11        | 12         | 24        | 3          |
| 12        | 18         | 25        | 14         |

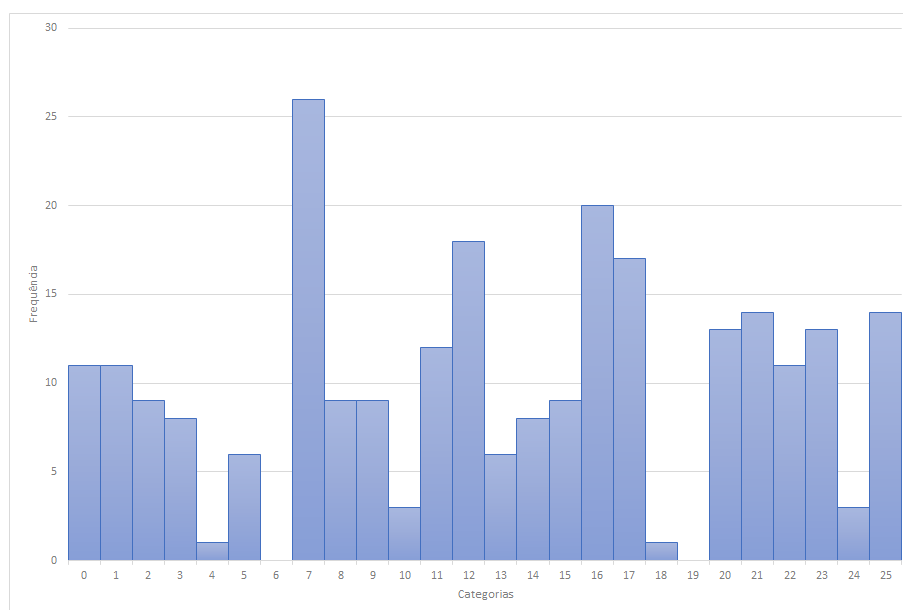


Figura A.29: Gráfico das Categorias na Estação 30

Tabela A.32: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 31

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 0          | 13        | 0          |
| 1         | 0          | 14        | 0          |
| 2         | 0          | 15        | 0          |
| 3         | 0          | 16        | 1          |
| 4         | 0          | 17        | 0          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 3          | 20        | 0          |
| 8         | 0          | 21        | 2          |
| 9         | 0          | 22        | 0          |
| 10        | 0          | 23        | 1          |
| 11        | 0          | 24        | 0          |
| 12        | 1          | 25        | 0          |

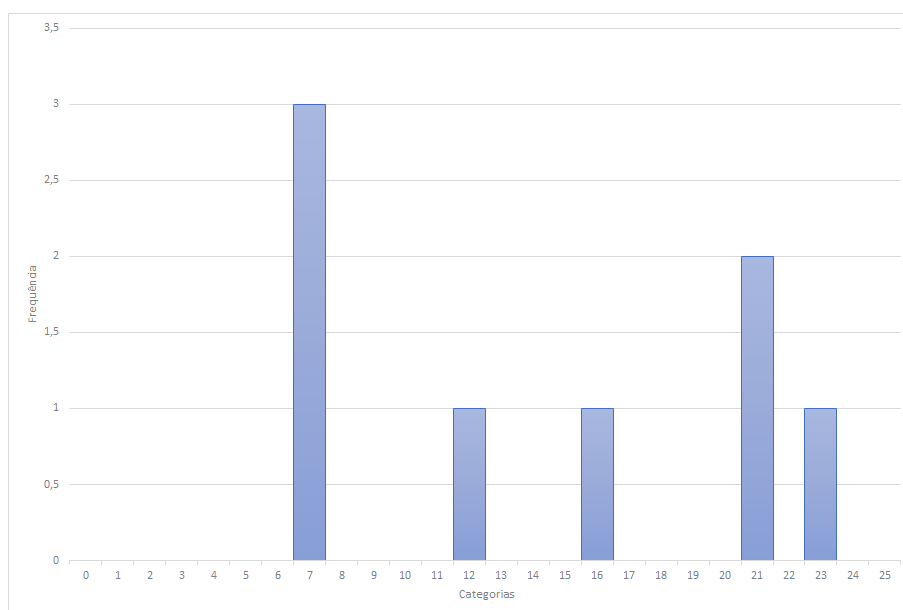


Figura A.30: Gráfico das Categorias na Estação 31

Tabela A.33: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 32

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 2          | 13        | 0          |
| 1         | 1          | 14        | 2          |
| 2         | 0          | 15        | 0          |
| 3         | 0          | 16        | 1          |
| 4         | 0          | 17        | 2          |
| 5         | 0          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 0          | 20        | 0          |
| 8         | 1          | 21        | 0          |
| 9         | 1          | 22        | 0          |
| 10        | 1          | 23        | 0          |
| 11        | 0          | 24        | 0          |
| 12        | 1          | 25        | 0          |

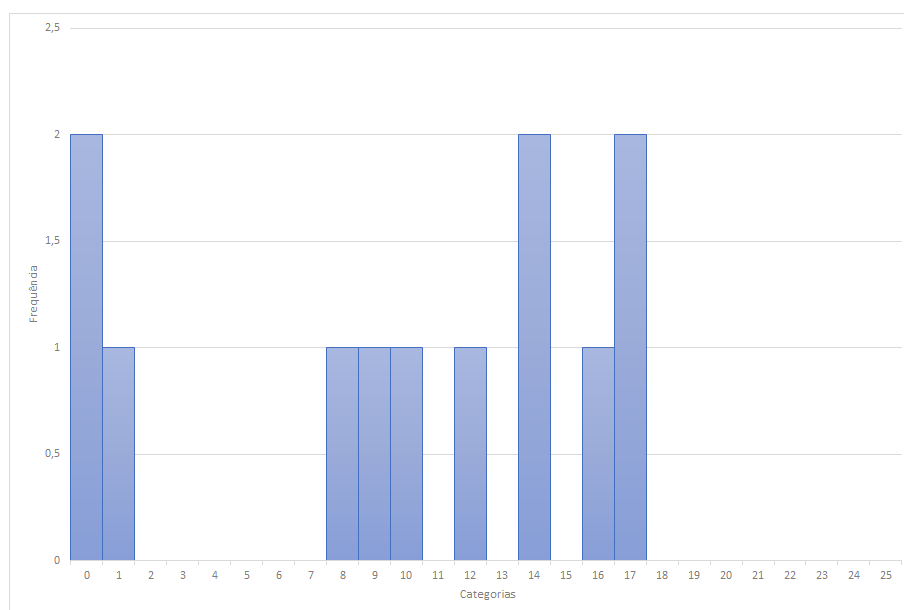


Figura A.31: Gráfico das Categorias na Estação 32

Tabela A.34: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 34

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 0          | 13        | 2          |
| 1         | 0          | 14        | 0          |
| 2         | 0          | 15        | 1          |
| 3         | 1          | 16        | 5          |
| 4         | 0          | 17        | 2          |
| 5         | 1          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 3          | 20        | 0          |
| 8         | 0          | 21        | 0          |
| 9         | 3          | 22        | 2          |
| 10        | 0          | 23        | 3          |
| 11        | 1          | 24        | 2          |
| 12        | 4          | 25        | 3          |

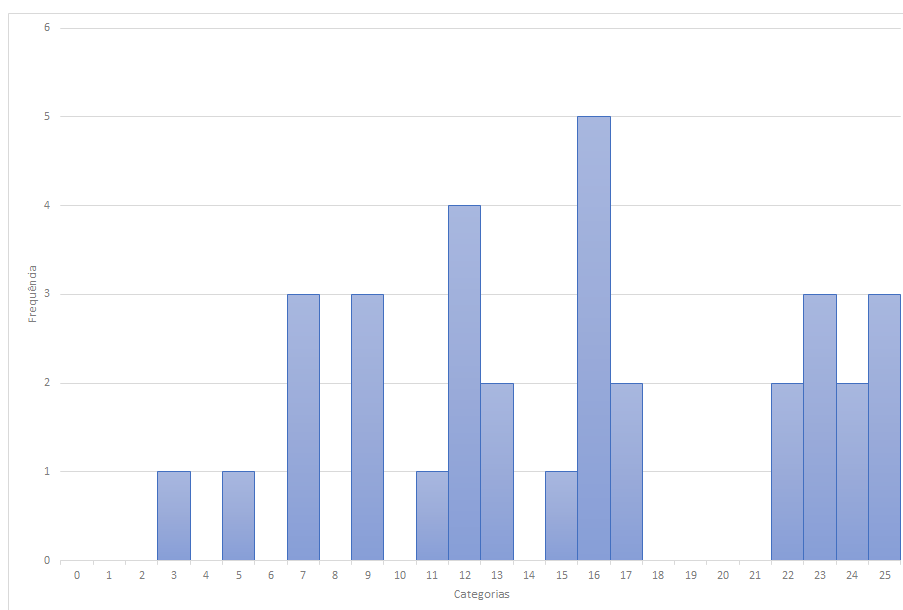


Figura A.32: Gráfico das Categorias na Estação 34

Tabela A.35: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 35

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 15         | 13        | 4          |
| 1         | 6          | 14        | 2          |
| 2         | 1          | 15        | 9          |
| 3         | 7          | 16        | 14         |
| 4         | 2          | 17        | 8          |
| 5         | 1          | 18        | 3          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 17         | 20        | 1          |
| 8         | 1          | 21        | 6          |
| 9         | 8          | 22        | 8          |
| 10        | 2          | 23        | 8          |
| 11        | 3          | 24        | 5          |
| 12        | 3          | 25        | 7          |

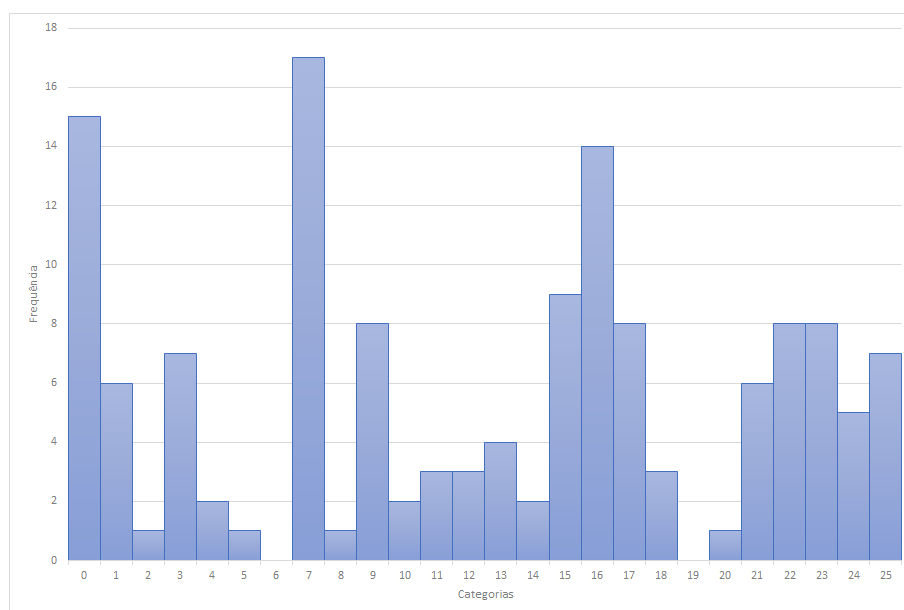


Figura A.33: Gráfico das Categorias na Estação 35

Tabela A.36: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 37

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 13         | 13        | 6          |
| 1         | 7          | 14        | 3          |
| 2         | 6          | 15        | 13         |
| 3         | 8          | 16        | 16         |
| 4         | 1          | 17        | 12         |
| 5         | 8          | 18        | 5          |
| 6         | 0          | 19        | 0          |
| 7         | 20         | 20        | 5          |
| 8         | 3          | 21        | 12         |
| 9         | 11         | 22        | 11         |
| 10        | 4          | 23        | 9          |
| 11        | 6          | 24        | 8          |
| 12        | 6          | 25        | 17         |

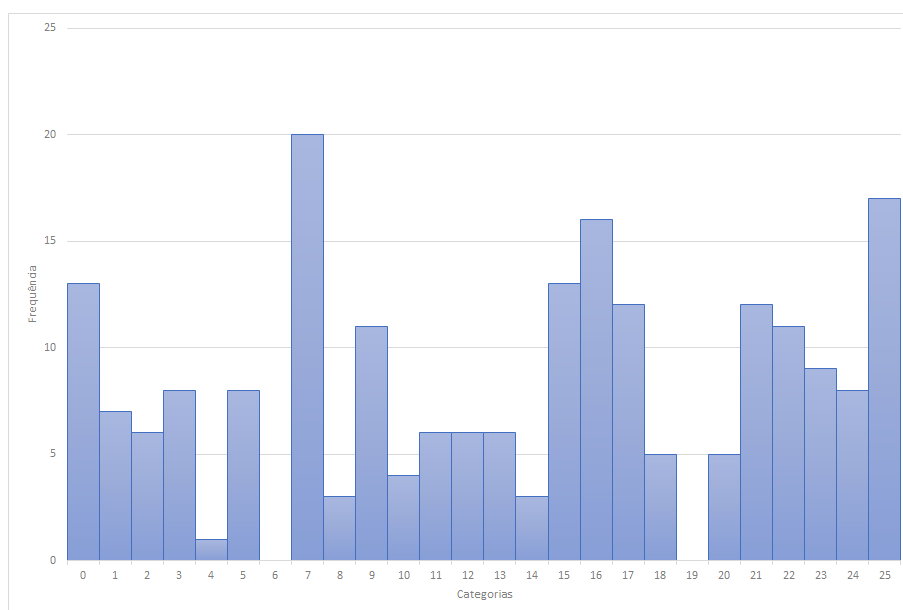


Figura A.34: Gráfico das Categorias na Estação 37

Tabela A.37: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 38

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 148        | 13        | 84         |
| 1         | 78         | 14        | 47         |
| 2         | 88         | 15        | 135        |
| 3         | 106        | 16        | 230        |
| 4         | 23         | 17        | 193        |
| 5         | 47         | 18        | 38         |
| 6         | 0          | 19        | 10         |
| 7         | 230        | 20        | 84         |
| 8         | 58         | 21        | 116        |
| 9         | 165        | 22        | 121        |
| 10        | 52         | 23        | 154        |
| 11        | 81         | 24        | 87         |
| 12        | 109        | 25        | 154        |

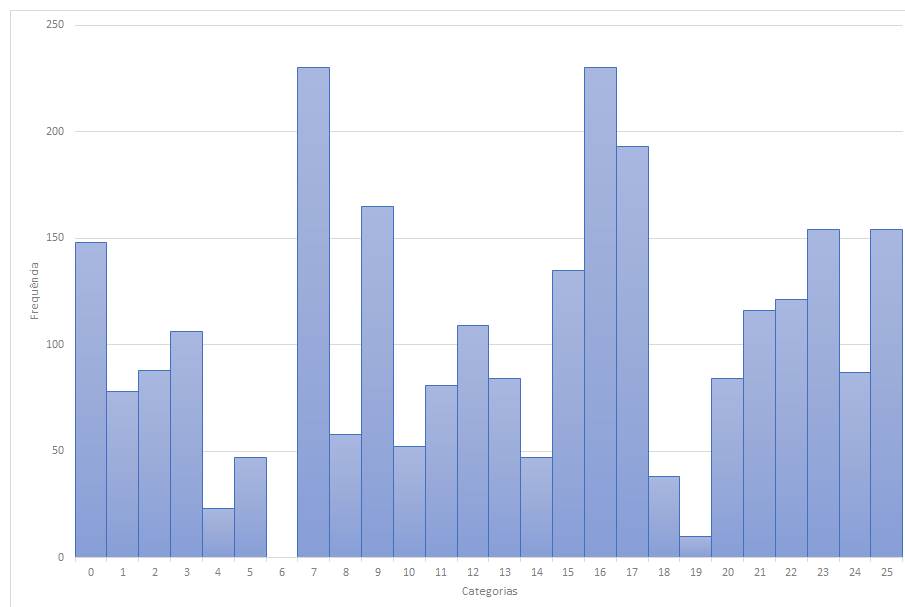


Figura A.35: Gráfico das Categorias na Estação 38

Tabela A.38: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 42

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 8          | 13        | 4          |
| 1         | 1          | 14        | 1          |
| 2         | 5          | 15        | 3          |
| 3         | 5          | 16        | 9          |
| 4         | 0          | 17        | 6          |
| 5         | 2          | 18        | 0          |
| 6         | 0          | 19        | 1          |
| 7         | 9          | 20        | 3          |
| 8         | 5          | 21        | 1          |
| 9         | 4          | 22        | 2          |
| 10        | 5          | 23        | 4          |
| 11        | 5          | 24        | 3          |
| 12        | 7          | 25        | 3          |

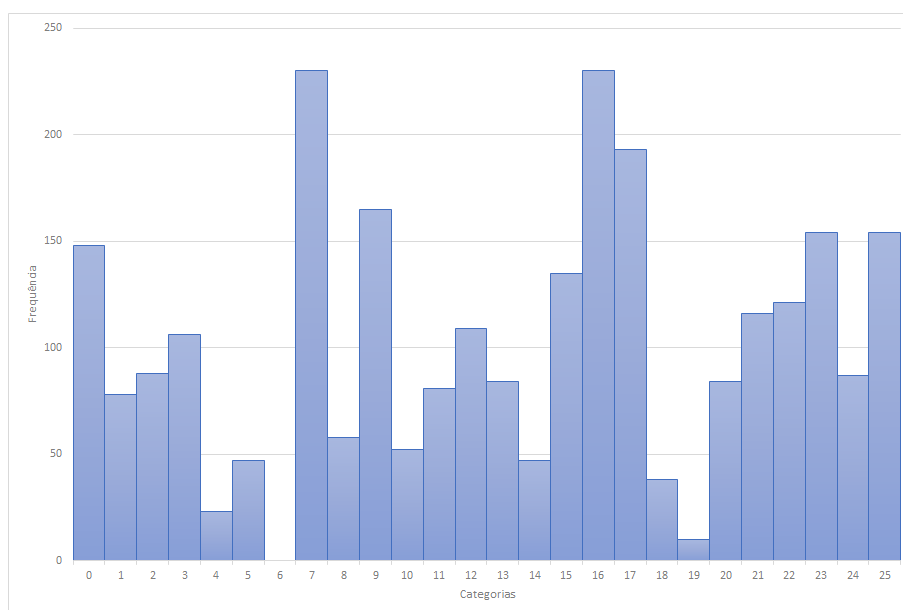


Figura A.36: Gráfico das Categorias na Estação 42

Tabela A.39: Tabela de Frequência das Categorias na Estação 43

| Categoria | Frequência | Categoria | Frequência |
|-----------|------------|-----------|------------|
| 0         | 9          | 13        | 11         |
| 1         | 6          | 14        | 6          |
| 2         | 5          | 15        | 15         |
| 3         | 6          | 16        | 19         |
| 4         | 3          | 17        | 15         |
| 5         | 1          | 18        | 1          |
| 6         | 0          | 19        | 2          |
| 7         | 13         | 20        | 5          |
| 8         | 6          | 21        | 12         |
| 9         | 16         | 22        | 7          |
| 10        | 3          | 23        | 11         |
| 11        | 8          | 24        | 9          |
| 12        | 9          | 25        | 18         |

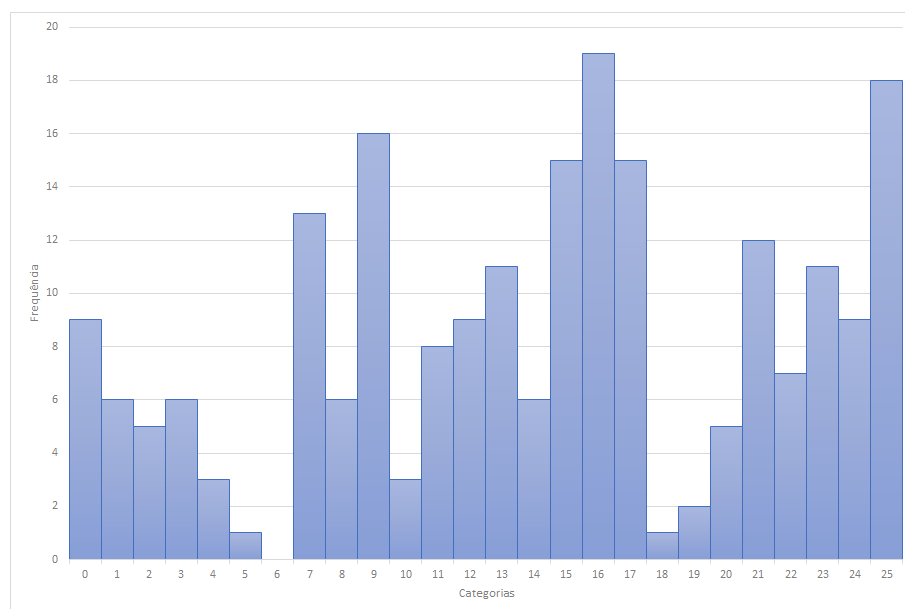


Figura A.37: Gráfico das Categorias na Estação 43

## A.4 Matriz de Upgrade

[illegible]

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| E  | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28  | 29  | 30  | 31  | 32  | 33  | 34  | 35  | 36  | 37  | 38  | 39  | 40  | 41  | 42  | 43 |
| 0  | 0    | 20   | 20   | 20   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 45   | 60   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 40 | 20 | 40 | 35 | 35 | 35 | 35  | 40  | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40 |
| 1  | 20   | 0    | 20   | 20   | 35   | 35   | 35   | 50   | 35   | 35   | 45   | 60   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 40   | 20 | 40 | 35 | 35 | 35 | 35 | 40  | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40 |
| 2  | 20   | 20   | 0    | 20   | 35   | 35   | 35   | 35   | 50   | 35   | 35   | 45   | 60   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 40   | 20 | 40 | 35 | 35 | 35 | 35 | 40  | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40 |
| 3  | 20   | 20   | 20   | 0    | 35   | 35   | 35   | 35   | 50   | 35   | 35   | 45   | 60   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 40   | 20 | 40 | 35 | 35 | 35 | 35 | 40  | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40 |
| 4  | 35   | 35   | 35   | 35   | 5    | 0    | 5    | 2    | 2    | 45   | 4    | 2    | 25   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 5  | 35   | 35   | 35   | 35   | 5    | 0    | 5    | 5    | 45   | 9    | 5    | 25   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 6  | 35   | 35   | 35   | 35   | 2    | 5    | 0    | 0    | 45   | 4    | 2    | 25   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 7  | 35   | 35   | 35   | 35   | 2    | 5    | 0    | 0    | 45   | 4    | 2    | 25   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 8  | 35   | 35   | 35   | 35   | 4    | 9    | 4    | 4    | 45   | 0    | 4    | 25   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 9  | 35   | 35   | 35   | 35   | 4    | 9    | 4    | 4    | 45   | 0    | 4    | 25   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 10 | 35   | 35   | 35   | 35   | 2    | 5    | 2    | 2    | 45   | 4    | 0    | 25   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 11 | 45   | 45   | 45   | 45   | 25   | 25   | 25   | 25   | 45   | 25   | 25   | 0    | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 12 | 60   | 60   | 60   | 60   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 13 | 70   | 70   | 70   | 70   | 45   | 45   | 45   | 45   | 50   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 14 | 70   | 70   | 70   | 70   | 45   | 45   | 45   | 45   | 50   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 15 | 70   | 70   | 70   | 70   | 45   | 45   | 45   | 45   | 50   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 16 | 70   | 70   | 70   | 70   | 45   | 45   | 45   | 45   | 50   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 17 | 70   | 70   | 70   | 70   | 45   | 45   | 45   | 45   | 50   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 18 | 70   | 70   | 70   | 70   | 45   | 45   | 45   | 45   | 50   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 19 | 70   | 70   | 70   | 70   | 45   | 45   | 45   | 45   | 50   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 20 | 70   | 70   | 70   | 70   | 45   | 45   | 45   | 45   | 50   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 45   | 60   | 35 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 50  | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |    |
| 21 | 0    | 40   | 40   | 40   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 40   | 0  | 40 | 50 | 50 | 40 | 90 | 110 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |    |
| 22 | 20   | 20   | 20   | 20   | 35   | 35   | 35   | 35   | 50   | 35   | 35   | 45   | 60   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 23 | 40   | 40   | 40   | 40   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 24 | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 25 | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 26 | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 27 | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 35   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 28 | 40   | 40   | 40   | 40   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 29 | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 30 | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 31 | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 32 | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 33 | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 34 | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 35 | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 60   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 36 | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 37 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |     |    |
| 38 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 9999 | 0  | 40 | 35 | 35 | 35 | 40 | 60  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  |    |
| 39 | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   | 40   |      |      |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |



## A.6 Resultados das Simulações

Tabela A.42: Informações de todas as simulações

| Simulação | Proporção | Nº Carros | Nº Aceites | Nº Recusadas | Nº Transportes | Nº Upgrades | Sem transporte/upgrade |
|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|----------------|-------------|------------------------|
| 1         | 1         | 1848      | 52260      | 105851       | 2209           | 28343       | 21708                  |
| 2         | 1         | 3080      | 85585      | 72270        | 4356           | 38060       | 43169                  |
| 3         | 1         | 4312      | 113538     | 44489        | 6991           | 40240       | 66307                  |
| 4         | 1         | 5544      | 131858     | 26410        | 8606           | 39735       | 83517                  |
| 5         | 1         | 6776      | 142103     | 15658        | 9103           | 36437       | 96563                  |
| 6         | 1         | 8008      | 147882     | 10152        | 8754           | 34608       | 104520                 |
| 7         | 1         | 9240      | 150987     | 7244         | 8014           | 32798       | 110175                 |
| 8         | 1         | 10472     | 152502     | 5264         | 7449           | 31126       | 113927                 |
| 9         | 1         | 11704     | 154196     | 4035         | 6668           | 28801       | 118727                 |
| 10        | 1         | 12936     | 154765     | 3086         | 6046           | 25752       | 122967                 |
| 11        | 1         | 14168     | 155309     | 2634         | 5340           | 23235       | 126734                 |
| 12        | 2         | 13067     | 156208     | 1879         | 2453           | 20558       | 133197                 |
| 13        | 3         | 12962     | 156400     | 1810         | 1421           | 23304       | 131675                 |
| 14        | 4         | 12722     | 156794     | 1866         | 1200           | 26093       | 129501                 |
| 15        | 5         | 12064     | 157757     | 272          | 3594           | 24977       | 129186                 |
| 16        | 6         | 11045     | 158080     | 38           | 2031           | 15564       | 140485                 |
| 17        | 6         | 2117      | 57407      | 98811        | 2392           | 33317       | 21698                  |
| 18        | 6         | 3331      | 90372      | 67690        | 3951           | 44871       | 41550                  |
| 19        | 6         | 4660      | 116752     | 37200        | 6152           | 49269       | 61331                  |
| 20        | 6         | 5872      | 141649     | 16098        | 7609           | 45370       | 88670                  |
| 21        | 6         | 7290      | 154288     | 3327         | 6855           | 35608       | 111825                 |
| 22        | 6         | 8501      | 157825     | 566          | 4531           | 27938       | 125356                 |
| 23        | 6         | 9718      | 153447     | 141          | 2957           | 21929       | 128561                 |



# Referências

- [1] W. J. Carroll e R. C. Grimes. Evolutionary change in product management: Experiences in the car rental industry. *Interfaces*, 25(5):84–104, 1995. doi:<https://doi.org/10.1287/inte.25.5.84>.
- [2] Gen-Han Wu. Fleet planning in the car rental business. 2009.
- [3] A. Pinheiro e J. F. Santos. Rent-a-car. *Journal of Tourism Studies*, 2(2), 2009. URL: <http://revistas.ulusofona.pt/index.php/jts/article/view/541/444>.
- [4] Diogo Ferreira Nunes. Rent-a-car vale 700 milhões de euros à boleia dos turistas. *Diário de Notícias*, 2018. URL: <https://www.dn.pt/dinheiro/interior/rent-a-car-vale-700-milhoes-de-euros-a-boleia-dos-turistas-9116224.html>.
- [5] Diogo Ferreira Nunes. Aquisições no rent-a-car chegaram às 3.453 viaturas em dezembro, 2019. URL: <https://www.publituris.pt/2019/01/10/aquisicoes-no-rent-a-car-chegaram-as-3-453-viaturas-em-dezembro/>.
- [6] Beatriz Brito Oliveira, Maria Antónia Carravilla, e José Fernando Oliveira. Fleet and revenue management in car rental companies: A literature review and an integrated conceptual framework. *Omega*, 71:11–26, 2016. doi:10.1016/j.omega.2016.08.011.
- [7] Alain Hertz, David Schindl, e Nicolas Zufferey. A solution method for a car fleet management problem with maintenance constraints. *Journal of Heuristics*, 15:425–450, 2006.
- [8] F. Tao. Decision on transfer policy for a car rental company in multi-city network. Em *2015 International Conference on Electrical, Automation and Mechanical Engineering*, 2015.
- [9] Dong Li e Zhan Pang. Dynamic booking control for car rental revenue management: A decomposition approach. *European Journal of Operational Research*, 256, 06 2016. doi:10.1016/j.ejor.2016.06.044.
- [10] Beatriz Oliveira, Maria Carravilla, e José Fernando Oliveira. Integrating pricing and capacity decisions in car rental: A matheuristic approach. *Operations Research Perspectives*, 5, 10 2018. doi:10.1016/j.orp.2018.10.002.
- [11] Ilya Grigoryev. *Anylogic in 3 days*. Fifth Edit., December 2014.
- [12] Jin Li, Yedi Yang, e Qunxin Zhao. Study on passenger flow simulation in urban subway station based on anylogic. *JSW*, 9:140–146, 2014. doi:10.4304/jsw.9.1.140-146.
- [13] Beatriz Andres, Raquel Sanchis, e Raul Poler. Modelado y simulación de la cadena de suministro con anylogic®. *Modelling in Science Education and Learning*, 9(1):57–72, 2016. doi:10.4995/msel.2016.3520.