

**Estudo dos Congestionamentos e Tempos de Espera numa Empresa de
Transportes Metropolitana**

Filipe Martins Vaz

Projeto submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Gestão de Serviços e Tecnologia

Orientador:

Prof.^a Doutora Ana Lúcia Henriques Martins, Prof. Auxiliar, ISCTE Business School,
Departamento de Marketing, Operações e Gestão Geral

outubro 2019

Estudo dos Congestionamentos e Tempos de Espera numa Empresa de Transportes Metropolitana

FILIPE MARTINS VAZ

Resumo

O sistema metropolitano é um sistema de transporte ferroviário ligeiro que não se encontra com outros sistemas de transporte ou empresas, tendo assim uma linha exclusiva. Por isso, permite uma melhor regularização da oferta, tendo assim tempos de espera baixos, relativamente a outros sistemas ferroviários.

Devido aos congestionamentos e tempos de espera significativos que o metro regista que podem alterar a qualidade de serviço, procedeu-se ao estudo dos mesmos no Metro de Lisboa.

Devido ao planeamento da formação de uma linha circular, estudou-se os tempos de espera e congestionamentos da linha vermelha, a atual linha que faz ligação com todas as outras linhas.

Para isso, escolheu-se a utilização da simulação por computador, pelas suas vantagens da potência computacional significativa, o que permite uma previsão com um rigor considerável.

Com o número de entradas e saídas por estação, dia da semana, e período horário recebidos pelo metro e o intervalo temporal entre comboios, foi possível calcular o número de passageiros na plataforma e nas carruagens em cada minuto e tempo de espera de cada passageiro até entrar na carruagem por plataforma e o minuto na qual ocorreu essa entrada.

Com estes dados, foi possível concluir que, tanto em congestionamentos como nos tempos de espera, existe uma diferença entre estações (tendo as estações de mudança de linha e Oriente mais congestionamento), dias da semana (principalmente entre dias úteis e fins de semana) e período horário (com a Ponta da Manhã e Tarde a ter mais procura e Noite mais tempo de espera).

Palavras Chave: Tempo de Espera, Congestionamentos, Gestão *Lean*, Metropolitano, Lisboa

Classificação JEL: M10: Administração de Empresas e Economia Empresarial, marketing, contabilidade - Geral

Y40: Dissertações

Abstract

Rapid Transit is a connected rail transport system that does not share its line with other transport systems or companies, having an exclusive line. It therefore allows for a better regularization of supply, thus having lower lead times compared to other rail systems.

Due to overcrowding and waiting times that the subway has that may change the quality of service, it was decided to study them in Metro de Lisboa.

Due to planification of a formation of a circular line, it was study the waiting times and overcrowding of the red line, the current line that have a connection with all other lines.

To do so, it was chosen to do via the use of a computer simulation feature, that has advantages of high computing power and allow accurate prediction.

With the number of entrances and exits per station, day of the week and time period received by Metro and time interval between trains, it was possible to calculate the number of passengers on the platform and carriages in each minute and the waiting time of each passenger until entering the carriage and the minute this entry occurred.

With these data, it was concluded that, in both congestion and waiting times, there is a difference between the stations (having more overcrowding the stations that connects with all the other lines and Oriente), days of the week (mainly between working days and weekends) and time period (with morning and afternoon rush having more demand and night with longer waiting time).

Key Words: Waiting Times, Overcrowding, Lean Management, Rapid Transit, Lisbon

Classification JEL: M10: Business Administration, Business Economics, Marketing, Accounting- General

Y40: Dissertations

Agradecimentos

Neste capítulo simbólico, não posso deixar de agradecer a todas as pessoas e instituições que me ajudaram a chegar onde cheguei.

À minha família que, apesar de não ter os recursos imediatos para que possa continuar a aprender num país onde o conhecimento tem preço, sempre me auxiliaram para que prosseguisse com os estudos.

Também tenho de deixar aqui relatado o meu agradecimento a uma instituição na qual passei a maior parte da minha vida académica, a Associação de Estudantes do ISCTE-IUL. Nela, posso não ter aprendido as melhores ideias conceptuais e teóricas sobre gestão, mas aprendi muito ao desenvolver soft-skills ou mesmo competências técnicas da rádio. E ao estar durante anos no desenvolvimento da rádio, agradeço profundamente a escolha de batizarem a rádio com o meu nome. Espero que a geração seguinte desenvolva a Rádio Martins Vaz como uma rádio académica para todos os estudantes, tal como eu tentei fazer.

Mas as instituições são as pessoas que nelas estão envolvidas. E aqui podia deixar muitos nomes, de presidentes, vice-presidentes, coordenadores, vice-coordenadores ou mesmo colaboradores, mas não haveria espaço suficiente nesta tese para listar cada um que confiou em mim e me apoiou, nisso estou extremamente grato. E cada evento que a AE organiza, cada moção que a AE prepara, cada equipa que a AE orienta é prova da força que a AE possui. Sinto um orgulho enorme em ter pertencido, até ver prova do contrário, à melhor associação de estudantes do país.

A todos e a todas que, pessoalmente me ajudaram, e que me aconselhavam para ir fazer a tese, mesmo em casa das mesmas, e que, acontecesse o que acontecesse, sempre estiveram por mim.

Também tenho de registar o enorme orgulho em pertencer à instituição académica que, desde caloiro, me desenvolveu. O ISCTE-IUL é uma prova viva da inovação nas áreas das ciências sociais, tecnologias, arquitetura e ciências empresariais. Com o ISCTE, sinto que o ensino superior de Portugal é melhor e que uma das razões para a progressão da Ciência em Portugal é em parte devido ao ISCTE. Tal como na AE, tenho a agradecer todos os professores que contribuíram para estar onde estou. Uma palavra especial de apreço à minha orientadora que me ajudou em qualquer dúvida que tivesse e que de facto vi a sua motivação pela academia.

Também ao Metro de Lisboa e à chefe de gabinete do secretário de estado adjunto do ambiente que ajudaram a obter os dados para o desenvolvimento desta tese.

E para estes e outros que me não registei aqui, o meu profundo agradecimento.

Índice Geral

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivo Global	5
1.3 Objetivos específicos	5
1.4 Metodologia	5
1.5 Âmbito	6
1.6 Estrutura Global da Tese	6
2. Revisão Literária	8
2.1 Introdução	8
2.2 Bens e Serviços	8
2.2.1 Bem	8
2.2.2 Serviço	8
2.2.3 Espectro bens-serviços	11
2.3 Lean	12
2.3.1 Princípios Lean	12
2.3.1.1 Valor	12
2.3.1.2 “Value Stream”	13
2.3.1.3 Fluxo	13
2.3.1.4 Pull	13
2.3.1.5 Perfeição	14
2.3.2 Gestão Lean	14
2.3.3 Desperdícios	14
2.3.3.1 Sobreprodução	15
2.3.3.2 Espera	15
2.3.3.4 Transporte	15
2.3.3.5 Processamento não apropriado	16
2.3.3.6 Inventário desnecessário	16
2.3.3.7 Movimento desnecessário	16
2.3.3.8 Defeitos	16
2.4 Lean nos Serviços	16
2.4.1 Princípios Lean nos serviços	19
2.4.1.1 Valor	19
2.4.1.2 “Value Stream”	19
2.4.1.3 Fluxo	20

2.4.1.4 Pull	20
2.4.1.5 Perfeição	20
2.4.2 Desperdícios nos Serviços	20
2.4.2.1 Design do serviço	21
2.4.2.2 Item do serviço	21
2.4.2.3 Capacidade do Serviço	21
2.4.2.4 Processo do serviço	21
2.4.2.5 Atraso do serviço	21
2.5 Tempos de espera e Congestionamentos.....	22
2.6 Simulação	23
2.6.1 Dimensões de Simulação	23
2.6.2 Tipos de simulação.....	24
2.6.3 Modelos	24
2.6.3.1 Modelo físico	24
2.6.3.2 Modelo de elementos finitos	24
2.6.3.3 Modelos baseados em dados.....	24
2.6.3.4 Modelos baseados em agentes	24
2.6.3.5 Modelos agregados.....	25
2.6.3.6 Modelo lógico.....	25
2.6.4 Simulação no Computador.....	25
2.6.5 Ciclo.....	26
2.7 Equilíbrio Procura-Oferta.....	27
2.7.1 Modelação para sistemas de transportes públicos	27
2.8 Conclusões	29
3 Metodologia	30
3.1 Introdução.....	30
3.2 Abordagem por Estudo-caso	30
3.3 Hipóteses de Investigação	30
3.4 Modelo de Investigação	33
3.4.1 Definição dos problemas.....	34
3.4.2 Recolha e Tratamento de dados.....	34
3.4.3 Simulação do modelo.....	37
3.4.4 Desenvolvimento de alternativas	39
3.5 Análise das Hipóteses	39
3.6 Conclusão	40
4 Caso de Estudo	41

4.1	Introdução.....	41
4.2	Caracterização do Metropolitano de Lisboa, E. P. E.	41
4.3	Área Geográfica de Intervenção	41
4.4	Modelo de Simulação	42
4.4.1	Desenho geográfico do sistema	42
4.4.2	Entidades.....	43
4.4.3	Movimentação dos comboios	43
4.4.4	Movimentação dos Passageiros	46
4.4.5	Recolha e exportação estatística	49
4.4.6	Inicialização das funções	50
4.4.7	Calibração do modelo	50
4.4.8	Validação dos resultados da simulação	50
4.5	Caracterização da Amostra.....	52
4.6	Análise dos Outputs da Simulação	57
4.6.1	Número de passageiros em espera	57
4.6.2	Número de passageiros dentro do comboio.....	57
4.6.3	Tempo de espera pelo comboio	58
4.7	Análise das Hipóteses de Investigação	61
4.7.1	Análise de Hipóteses.....	61
4.6.2.1	Variável Tempo de Espera segundo o Intervalo temporal entre comboios.....	61
4.6.2.2	Variável Número de Passageiros na Plataforma segundo o Intervalo temporal entre comboios	62
4.6.2.3	Variável Tempo de Espera segundo o dia da semana	63
4.6.2.4	Tempo de espera segundo a Hora	64
4.6.2.5	Tempo de espera segundo a Estação de Partida.....	65
4.6.2.6	Número de Pessoas na Plataforma segundo o Dia da Semana	65
4.6.2.7	Número de Pessoas na Plataforma segundo a Hora	66
4.6.2.8	Número de Pessoas na Plataforma segundo a Estação de Partida	67
4.8	Conclusões	67
5	Conclusões	70
5.1	Introdução.....	70
5.2	Principais conclusões	70
5.2.1	Tempos de Espera e Congestionamentos apresentados pela linha vermelha do Metro de Lisboa	70
5.2.2	Padrões horários e semanais.....	71
5.2.3	Influência dos congestionamentos e tempos de espera.....	72
5.3	Propostas de melhoria	72

5.4 Limitações	74
5.5 Perspetivas para Investigações Futuras	75
Referências	76
Anexos	83
Anexos A – Dados.....	83
Anexo A1 - Número de entrada de passageiros por hora e por estação entre os dias de semana entre as 4 linhas por carga horária	83
Anexo A2 – Análise da oferta em todas as linhas	85
Anexo A3- Análise das entradas e saídas de cada estação por hora	86
Anexo A4- Grafos de viagens.....	89
Anexo A5- Matrizes Origem-Destino.....	93
Anexo A6- Tabelas de Coeficiente de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output	97
Anexo A7- Gráficos da procura por hora por plataforma obtidos através da Simulação e Realidade.....	100
Anexo A8- Número de passageiros em espera	125
Anexo A9- Congestionamento dentro das Carruagens.....	129
Anexo A12- Variação entre tempos de espera nos dias úteis	130
Anexo A10- Amplitudes.....	131
Anexo A11- Comparação de Médias e Testes Post-hoc	137
Anexos B – Código.....	145
Anexo B1- Função de criação de pedestres.....	145

Índice de Gráficos

Gráfico 1- Análise da Expansão	2
Gráfico 2- Análise da Procura.....	2
Gráfico 3- Análise da Oferta	3
Gráfico 4- Investimento realizado pelo Metro de Lisboa	3
Gráfico 5- Número de Entradas Totais na plataforma nos Dias Úteis	54
Gráfico 6- Número de Entradas Totais na plataforma nos fins de semana.....	55
Gráfico 7- Número de Saídas Totais na Plataforma nos Dias Úteis.....	55
Gráfico 8- Número de Saídas Totais na Plataforma aos fins de semana	56
Gráfico 9- Tempo de espera máximo nos dias úteis.....	58
Gráfico 10- Tempo de espera máximo nos Sábados	59
Gráfico 11- Tempo de espera máximo nos Domingos	59
Gráfico 12- Tempo de espera médio nos dias úteis.....	59
Gráfico 13- Tempo de espera médio nos sábados	60
Gráfico 14- Tempo de espera médio nos domingos	60
Gráfico 15- Antes da Ponta da Manhã.....	83
Gráfico 16- Ponta da Manhã	83
Gráfico 17- Fim da Manhã.....	84
Gráfico 18- Período de Almoço	84
Gráfico 19- Início da Tarde.....	84
Gráfico 20- Ponta da Tarde.....	85
Gráfico 21- Noite.....	85
Gráfico 22- Intervalo Temporal entre comboios em minutos dos comboios por linha	85
Gráfico 23- Número de Entradas Totais na Estação nos Dias Úteis	86
Gráfico 24- Número de Saídas Totais na Estação nos Dias Úteis	86
Gráfico 25- Número de Entradas Totais na Estação aos Sábados.....	87
Gráfico 26- Número de Saídas Totais na Estação aos Sábados	87
Gráfico 27- Número de Entradas Totais na Estação aos Domingos	88
Gráfico 28- Número de Saídas Totais na Estação aos Domingos.....	88
Gráfico 29- Matriz Origem-Destino 6.30-7:30	93
Gráfico 30- Matriz Origem-Destino 7:30-9:30	94
Gráfico 31- Matriz Origem-Destino 9:30-12:00	94
Gráfico 32- Matriz Origem-Destino 12:00-14:30	95
Gráfico 33- Matriz Origem-Destino 14:30-17:00	95
Gráfico 34- Matriz Origem-Destino 17:00-20:00	96
Gráfico 35- Matriz Origem-Destino 20:00-1:00	96
Gráfico 36- Passageiros por plataforma 2ª feira 6:00-7:30.....	100

Gráfico 37- Passageiros por plataforma 2ª feira 7:30-9:30.....	100
Gráfico 38- Passageiros por plataforma 2ª feira 9:30-12:00.....	101
Gráfico 39- Passageiros por plataforma 2ª feira 12:00-14:30.....	101
Gráfico 40- Passageiros por plataforma 2ª feira 14:30-17:00.....	102
Gráfico 41- Passageiros por plataforma 2ª feira 17:00-20:00.....	102
Gráfico 42- Passageiros por plataforma 2ª feira 20:00-01:30.....	103
Gráfico 43- Passageiros por plataforma 3ª feira 6:00-7:30.....	103
Gráfico 44- Passageiros por plataforma 3ª feira 7:30-9:30.....	104
Gráfico 45- Passageiros por plataforma 3ª feira 9:30-12:00.....	104
Gráfico 46- Passageiros por plataforma 3ª feira 12:00-14:30.....	105
Gráfico 47- Passageiros por plataforma 3ª feira 14:30-17:00.....	105
Gráfico 48- Passageiros por plataforma 3ª feira 17:00-20:00.....	106
Gráfico 49- Passageiros por plataforma 3ª feira 20:00-01:30.....	106
Gráfico 50- Passageiros por plataforma 4ª feira 6:00-7:30.....	107
Gráfico 51- Passageiros por plataforma 4ª feira 7:30-9:30.....	107
Gráfico 52- Passageiros por plataforma 4ª feira 9:30-12:00.....	108
Gráfico 53- Passageiros por plataforma 4ª feira 12:00-14:30.....	108
Gráfico 54- Passageiros por plataforma 4ª feira 14:30-17:00.....	109
Gráfico 55- Passageiros por plataforma 4ª feira 17:00-20:00.....	109
Gráfico 56- Passageiros por plataforma 4ª feira 20:00-01:30.....	110
Gráfico 57- Passageiros por plataforma 5ª feira 6:00-7:30.....	110
Gráfico 58- Passageiros por plataforma 5ª feira 7:30-9:30.....	111
Gráfico 59- Passageiros por plataforma 5ª feira 9:30-12:00.....	111
Gráfico 60- Passageiros por plataforma 5ª feira 12:00-14:30.....	112
Gráfico 61- Passageiros por plataforma 5ª feira 14:30-17:00.....	112
Gráfico 62- Passageiros por plataforma 5ª feira 17:00-20:00.....	113
Gráfico 63- Passageiros por plataforma 5ª feira 20:00-01:30.....	113
Gráfico 64- Passageiros por plataforma 6ª feira 6:00-7:30.....	114
Gráfico 65- Passageiros por plataforma 6ª feira 7:30-9:30.....	114
Gráfico 66- Passageiros por plataforma 6ª feira 9:30-12:00.....	115
Gráfico 67- Passageiros por plataforma 6ª feira 12:00-14:30.....	115
Gráfico 68- Passageiros por plataforma 6ª feira 14:30-17:00.....	116
Gráfico 69- Passageiros por plataforma 6ª feira 17:00-20:00.....	116
Gráfico 70- Passageiros por plataforma 6ª feira 20:00-01:30.....	117
Gráfico 71- Passageiros por plataforma Sábado 6:00-7:30	117
Gráfico 72- Passageiros por plataforma Sábado 7:30-9:30	118
Gráfico 73- Passageiros por plataforma Sábado 9:30-12:00	118
Gráfico 74- Passageiros por plataforma Sábado 12:00-14:30.....	119
Gráfico 75- Passageiros por plataforma Sábado 14:30-17:00.....	119

Gráfico 76- Passageiros por plataforma Sábado 17:00-20:00.....	120
Gráfico 77- Passageiros por plataforma Sábado 20:00-01:30.....	120
Gráfico 78- Passageiros por plataforma Domingo 6:00-7:30	121
Gráfico 79- Passageiros por plataforma Domingo 7:30-9:30	121
Gráfico 80- Passageiros por plataforma Domingo 9:30-12:00	122
Gráfico 81- Passageiros por plataforma Domingo 12:00-14:30	122
Gráfico 82- Passageiros por plataforma Domingo 14:30-17:00	123
Gráfico 83- Passageiros por plataforma Domingo 17:00-20:00	123
Gráfico 84- Passageiros por plataforma Domingo 20:00-01:30	124
Gráfico 85- Número de passageiros em espera na 2ª feira	125
Gráfico 86- Número de passageiros em espera na 3ª feira	125
Gráfico 87- Número de passageiros em espera na 4ª feira	126
Gráfico 88- Número de passageiros em espera na 5ª feira	126
Gráfico 89- Número de passageiros em espera na 6ª feira	127
Gráfico 90- Número de passageiros em espera no Sábado	127
Gráfico 91- Número de passageiros em espera no Domingo.....	128
Gráfico 92- Passageiros dentro do comboio com destino a Aeroporto	129
Gráfico 93- Passageiros dentro do comboio com destino a S. Sebastião	129

Índice de Tabelas

Tabela 1- Desmistificação.....	10
Tabela 2- Resumo das hipóteses	33
Tabela 3- Descrição das plataformas	37
Tabela 4- Síntese da Metodologia	40
Tabela 5- Coeficientes de variação do output	51
Tabela 6- Teste Kolmogorov–Smirnov entre o modelo simulado e o real	52
Tabela 7- Classes e percentagem de Coeficientes de variação	54
Tabela 8- Teste da normalidade às variáveis dependentes	61
Tabela 9- Coeficiente de correlação entre Tempo de espera médio e Intervalo Temporal entre comboios	62
Tabela 10- Coeficiente de correlação entre Tempo de espera máximo e Intervalo Temporal entre comboios	62
Tabela 11- Coeficiente de correlação entre o Número de Passageiros na Plataforma e Intervalo Temporal entre comboios	63
Tabela 12- Teste Kruskal-Wallis para dia da semana segundo o Tempo de Espera.....	63
Tabela 13- Teste Kruskal-Wallis para o Período Horário segundo o Tempo de Espera.....	64
Tabela 14- Teste Kruskal-Wallis para as Plataformas segundo o Tempo de Espera	65
Tabela 15- Teste Kruskal-Wallis para o Dia da Semana segundo o número de passageiros na plataforma	66
Tabela 16- Teste Kruskal-Wallis para o Período Horário segundo o número de passageiros na plataforma	66
Tabela 17- Teste Kruskal-Wallis para a Plataforma segundo o número de passageiros na plataforma	67
Tabela 18- Descrição dos eixos.....	93
Tabela 19- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 2 ^a feira.....	97
Tabela 20- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 3 ^a feira.....	97
Tabela 21- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 4 ^a feira.....	98
Tabela 22- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 5 ^a feira.....	98
Tabela 23- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 6 ^a feira.....	98
Tabela 24- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output no sábado	99
Tabela 25- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output no domingo	99
Tabela 26- Coeficientes de variação entre tempos de espera médios.....	130
Tabela 27- Coeficientes de variação entre tempos de espera máximos.....	130

Tabela 28- Coeficientes de variação dos períodos horários das plataformas nos dias úteis ..	131
Tabela 29- Coeficientes de variação dos períodos horários das plataformas nos sábados	131
Tabela 30- Coeficientes de variação dos períodos horários das plataformas nos domingos .	131
Tabela 31- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em APM	132
Tabela 32- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em PM.....	132
Tabela 33- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em FM.....	132
Tabela 34- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em PA	133
Tabela 35- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em IT	133
Tabela 36- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em PT	133
Tabela 37- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em N.....	134
Tabela 38- Coeficientes de variação do tempo médio de espera de cada plataforma nos dias úteis.....	134
Tabela 39- Coeficientes de variação do tempo médio de espera de cada plataforma nos sábados.....	134
Tabela 40- Coeficientes de variação do tempo médio de espera de cada plataforma nos domingos.....	135
Tabela 41- Coeficientes de variação entre as frequências nos dias úteis e fins de semana ...	135
Tabela 42- Coeficientes de variação entre os tempos de espera médios entre os dias úteis e fins de semana	135
Tabela 43- Coeficientes de variação da procura da estação de chegada entre os vários períodos horários de cada dia da semana.....	136
Tabela 44- Coeficientes de variação da procura da estação de chegada entre os vários dias da semana de cada período horário	136
Tabela 50- Teste Post-hoc entre as variáveis Número de Passageiros na Plataforma e Período Horário	143

Índice de Figuras

Figura 1 - Framework de Rathmell	11
Figura 2 - Linha vermelha	42
Figura 3 - Desenho geográfico do sistema	43
Figura 4 - Grafos das viagens nos dias úteis.....	89
Figura 5 - Grafos das viagens nos fins de semana	90

Índice de Esquemas

Esquema 1 - Consequências da Sobreprodução.....	15
Esquema 2 - Serviço da perspectiva numa linha de produção	17
Esquema 3 - Sequência Esquemática do sistema sem Passageiros.....	46
Esquema 4 - Sequência esquemática geral do sistema.....	48

Índice de Diagramas

Diagrama 1- Modelo de Investigação	33
---	----

Lista de Abreviaturas

Metro de Lisboa - Metropolitano de Lisboa, E. P. E.

D.U. – Dias Úteis

CV – Coeficiente de Variação

APM- Período horário referente a Antes da Ponta da Manhã (6:30-7:30)

PM- Período horário referente a Ponta da Manhã (7:30-9:30)

FM- Período horário referente a Fim da Manhã (9:30-12:00)

PA- Período horário referente a Período de Almoço (12:00-14:00)

IT- Período horário referente a Início da Tarde (14:00-17:00)

PT- Período horário referente a Ponta da Tarde (17:00-20:00)

N- Período horário referente a Noite (20:00-1:00)

1. Introdução

Este capítulo serve para contextualizar e apresentar o tema da tese. Para isso, faz-se um enquadramento da problemática, bem como os objetivos globais e específicos que se pretende atingir. Este capítulo faz ainda referência à metodologia seguida, ao âmbito e finaliza com a Estrutura Global da Tese.

1.1 Enquadramento

O serviço de transportes denominado metropolitano, recorrentemente abreviado por metro, é um serviço de transporte ferroviário na qual a empresa exploradora tem o direito de ocupar mais terreno, criando assim uma linha ferroviária exclusiva (Encyclopaedia Britannica, 2013).

Podemos rastrear a sua origem nos finais do século XIX, aquando da inauguração do primeiro serviço ferroviário elétrico e subterrâneo pela City & South London Railways, com linhas totalmente privadas, que mais tarde foram fundidas nas linhas do London Underground (Ovenden, 2015).

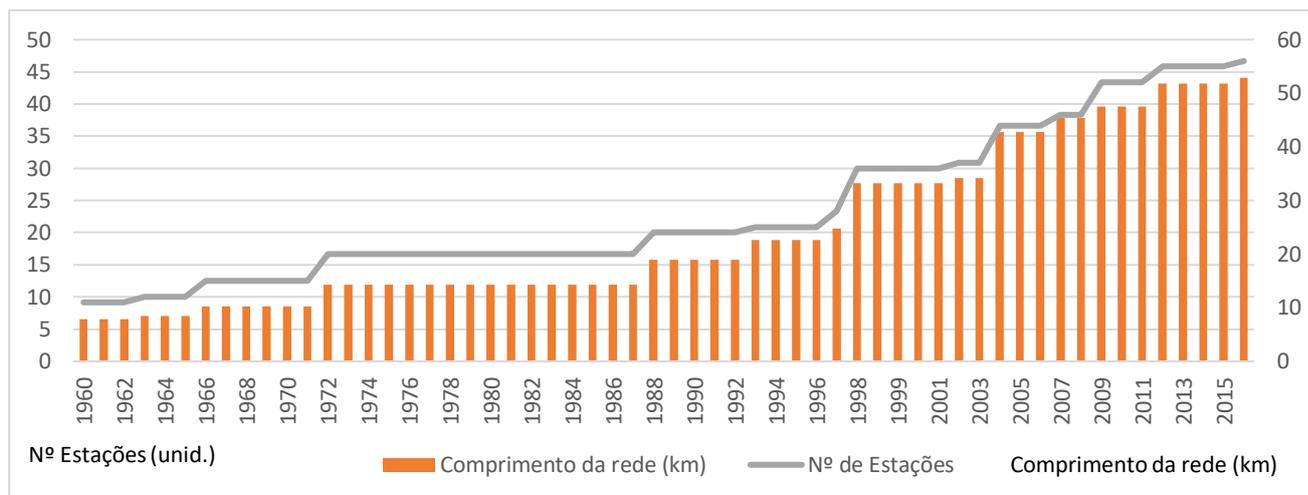
Depois de algumas tentativas de usar locomotivas a carvão, ou de sistemas pneumáticos, esta nova tecnologia alastrou-se a outras grandes cidades do Mundo.

Uma dessas grandes cidades foi Lisboa. Depois de muitos anos e projetos, com a ajuda do Plano Marshall, o Metropolitano de Lisboa começa os trabalhos de construção em 1955 e 4 anos depois é inaugurado (Metro de Lisboa., 2018).

Inicialmente havia apenas uma linha em “Y”, já que havia um tronco comum, desde os Restauradores até Rotunda (atual Marquês de Pombal) e de seguida até Sete Rios (atual linha azul) ou até Entrecampos (atual linha amarela). Embora houvesse 3 destinos distintos, não havia distinção entre linhas. Ao longo dos anos o Metro de Lisboa foi-se expandido, primeiro para 2 linhas com a desconexão do “Y”, em 1996, com a linha azul (Colégio Militar/Luz-Campo Grande) e Amarela (Rotunda-Campo Grande) e em 1998 para as atuais 4 (Metro de Lisboa, 2018).

Segundo os dados do Metro de Lisboa (2017), observáveis no Gráfico 1, o Metro teve uma evolução positiva da sua rede, passando de 11 estações em 1960 para 56 em 2016, último ano em que se inaugurou novas estações (Reboleira). Também nesta análise da expansão, o comprimento da rede evoluiu indexadamente ao número de estações, passando de 6,5 Km para 44,1Km.

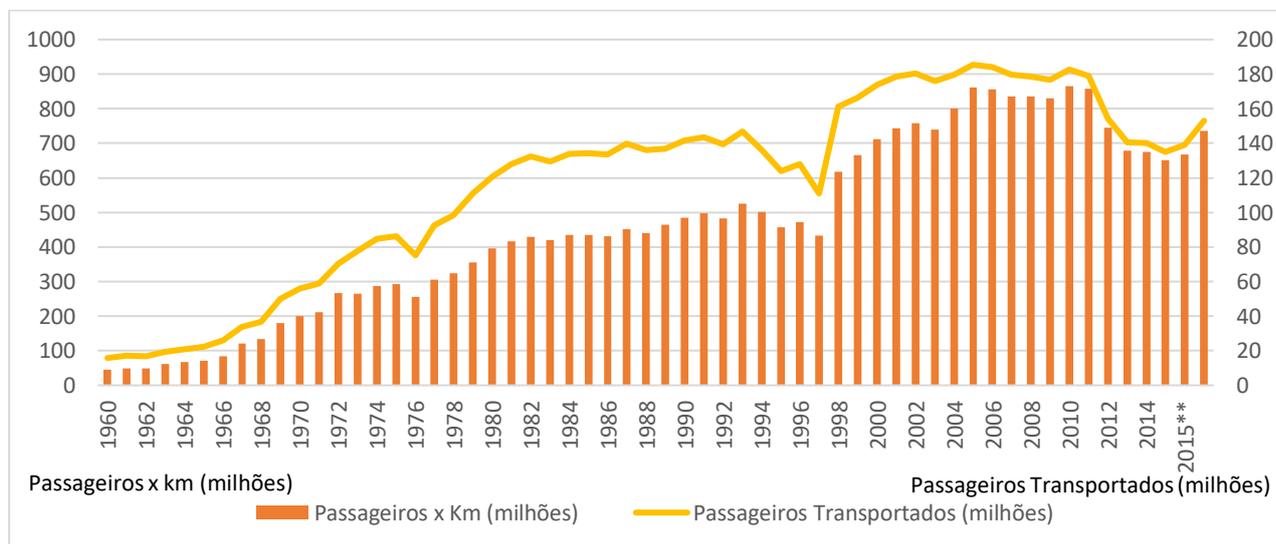
Gráfico 1- Análise da Expansão



(Fonte: Metro de Lisboa (2017))

A procura indica também uma evolução positiva global, mas com alguns crescimentos e decréscimos. No Gráfico 2 podemos verificar que a expansão da rede em 1988 levou a um aumento de procura, mas que em 2011, apesar do Metro ter-se expandido, a procura diminuiu, ano em se abateu a crise financeira em Portugal.

Gráfico 2- Análise da Procura

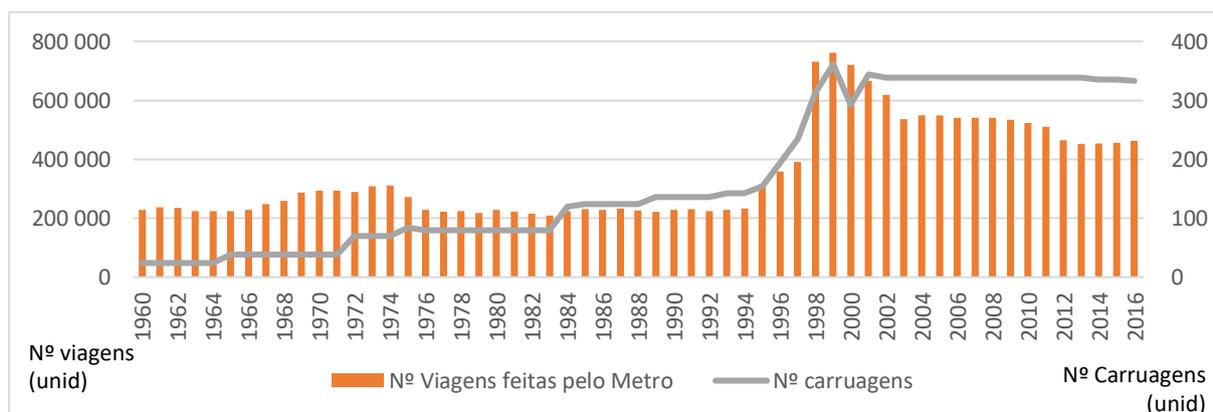


(Fonte: Metro de Lisboa (2017))

Segundo dados da Pordata (2018), podemos observar no Gráfico 3 o número de viagens realizadas, ou seja, quantas vezes se completou um troço com um ponto de partida e destino (por exemplo, é contabilizado uma viagem quando um comboio realiza o troço S. Sebastião-Aeroporto e outra viagem no sentido contrário), e o número de carruagens que o Metro de

Lisboa dispõe. Com estes dados, é possível verificar que nem sempre a oferta que o Metro de Lisboa disponibilizou acompanhou a evolução da procura. Acompanhou em 1998, com o crescimento positivo da procura, mas até 2011 tanto o número de viagens como o número de carruagens tem reduzido ou estabilizado. Podemos reparar que em 2011, a oferta acompanhou a tendência da procura, registado no Gráfico 2, mas nos últimos 3 anos, a procura tem aumentado, mas a oferta ficou estagnada.

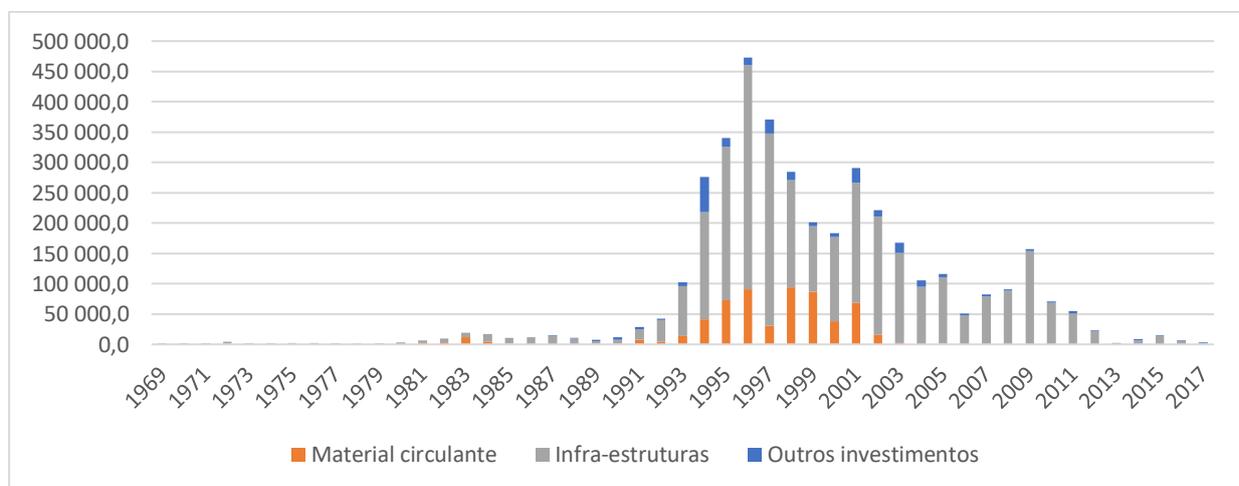
Gráfico 3- Análise da Oferta



(Fonte: Pordata (2018))

Para complementar esses dados, de acordo com dados da Pordata (2018), também podemos concluir que o Metro não faz um investimento em material circulante desde 2008, tal como é observável no Gráfico 4. É considerado um investimento em material circulante todo aquele que resulta na compra de novas carruagens ou de modernizações que aumentem o valor contabilístico das carruagens.

Gráfico 4- Investimento realizado pelo Metro de Lisboa



(Fonte: Pordata (2018))

Durante as últimas décadas, o Metro provou ser um fator decisivo para o seu desenvolvimento de Lisboa, funcionando mesmo como o principal impulsor dos transportes da cidade, devido à sua segurança, rapidez e regularidade (Metro de Lisboa, 2018). A visão que a empresa tem é “Ser o operador de transporte público estruturante e garante da mobilidade urbana de Lisboa, segundo os melhores padrões de qualidade, segurança e eficácia económica, social e ambiental.” e um dos seus valores é a “Procura contínua de novos serviços e produtos, assentes na evolução tecnológica ao serviço do cliente.” (“Metro de Lisboa,” 2017)

No entanto, essa não parece ser a perceção do público. Segundo o Jornal Negócios (Lusa, 2016a), existe mesmo descontentamento da Comissão de Utentes dos transportes de Lisboa que referem que existe falta de recursos humanos, falta de manutenção (que complementa os dados da falta de investimento em material circulante), degradação física das estações e plataformas e carruagens sobrelotadas. O site de notícias Sapo (Lusa, 2016), refere que não existem peças para substituição do material circulante e existem períodos em que o intervalo temporal entre cada comboio é significativo, e o presidente de então, Tiago Farias, refere a falta de recursos humanos e orçamento para o aumento dos tempos de espera.

O argumento usado da falta de recursos humanos é complementar aos dados da Pordata (2018), que referem que entre 2010 e 2016 o número de Pessoal ao serviço diminuiu (de 1672 para 1363), tendo aumentado ligeiramente em 2017 para 1408.

Com a implementação dos passes sociais mais baratos, essa fragilidade ficou mais exposta. Segundo a análise do Observador (2019), com essa implementação, a procura aumentou 4,4% em termos homólogos. Em resposta, o Metro fez uma melhor manutenção da sua frota, estando totalmente operacional. Para além disso, aumentou a velocidade máxima de circulação para 60 km/h. A médio prazo, o Metro também vai contar com 14 novos conjuntos de 3 carruagens, embora a conclusão do processo de entrega esteja prevista só para 2024.

O Relatório Final Da Ação Inspeciva Às Condições De Exploração Do Metropolitano De Lisboa E.P.E. (AMT, 2017) corrobora com o que já foi descrito. Nessa auditoria, depreve-se situações em que as plataformas ainda ficaram com passageiros porque as carruagens já se encontravam previamente com uma elevada lotação. E ainda conclui que o número de comboios disponibilizados não cumpre com a oferta contratualizada no contrato de concessão de serviço público.

A linha vermelha é uma das principais linhas de ligação às outras linhas (São Sebastião à azul, Saldanha à amarela e Alameda à vermelha), tal como acontecerá com a futura linha circular

(Observador, 2018). Por isso, essa linha tem um particular interesse para o sistema global do metropolitano.

Por isso, embora haja uma promessa de melhoria na oferta (Lusa, 2018), tendo em conta o objetivo da empresa pública do Metro de Lisboa prestar um serviço de qualidade e de, nos últimos anos, a perspectiva do utente tem sido afetado devido a sobrelotações e tempos de espera elevados, que às vezes são mais longos que o próprio tempo de viagem (Fosgerau, Hjorth, & Lyk-Jensen, 2007), é relevante fazer um estudo sobre os congestionamentos de passageiros, ou seja, o número de passageiros presentes na plataforma e carruagem, e sobre o tempo que cada passageiro precisa de esperar pelo comboio na linha vermelha.

1.2 Objetivo Global

Devido ao exposto anteriormente, que exhibe a motivação geral de pesquisa deste tema, o Objetivo Global da tese é analisar a relação entre procura e oferta da linha vermelha do Metro de Lisboa e a redação de recomendações de otimização da rede para uma melhor eficiência na prestação de serviços.

1.3 Objetivos específicos

Para que se atinja o Objetivo Geral, é necessário atingir vários objetivos específicos. Esses são:

1. Calcular tempos de espera e número de pessoas nas plataformas e carruagens;
2. Identificação de padrões nos tempos de espera e congestionamento de passageiros;
3. Averiguar a influência de cada estação, horário, dia de semana e oferta para diferenças de tempo de espera;
4. Analisar a influência do horário, dias da semana, estação e oferta nos congestionamentos;
5. Identificação dos principais pontos de origem e destino nos períodos com mais procura;
6. Desenvolver recomendações para que haja uma melhoria no serviço prestado.

1.4 Metodologia

Para atingir os objetivos anteriormente, este projeto recorreu a dados quantitativos fornecidos diretamente pelo Metro de Lisboa e a informação disponível no seu site.

Os dados quantitativos fornecidos pelo Metro reportam às entradas e saídas por estação em média anual até então (dezembro de 2017). Em termos temporais, os dados estão divididos por

dia de semana e por tipo de horário (das 6:00 às 7:30, das 7:30 às 9:30, das 9:30 às 12:00, das 12:00 às 14:30, das 14:30 às 17:00, das 17:00 às 20:00 e das 20:00 às 1:30).

Depois de ter os dados tratados, procedeu-se à simulação, usando um modelo de simulação de eventos discretos e *Agent-Based*, já que se trata de uma ferramenta interessante para a academia e Indústria (Siebers, MacAl, Garnett, Buxton, & Pidd, 2010) e é uma boa ferramenta de análise a problemas complexos como tráfego (Bazghandi, 2012) por isso é uma ferramenta adequada para a análise do tráfego de procura do Metro.

O programa usado para simular é Anylogic, que usa uma combinação entre eventos discretos e *agent-based* que ajudam a visualizar a linha e a prever problemas que possam ocorrer (Van Der Spek et al., 2018) e tem a capacidade de simular comportamentos complicados das pessoas (Li et al., 2016), ideal para simular problemas dos fluxos pedonais e de rede do Metro de Lisboa. Devido à importância das interações pedonais e dos fluxos de passageiros no sistema metropolitano e para este estudo, este programa é então o mais preferível.

O estudo caso foi utilizado para desenvolver esta tese, já que é uma boa metodologia para ganhar uma análise e descrição detalhada de “como” e “porquê” determinadas coisas acontecem (Ridder, 2017).

1.5 Âmbito

Atendendo a todos os objetivos que se pretende alcançar, este projeto foca-se na empresa de transporte metropolitana na maior cidade de Portugal.

Devido às ligações que a linha vermelha possui com todas as outras linhas, tornando-se assim numa linha importante para as conexões de todo o sistema metropolitano, escolheu-se a mesma para alcançar os objetivos específicos.

Os consumidores serão todos os utentes que circulam na linha vermelha, ou seja, terão como ponto de partida e/ou destino uma estação pertencente à linha vermelha, desde dezembro de 2016 até novembro de 2017.

1.6 Estrutura Global da Tese

Capítulo 1 – Introdução: Neste capítulo é apresentada a temática da dissertação, fazendo uma contextualização da problemática, os Objetivos gerais e específicos a atingir, a metodologia tida no desenvolvimento da tese, o âmbito e a finalizar, a estrutura que esta tese terá.

Capítulo 2 – Revisão de Literatura: Neste capítulo será descrita e analisada a base teórica de suporte à dissertação, começando com os conceitos de Serviços, a filosofia Lean e os seus desperdícios e etapas de implementação, os efeitos dos congestionamentos e tempos de espera, os conceitos relacionados com a Simulação e como se consegue um equilíbrio Procura-Oferta.

Capítulo 3 – Metodologia: Neste capítulo será exposta o método escolhido para analisar os dados, explicando o método através do estudo caso, hipóteses escolhidas, as análises estatísticas como a análise descritiva e testes de hipóteses.

Capítulo 4 – Caso de Estudo: Neste capítulo será explanada a caracterização da empresa, a caracterização da amostra e do sistema através dos dados encontrados no site e recebidos pelo Metro, e os dados fornecidos pelo output da simulação, sobre o congestionamento e tempos de espera. Finalmente, são testadas as hipóteses referidas no capítulo 3.

Capítulo 5 – Conclusões: Neste capítulo serão reportadas as principais conclusões encontradas no Capítulo 4. Também serão feitas propostas para a melhoria do sistema. Finalmente, serão explanadas as principais limitações ocorridas no desenvolver da tese e possíveis investigações futuras.

2. Revisão Literária

2.1 Introdução

Este capítulo pretende analisar a base teórica e conceptual que suporta o desenvolvimento do projeto.

Primeiramente explora-se os conceitos de bens e serviços, e a sua complementaridade. De seguida, aborda-se o tema gestão lean – a sua história e evolução, os seus princípios e desperdícios. Depois faz-se a mesma abordagem mas para o lean adaptado aos serviços. Faz-se de seguida uma explanação do conceito de simulação, modelagem, os seus vários tipos, fases e simulação no computador. Por último, explora-se os conceitos do equilíbrio oferta-procura.

2.2 Bens e Serviços

Hill refere que tanto bem bens como serviços têm a condição comum de terem de ser sujeito a transações entre 2 ou mais unidades económicas (1977). No entanto, o mesmo autor refere que existe uma clara diferença entre serviços e bens, e que os serviços não são apenas bens imateriais, de facto, nem são um tipo especial de bens e que pertencem a uma categoria lógica diferente de bens.

Essa distinção pode ser clara, porém Judd (1964) refere que a definição de serviços (até o momento em que o artigo foi escrito) é imprecisa. Mais recentemente, Gummesson (Fisk, Groove, & John, 2000) referem que essa distinção tem sido um “peso”.

2.2.1 Bem

Hill (1977) define bem como “um objeto físico que é apropriado, e, por isso, transferível entre unidades económicas”.

Esses bens posteriormente podem ser distribuidores de mecanismos de serviços, ou seja, os serviços podem proceder de bens (Vargo & Lusch, 2004).

2.2.2 Serviço

Ainda não há uma definição de serviço que seja amplamente aceite (Vargo & Lusch, 2004).

Johnston e Clark defendem que serviço pode significar muitas coisas dependendo dos seus contextos. Pode significar “o atendimento ou apoio ao cliente para uns como para outros a função logística ou funções internas como contabilidade”, e reiteram que serviço pode ser difícil de definir (2012).

Judd (1964) foi um dos primeiros a tentar definir serviço, que recomendou definir serviço por excluir características dos bens, mas que admitiu ainda faltar de uma definição positiva.

Dois anos depois, Rathmell (1966) reitera que muitos tem alguma ideia do que a palavra “bem” significa, mas que serviço parece ser tudo o resto. No entanto, consegue identificar 13 características como:

- Em vez de preço, os serviços são expressos como taxas, admissões, propinas, juros.
- O cliente põe-se “nas mãos” do vendedor, ou seja, não pode usar o serviço como bem desejar, ao contrário do bem.
- Heterogeneidade.
- Não podem ser inventariados.
- A questão da natureza económica de algumas categorias de serviços.
- Os serviços tendem a ter uma aparência mais formal ou profissional.
- Não podem ser estandardizados.
- A prática do estabelecimento dos preços varia bastante em cada categoria de serviços.
- Devido à sua intangibilidade, os conceitos de procura e oferta são difíceis de aplicar.
- A maioria dos bónus, promoções ou pensões tem a forma de serviço.
- Parece haver uma concentração limitada no setor de serviços na economia.
- Até recentemente, as empresas de serviços não conseguiam diferenciar entre a produção e comercialização de Serviços.
- O simbolismo deriva da performance em vez da posse

Hill (1977) define um serviço como “uma mudança na condição de uma pessoa, ou de um bem pertencente a alguma unidade económica, que é trazida como resultado da atividade de uma outra unidade económica, com acordo prévio da antiga pessoa ou unidade económica.”

Zeithaml, Parasuraman e Berry (1985) fizeram um resumo da distinção de serviços dos bens em 4 aspetos:

- Intangibilidade – o serviço advém numa performance e não dum objeto palpável, o que torna difícil estabelecer preços, não se podem proteger através de patentes e não podem ser armazenados.

- Inseparabilidade – A produção e consumo do serviço não são separáveis, o que faz com que o consumidor seja envolvido na sua produção, e a produção em massa torna-se assim mais difícil.
 - Heterogeneidade – o serviço muda consoante o produtor ou cliente ou no quotidiano, por isso a sua standardização e controlo de qualidade são difíceis de conseguir.
 - Perecibilidade – Um serviço não pode ser armazenado.

A maioria da definição de serviço até então tinham estas 4 características. No entanto, Vargo e Lusch (2004) encontraram falhas e limitações para cada aspeto. Essas falhas estão expostas na tabela 1.

Tabela 1- Desmistificação

Característica	Desmistificação	Perspetiva
Intangibilidade	Os serviços geralmente têm resultados tangíveis. Bens tangíveis são frequentemente comprados para benefícios intangíveis. Tangibilidade pode ser um fator limitante na distribuição.	O foco no output da produção é míope e orientado para bens. Os consumidores compram serviços mesmo quando um produto tangível está envolvido. Intangíveis, como a imagem da marca, são mais importante.
Inseparabilidade	O consumidor está sempre envolvido na “produção” de valor.	Apenas o fabrico beneficia da eficiência da separabilidade. Separabilidade limita a comercialização.
Heterogeneidade	Bens tangíveis são muitas vezes heterogéneos. Muitos serviços são relativamente standardizados.	A homogeneidade na produção é vista de forma heterogénea no consumo.
Perecibilidade	Bens tangíveis são perecíveis. Muitos serviços resultam em benefícios de longa duração.	Ambos os recursos tangíveis e intangíveis podem ser inventariados. Inventário representa um custo adicional de marketing.

Fonte: Vargo et al. (2004)

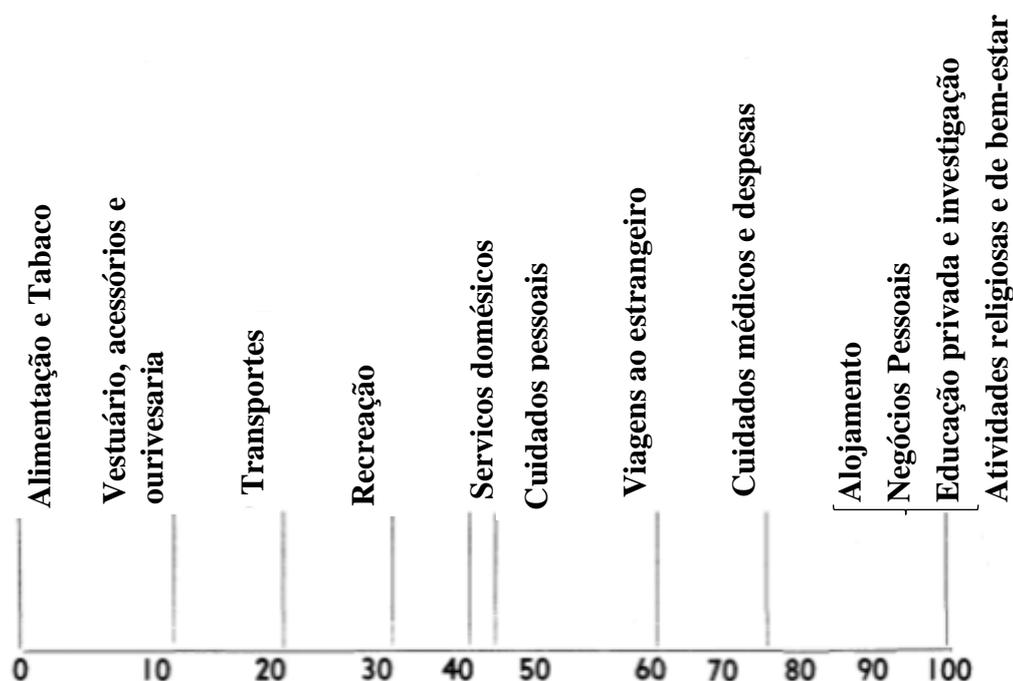
Os mesmos autores definem serviço como “a aplicação de competências especializadas (skills, conhecimento) através de escrituras, processos e desempenhos em benefício de outra entidade ou da própria entidade (self-service)”. (Vargo & Lusch, 2004)

2.2.3 Espectro bens-serviços

Vargo e Lush (2004) defendem que os serviços podem ser adquiridos diretamente ou indiretamente, através de uma primeira aquisição de bens.

Esse argumento vai de encontro com o framework de Rathmell (1966), em que estabeleceu a percentagem das maiores classes de gastos pessoais alocados ao serviço (figura 1).

Figura 1 - Framework de Rathmell



Fonte: Rathmell (1966)

Ou seja, geralmente um bem tem sempre um serviço associado e vice-versa.

A teoria de que um serviço depende geralmente de algo tangível também foi proposto na discussão da qualidade do serviço. U. Lehtinen e J. Lehtinen (1991), ao estudar a qualidade dos serviços, defendem que uma das dimensões é a qualidade física, tanto na forma de produto, como de suporte (ambiente ou instrumentos), similar à dimensão tangível (infraestruturas físicas, equipamento e aparência do pessoal) descrita no Servqual, proposta por Parasuraman et al. (1988).

2.3 Lean

Segundo Myerson (2012) lean é uma filosofia que se foca na melhoria constante através da eliminação de desperdícios.

Esta filosofia foi criada pela empresa de automóveis japonesa Toyota, mais precisamente com Sakichi Toyoda, Kiichiro Toyoda, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, um engenheiro fabril (Dekier, 2012).

A família Toyoda estava primeiramente relacionada com maquinaria têxtil, no final do século XIX (James P. Womack et al., 2007). No entanto, em 1929, Kiichiro Toyoda visitou os Estados Unidos com o objetivo de escrutinar as empresas locais e ficou fascinado com o sistema de produção da Ford (Dekier, 2012).

Quando mais tarde a Toyota Motor Company começou a produção, Kiichiro decidiu implementar alguma dessas filosofias, primeiro com a construção de veículos militares e, depois da 2ª Guerra Mundial, especializou-se em veículos comerciais e carros (James P. Womack et al., 2007).

Mas em 1973, a crise do petróleo chegou ao Japão, tendo a procura de carros diminuído (Ohno, 1988). Para combater com a produção em massa, na qual Ohno diz não ser a maneira japonesa de trabalhar, Kiichiro começou a preparar um processo na qual corte custos, seja flexível, rápido e que o resultado seja da qualidade que os clientes desejam a um preço razoável (Dekier, 2012). Começou assim a preparar o processo Just in Time. Mais tarde, Ohno começou também a criar o princípio pull.

2.3.1 Princípios Lean

Womack e Jones (1997) definiram os 5 princípios fundamentais do Lean:

- Especificar o valor
- Identificar o “Value Stream”
- Criar um fluxo
- Possibilitar os consumidores puxem o produto se necessário
- Tentar sempre alcançar a perfeição

2.3.1.1 Valor

Em primeiro lugar, é necessário encontrar o valor. Valor é criado pelo produtor e só pode ser definido pelo último consumidor. Valor só pode significar algo quando é expresso através dum

produto (bem ou serviço ou ambos), que vai de encontro às necessidades do consumidor a um determinado preço e a uma determinada altura.

2.3.1.2 “Value Stream”

De seguida, é necessário identificar o “Value stream”. Womack e Jones definiram “value stream” como todas as ações necessárias para trazer o produto ao consumidor. Essas ações podem ser resumidas em 3 tarefas:

- Tarefa de resolução de problemas, desde o conceito, design, engenharia
- Tarefa de gestão de informação, como calendarização de encomendas
- Tarefa de transformação física, ou seja, transformar as matérias primas no produto final

Os autores concluíram que 3 tipos de ações ocorrem na análise do “value stream”:

- Muitos procedimentos são duvidosos se criam valor
- Muitos procedimentos não criam valor mas não se pode mudar com a tecnologia atual
- Muitos procedimentos não criam valor e podem ser imediatamente mudados

Esses procedimentos do último ponto devem então ser eliminados.

2.3.1.3 Fluxo

Depois do valor ser especificado e do “value stream” estar totalmente mapeado, é necessário que as medidas que criem valor circulem sem interrupções. Esse fluxo iria remover os desperdícios e ajudavam a diminuir o “lead time” de novos produtos ou serviços.

2.3.1.4 Pull

Com o fluxo criado e o tempo de produção reduzido, é preciso fazer com que os consumidores puxem (“pull”) os bens ou serviços que necessitam, senão a empresa produz bens que o mercado não consegue absorver. Isto é criado através de uma melhor flexibilização da produção, em vez da produção por lotes, que pode combater as variações da procura, já que os consumidores sabem que terão o que querem quando querem.

2.3.1.5 Perfeição

Depois disto tudo, o princípio final é tentar alcançar a perfeição. Os mesmos autores referem que o melhor incentivo da perfeição é a transparência, ou seja, todos os stakeholders podem ver tudo para descobrirem novas maneiras de criar valor.

2.3.2 Gestão Lean

Segundo Dekker (2012), Gestão Lean é “o método de gestão de empresas que assume a adaptação das condições do atual mercado por via de alterações funcionais e organizacionais”. Ao mudar os ativos da empresa e estilos de gestão, a empresa conseguirá ter uma melhoria constante.

O mesmo autor referiu algumas características que qualquer gestor deve alcançar como:

- Bom ambiente no espaço de trabalho
- Definir objetivos
- Comunicação
- Motivação
- Desperdiçar potencial humano
- Desenvolvimento dos empregados
- Liderança

2.3.3 Desperdícios

Hines, Silvi e Bartolini (2002) definem desperdício como todas as atividades que não acrescentam valor. Essas atividades são especialmente identificadas no “value stream” (Hines & Rich, 1997).

Já no Toyota Production System, Ohno (1988) identifica 7 tipos de “muda”, termo japonês para desperdício, como:

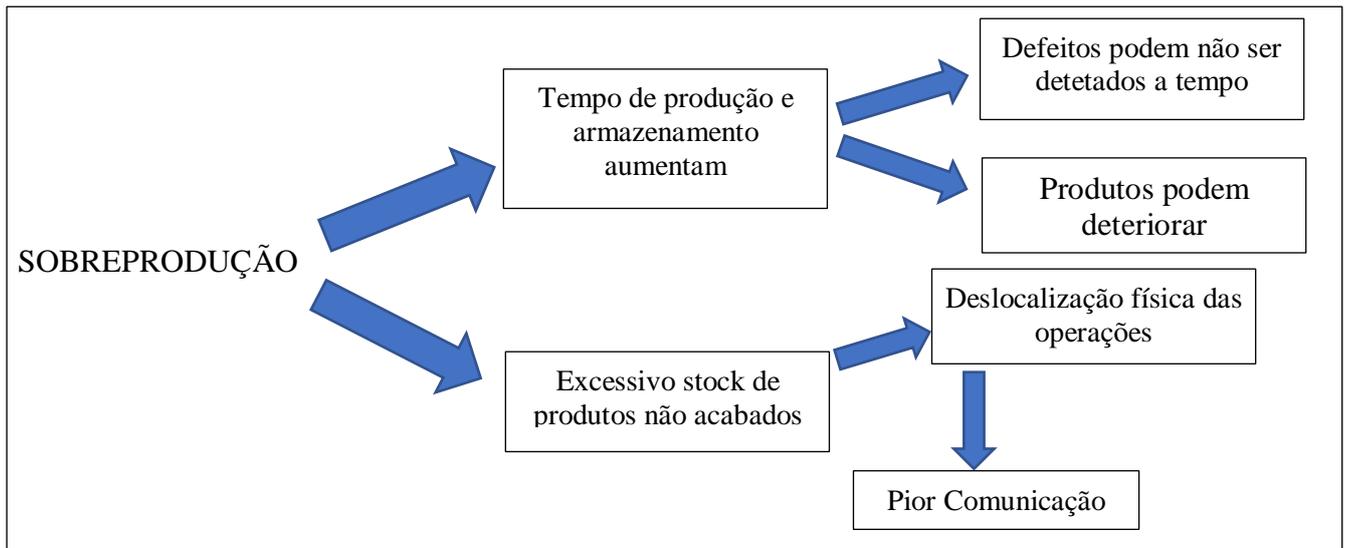
- Sobreprodução
- Espera
- Transporte
- Processamento não apropriado
- Inventário desnecessário
- Movimento desnecessário
- Defeitos

2.3.3.1 Sobreprodução

Hines e Rich (1997) consideram a sobreprodução como o mais perigoso desperdício, porque irá contra o bom fluxo de bens e serviços e é capaz de diminuir qualidade e produtividade. Outras consequências também são visíveis no esquema número 1.

O sistema “pull” irá combater este tipo de desperdício.

Esquema 1 - Consequências da Sobreprodução



(Fonte: Elaboração própria com base Hines et al. (1997))

2.3.3.2 Espera

A espera ocorre como desperdício quando o tempo não está a ser usado numa maneira eficiente (Hines & Rich, 1997). Isso acontece sempre que um bem não está a ser transportado ou trabalhado.

O ideal seria que não seria necessário uma espera, havendo assim um fluxo mais rápido de bens.

2.3.3.4 Transporte

O desperdício de transporte está relacionado quando um bem é movido (Hines & Rich, 1997). Qualquer movimento de bens numa fábrica pode ser visto como desperdício em casos extremos, por isso, o mais sensato é haver uma minimização do transporte.

Demasiado manuseamento e movimentos excessivos também podem degradar o produto.

2.3.3.5 Processamento não apropriado

O Processamento não apropriado ocorre quando soluções demasiado complexas são adotadas em vez de uma mais simples (Hines & Rich, 1997). A sobrecomplexidade geralmente encoraja os trabalhadores a sobreproduzir para que se consiga pagar o investimento feito em equipamentos complexos.

Este desperdício vai levar a um layout pobre, o que resultará em excessivo transporte de materiais e uma comunicação pobre.

Para combater este desperdício, os mesmos autores defendem máquinas simples, perto umas das outras.

2.3.3.6 Inventário desnecessário

O Inventário desnecessário tende a aumentar o tempo de produção e diminuindo a comunicação, porque vai prevenir rápidas identificações de problemas e irá aumentar o espaço.

Esse tipo de inventário também vai aumentar os custos de armazenamento, diminuindo a competitividade da empresa.

2.3.3.7 Movimento desnecessário

O movimento desnecessário ocorre quando os trabalhadores têm de se esticar, dobrar, pegar em objetos quando estas ações podem ser evitadas (Hines & Rich, 1997).

Além de ser mais cansativo para os trabalhadores, também haverá uma quebra na produtividade e um aumento de produtos defeituosos.

2.3.3.8 Defeitos

Defeitos ocorrem quando existem erros comuns na burocracia, na qualidade do produto ou quando há problemas na entrega dum produto (Hines et al., 2002).

Hines e Rich (1997) defendem que os defeitos são custos diretos para a empresa. Ao ocorrerem, devem ser sempre vistas como uma oportunidade de melhoria.

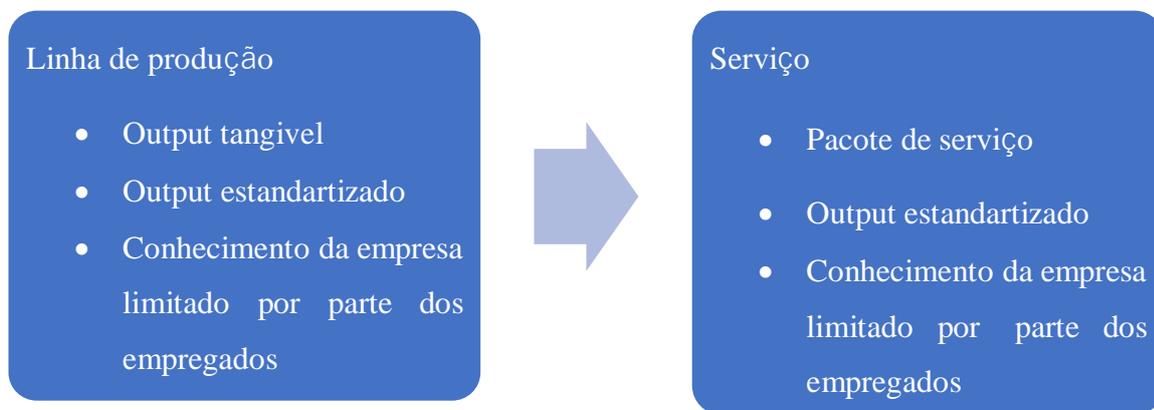
2.4 Lean nos Serviços

A filosofia lean consegue trazer a eliminação de atividades que não trazem valor, e essa mesma filosofia pode ser aplicada aos serviços, com os mesmos resultados impressionantes (Allway & Corbett, 2002), embora haja contingências nessa aplicação (Ahlstrom, 2004).

Um dos trabalhos pioneiros a reconhecer o facto que os fundamentos Lean também podiam ser aplicados à área de serviços foram de Levitt (1973, 1976), embora tivesse argumentos contraditórios (Suárez-Barraza, Smith, & Dahlgard-Park, 2012). O mesmo autor defendia que o sector dos serviços estava ineficiente, comparativamente à indústria.

No entanto, foi até ao final dos anos 90 que se começou a estudar o tema “Lean Service” com os contributos de Bowen e Youndahl. Os mesmos autores defendiam o serviço na perspectiva dum linha de produção. No Esquema 2 é possível observar a transferência das características dum linha de produção antes da aplicação da filosofia lean para o sector dos serviços.

Esquema 2 - Serviço da perspectiva dum linha de produção



(Fonte: Elaboração própria com base Bowe et al. (1998))

Depois de aplicar a filosofia lean, ambos os sectores teriam:

- Redução de bónus de produtividade
- Fluxo de produção
- “JIT pull”
- Orientação pela cadeia de valor
- Mais importância dada ao trabalhador

Por fim, os mesmos autores convergem 5 princípios para a customização, tanto da linha de produção, como no setor dos serviços:

- Flexibilidade e reatividade
- Foco nos clientes individualmente

- Integração e desagregação da cadeia de valor
- Empoderamento dos trabalhadores e das equipas
- Gestão de conhecimento
- Organização em rede

Allway e Corbett (2002) reconhecem que há uma necessidade da melhoria de operações no sector dos serviços para ultrapassar os seguintes problemas:

- Aumentar as expectativas dos clientes – novo nível de aperfeiçoamento, resposta imediata e conveniência está a diferenciar as organizações
- Pressões de receitas
- Pressões competitivas
- Aumento das despesas – com a proliferação e complexidade dos produtos oferecidos, o custo das empresas com recursos humanos e tecnologias tem vindo a aumentar
- Pressões devido a regulamentos

Os mesmos autores defendem que, para qualquer tipo de empresa, os gestores têm de reconhecer a organização como um conjunto de operações. Para uma melhoria dessas operações, os autores defendem que a empresa deva:

- Definir todos os processos envolvidos na empresa
- Identificar, compreender e gerir os processos onde haja uma interação com o cliente
- Identificar o valor e desenvolver objetivos de performance
- Entender a performance dos processos atuais e balancear as expectativas do cliente com o preço
- Gerir processos como um fluxo numa linha de montagem lean, e usar ferramentas operacionais que estejam na vanguarda
- Desenvolver uma política de feedback para que haja uma aprendizagem e melhoria contínua
- Usar scorecards para que haja um aumento contínuo de produtividade entre os trabalhadores

Allway e Corbett (2002) também desenvolveram fases de implementação da filosofia lean nas empresas tais como:

1. Avaliação do estado atual – Ao mapear os processos, identificar os recursos e custos dos mesmos, coletar métricas existentes, é possível identificar o nível de qualidade operacional da organização, para que assim se identifique possíveis desperdícios e oportunidades.
2. Determinar o estado desejado – a visão que a empresa tem, que está relacionado com a sua estratégia, para melhorar as suas operações.
3. Estabilizar as operações – Para mover para esse estado desejado, é necessário mudar os processos que causem ineficiências, implementando soluções para as mesmas.
4. Otimizar as oportunidades – Com o foco de melhorar o fluxo, a organização não estará apenas a fugir dos problemas, mas irá se mover para a fase ótima, aproveitando as oportunidades que dispõe.
5. Institucionalizar a filosofia lean – já com a cultura organizacional envolvida na filosofia lean, é necessário arranjar atividades que procurem a melhoria contínua dos processos, para que se reduza custos e se melhore a qualidade dos produtos.

2.4.1 Princípios Lean nos serviços

Abdi et al. (2006) apresentaram os mesmos princípios lean (J. P. Womack & Jones, 1997) mas aplicados aos serviços.

2.4.1.1 Valor

Nos serviços também é necessário identificar o valor que determinado produto tem para o cliente.

No caso dos serviços, os clientes têm determinadas expectativas e as organizações precisam de agir e customizar o produto para que a satisfação do cliente não seja comprometida.

2.4.1.2 “Value Stream”

No sector dos serviços, é necessário identificar quais os processos que acrescentam valor ao produto e aqueles que não o fazem. Isso faz com que toda a organização esteja empenhada em dar valor ao cliente. O mapeamento de processos e blueprint ajudam a identificar esses processos e a identificar o back do front office e onde há uma interação com o cliente.

2.4.1.3 Fluxo

Nos Serviços, para que haja um bom fluxo significa que não haja atrasos e paragens no trabalho feito por outros.

Um comportamento para que haja um bom fluxo é uma boa comunicação entre gestores e colegas. Assim, não haverá nenhuma confusão sobre uma tarefa evitando assim uma possível fila.

2.4.1.4 Pull

Nos Serviços, cada cliente tem uma expectativa e desejo diferente, o que requer que as organizações façam ajustamentos.

Se as organizações conseguem criar produtos que vai de encontro à procura, então é possível que as organizações consigam-se encontrar com as expectativas e requerimentos dos clientes.

Praticando também o sistema “pull”, também reduzirá ambiguidade e um trabalho repetido nas relações interpessoais.

2.4.1.5 Perfeição

Nos serviços, a tentativa de encontrar a perfeição está muito relacionada com as pessoas e os seus comportamentos. Para tentar atingir essa perfeição comportamental, é necessário um clima de transparência, para que todos os empregados consigam encontrar desperdícios ao longo dos processos.

Apesar de ser impossível de atingir essa perfeição, tal como no lean aplicado às linhas de montagem, as pessoas que tentem atingir esse estado conseguiram ser mais produtivas.

2.4.2 Desperdícios nos Serviços

Qu, Ma e Zhang (2011) definem 5 tipos de desperdícios:

- Design do serviço
- Item do serviço
- Capacidade do serviço
- Processo do serviço
- Atraso do serviço

2.4.2.1 Design do serviço

Este desperdício está relacionado com o facto de o serviço ter funções extra que não vai de encontro às necessidades dos clientes, adicionando assim custo ou tempo.

Por exemplo, nalgumas empresas tecnológicas aparece a pergunta se o problema do aparelho é do hardware ou software. Muitos clientes não sabem, só sabem que há um problema com o dispositivo, provocando confusão e desperdício de tempo ao cliente.

2.4.2.2 Item do serviço

O desperdício item ou desperdício providenciado pelo serviço refere-se aos defeitos causados pelo desperdício nos processos.

Este desperdício causa um abrandamento do progresso dos processo, já que muitas vezes, é necessário retrabalhar para corrigir esse defeito.

2.4.2.3 Capacidade do Serviço

Este desperdício refere-se ao facto da capacidade disponível do serviço não ser totalmente usada, provocando assim um excesso de capacidade.

Este desperdício está relacionado com o desperdício do inventário desnecessário numa linha de produção. Os serviços também devem fazer uma boa gestão de capacidade, para que não haja um excesso da mesma, e por consequência, desperdício.

2.4.2.4 Processo do serviço

Este desperdício refere-se ao facto dos processos que o serviço tem serem demasiado complexos, provocando uma baixa eficiência de trabalho.

Este desperdício existe quando determinados processos que podem ser eliminados, reestruturados ou fundidos, e que são irrelevantes para o progresso e precisão geral do trabalho.

2.4.2.5 Atraso do serviço

Este desperdício acontece sempre que os trabalhadores ou clientes têm de esperar num processo do serviço.

As razões apontadas pelos autores para este serviço são:

- Os trabalhadores de tecnologia são insuficientes, diminuindo assim a eficiência.
- Quando há um atraso a montante, os trabalhadores a jusante não terão nada para fazer.

- Quando um equipamento avariar.
- O programa do serviço é trivial e o número de clientes é limitado, por isso os clientes precisam de esperar.

2.5 Tempos de espera e Congestionamentos

Tirachini, Hensher e Rose descrevem os efeitos provocados pelo congestionamento nos transportes públicos (2013), tais como:

- Efeito no tempo dentro do veículo
- Efeito no tempo de espera
- Efeito na confiabilidade do tempo de transporte
- Efeito no bem-estar
- Efeito na avaliação das reduções do tempo de viagem
- Efeito na rota
- Efeito no ponto ótimo de oferta e preço dos transportes públicos

O efeito do tempo do veículo advém do facto de, quando existe uma grande concentração de passageiros, a movimentação dos mesmos é limitada. Como nem todos conseguem encontrar lugar sentados, muitos têm de ficar de pé, o que dificulta o fluxo da entrada e saída de passageiros. Com essa dificuldade, o tempo de paragem em cada estação aumenta, aumentando assim o tempo de viagem.

O efeito do tempo de espera é explicado pelos autores nos casos em que os passageiros não conseguem entrar no primeiro comboio, devido a este já se apresentar lotado. Com isto, terão de esperar pelo próximo metro, aumentando assim o tempo de espera.

O efeito da confiabilidade dos tempos de transporte está relacionado com os 2 pontos anterior. Com uma ocupação elevada, é difícil de prever tanto o tempo de espera (porque tanto se pode conseguir entrar no primeiro comboio como não) e o tempo de viagem (devido ao tempo de entrada e saída de passageiros). Para além disso, também existe o facto de existir mais probabilidade de haver algum problema que atrase a circulação quando há congestionamentos. Com esta fraca capacidade de se conseguir prever, a confiabilidade desce.

O efeito do bem-estar do passageiro explica-se pelo desconforto provocado. Com um elevado número de pessoas a partilhar o mesmo espaço, o passageiro tem uma maior probabilidade de aumentar os seus níveis de stress, ansiedade e exaustão.

O efeito na avaliação das reduções do tempo de viagem é explicado pelos autores com o facto de cada pessoa estar disposta a pagar mais se houver menos congestionamento. Com isto consegue-se formular uma relação entre a densidade e o valor das reduções do tempo de viagem. O efeito da rota refere-se à preferência que o passageiro tem por rotas e horários onde é mais provável encontrar um lugar sentado, quando existe várias alternativas para o mesmo destino. O reconhecimento de uma externalidade de congestionamentos na avaliação do tempo de viagem e no próprio tempo de viagem pode ter efeitos significativos na projeção de um sistema de transporte público, particularmente em termos da capacidade oferecida para manter a procura. Esse é o efeito no ponto ótimo de oferta e preço dos transportes públicos.

2.6 Simulação

Kelton, Sadowski e Sadowski (2009) definem simulação como “o conjunto de aplicações e métodos para imitar o comportamento de sistemas reais, geralmente num computador com um programa apropriado”. Robinson *et al.* (2010) definem ainda um modelo de simulação como “abstrações do mundo real ou uma proposta para sistemas do mundo real”. Os mesmos autores referem ainda que esses modelos não contêm todos os aspetos e detalhes dos sistemas que tentam replicar. Stewart (2004) resume simulação como “a imitação dum sistema”.

2.6.1 Dimensões de Simulação

Kelton, Sadowski e Sadowski (2009) referem que existe três dimensões referentes à simulação:

- Estático vs Dinâmico: a diferença entre os dois está relacionado com o facto de se o tempo ser importante na simulação. Nas simulações estáticas, o tempo não desempenha um grande papel, ao contrário das simulações dinâmicas. Na maioria dos casos, os modelos operacionais são dinâmicos.
- Contínuo vs Discreto: Na simulação contínua, o estado do sistema pode mudar continuamente ao longo do tempo, enquanto que na simulação discreta, o estado do sistema só pode mudar em pontos diferentes de tempo. Uma simulação pode conter elementos tanto contínuos como discretos.
- Determinístico vs Estocástico: Se não haver acaso no input dado ao sistema, então essa simulação é determinística, mas se houver, por exemplo, inputs probabilísticos, então essa simulação é Estocástica. Um modelo pode também ter elementos tanto determinísticos como estocásticos

2.6.2 Tipos de simulação

Sokolowski e Banks (2010) classificam 3 tipos de simulação:

- Ao vivo: Os participantes e sistemas são reais, como os treinos de guerra.
- Virtual: Os participantes são reais mas o sistema é simulado, como um simulador dum avião.
- Construtivo: Os participantes e o sistema são simulados, como um plano de evacuação.

2.6.3 Modelos

Para haver uma otimização do sistema, muitas vezes pode-se experimentar várias combinações de operações dentro do próprio sistema, mas muitas vezes, essa opção é demasiado cara, impossível ou impossível de fazer dentro do sistema em si (Kelton et al., 2009).

Uma solução para combater isso é construir um modelo do sistema.

2.6.3.1 Modelo físico

Segundo Kelton, Sadowski e Sadowski (2009), um dos primeiros modelos foi o modelo físico ou icónico.

Um modelo físico é uma replica do sistema e é bastante usado para treinos profissionais, como simuladores de aviões ou a sala de controlo numa emergência nuclear, ou testar ambientes até uma média escala, como um layout dum restaurante.

2.6.3.2 Modelo de elementos finitos

Modelo que decompõe uma estrutura complexa em vários elementos mais simples.

Este modelo é mais usado na engenharia (Sokolowski & Banks, 2010).

2.6.3.3 Modelos baseados em dados

Estes modelos são baseados em dados descritivos que examinam certos factores do mesmo tipo do modelo (Sokolowski & Banks, 2010).

2.6.3.4 Modelos baseados em agentes

Estes modelos são baseados em agentes que são definidos no software como entidades independentes, e que, portanto, têm autonomia e poder de decisão conforme vários factores e variáveis no seu meio envolvente.

Siebers *et al.* (2010) destacam este modelo referindo que nos ajuda a compreender melhor o sistema do mundo real. Os mesmos referem que se deve usar este modelo quando:

- Há um problema na representação real dos agentes envolvidos
- Os agentes têm uma relação com outros agentes
- É importante que os agentes tenham um comportamento espacial ou geo-espacial (podem-se mover)
- É importante que os agentes se adaptem
- É importante que os agentes tenham um comportamento estratégico e antecipe o seu comportamento com base no comportamento de outros
- É importante que os agentes colaborem
- O passado não preveja o futuro
- Os agentes possam decidir o próximo processo

2.6.3.5 Modelos agregados

Estes modelos não são baseados em modelos físicos, e são usadas para facilitar um numero de pequenos objetos e as suas ações numa maneira mais combinada e agregada (Sokolowski & Banks, 2010).

2.6.3.6 Modelo lógico

Kelton, Sadowski e Sadowski (2009) definem modelo lógico ou matemático como um modelo com uma “série de aproximações e presunções, estruturais e quantitativas, sobre o modo como o sistema funciona ou irá funcionar”.

Normalmente um modelo lógico é representado num programa de computador, para que se consiga extrair uma valida representação do comportamento do sistema e assim ser uma valida representação do sistema real.

2.6.4 Simulação no Computador

Simulação computacionais são todos os métodos para estudar a grande variedade de modelos de sistemas reais por avaliação numérica usando um software preparado para imitar os comportamentos do sistema, como as suas características e operações (Kelton et al., 2009). Para se fazer uma simulação é necessário desenhar e criar o sistema real o sistema proposto.

A simulação computacional começou a ser usada nos anos 50 ou 60, mas era muito restrito e caro, e apenas usado em grandes empresas.

Com a evolução no hardware nos anos 70 e 80, a simulação começou a ser mais usada, no entanto, continuava a ser por grandes empresas, e geralmente era só usada até ocorrer um desastre. Nesses anos, a academia também começou a usar esta ferramenta para fins de pesquisa.

No final dos anos 80, algumas empresas já pediam para fazer simulações antes da produção começar, mas foi nos anos 90 que esta ferramenta se propagou. Muitas pequenas firmas usavam a simulação em várias fases do projeto.

Segundo os mesmos autores, as vantagens de se usar uma simulação no computador estão relacionadas com o facto de ser mais fácil, barato e rápido em se obter respostas sobre o modelo e sistema por simplesmente manipulando os inputs dados, e de ser menos arriscado, já que se fizer um erro no programa é diferente de se fazer um erro no sistema real. O verdadeiro poder desta simulação está mesmo no facto de se poder fazer simulações complexas fidedignas sem ter de se fazer muitas pressupostos para simplificar o modelo, e assim ficar um modelo mais perto da realidade e válido. Por isso torna-se uma ferramenta poderosa e versátil.

Esses autores também apontam outra razão para o aumento de popularidade desta ferramenta – o avanço tecnológico. A evolução de hardware, principalmente através do processamento, e do software, de programas tediosos de programação a programas fáceis de usar e flexíveis, fez com que a performance em relação com o custo do hardware e software aumentasse. É mais eficiente, poderoso e barato o hardware atual que era há uns anos atrás.

Mas os autores também apontam algumas desvantagens, como o facto de nos modelos estocásticos, o acaso das probabilidades provocar uma grande variabilidade no input e, por consequência, nos resultados apresentados.

2.6.5 Ciclo

Segundo Starr e Orlov (1999), existem 4 fases no ciclo como o modelo (a construção do modelo), que é implementado numa simulação (o código do programa é corrido), ao ser executado, vai dar resultados que ao serem analisados, leva ao discernimento.

Os mesmos autores identificam 4 tecnologias para o desenvolvimento dessas fases:

- Modelo: teorias, informações, algoritmos que suportam o desenvolvimento do modelo.
- Desenvolvimento: Técnicas, ferramentas e software usado para desenhar e implementar a simulação.

- Informação: Processos e ferramentas que suportam a coleção, armazenamento, transformação e análise de dados.
- Computação: Computadores e sistemas usados para simular.

2.7 Equilíbrio Procura-Oferta

Em termos microeconómicos, o equilíbrio Procura-Oferta ocorre quando a quantidade da procura iguala a quantidade da oferta (J. Whelan, Forrester, & Msefer, 1996). Esse equilíbrio é importante para que não haja um excesso de oferta ou de procura.

A procura desse equilíbrio é objeto de estudo em múltiplas áreas do mercado.

No estudo do equilíbrio Procura-Oferta dos táxis em Hong Kong, propôs-se algoritmos matemáticos e fez-se uma análise analítica com base em modelos de procura e oferta simplificados (Yang et al., 2002).

Também para o estudo do equilíbrio Procura-Oferta dos serviços de parques de estacionamento na mesma cidade utilizou-se algoritmos matemáticos. Para a formulação do modelo, foi importante a construção da rede dos parques, a duração média do estacionamento, o preço do serviço e a capacidade efetiva do parque. Para a validação do modelo, usou-se o rácio do número da acumulação dos veículos no modelo para a acumulação dos veículos que foi observado na realidade e também se verificou se os dois dados estavam dentro do intervalo de confiança de 95%. (Tong et al. , 2013)

2.7.1 Modelação para sistemas de transportes públicos

Para que esse equilíbrio seja criado, é necessário haver uma constante atualização dos parâmetros da procura e oferta, e para isso, a modelação pode ser benéfica (Agostino Nuzzolo & Comi, 2016)

Modelação nos transportes pode ser definida como uma ferramenta matemática usando um software para representar um sistema de transporte real para que assim seja possível prever padrões na procura (HEYNS & JAARVELD, 2017).

Para que esses dados do tipo “big data”, ou seja, uma grande informação de dados, seja bem gerida, Nuzzolo e Comi (2016) define vários modelos para que haja uma melhor comunicação de informação. Para que haja uma previsão do número de passageiros nas estações ou nas carruagens, os mesmos autores classificam os modelos em 2 categorias:

- “*run oriented*”: na qual os resultados respeitam a dados de cada viagem, como o número de passageiros nas carruagens, o espaço temporal entre cada veículo.
- “*line oriented*”: na qual os resultados respeitam a dados referentes à média de passageiros ou à média do tempo de viagem do veículo. Com isto, não é possível considerar dados de uma única viagem.

Dentro do “*run oriented*”, é possível classificar em 3 sub-categorias:

- Modelos analíticos: modelos que resultam de equações matemáticas.
- Modelos baseados em simulação: modelos que reproduzem as interações de diferentes agentes envolvidos no sistema ao longo do tempo.
- Modelos mistos: modelos que usam uma combinação dos 2 modelos descritos anteriormente.

Os modelos baseados na simulação, que também podem reproduzir as incertezas referentes à procura, podem referir-se como modelos de microsimulação, na qual cada interação é reproduzida ao detalhe, ou mesosimulação, na qual, para que haja uma diminuição na complexidade, as interações são simplificadas ou omitidas.

Um dos métodos usados na mesosimulação é o uso de “pacotes” ou grupos que agrupam os passageiros com a mesma origem, destino e horário de partida. Com isto, é possível diminuir a complexidade do sistema na simulação, tal como foi usado por Nuzzolo et al. (2014).

Para a criação destes modelos para que haja uma nivelção da procura e oferta, é necessário tomar algumas etapas. Heyns e Jaarvsveld (2017) defendem que o planeamento da oferta, com vista a essa nivelção, devem passar por:

- Definição do prolema: o que pode envolver a definição do tamanho da área que é estudada, a determinação do âmbito do estudo.
- Definição dos objetivos, metas e critérios: um consenso que deve ser realizado em toda a comunidade para que haja um desenvolvimento da qualidade de serviço.
- Recolha de dados: dados recolhidos do sistema de transporte para servir como base na modelação.
- Previsão: dos dados recolhidos do sistema real, é feita uma previsão para procuras futuras.
- Desenvolvimento de alternativas: Com os resultados das previsões, é realizada diversas alternativas para futuros sistemas de transporte.
- Avaliação: comparação dos resultados da previsão com a performance das alternativas.

- Implementação dos planos: como será implementado os planos decididos no ponto anterior.

Papageorgiou *et al.*(2009) também propôs etapas semelhantes, explicitando a etapa do desenvolvimento do modelo, depois do estabelecimento dos objetivos, a calibração do mesmo, a validação com dados do sistema real e se for aceite, preparar os cenários, testá-los via simulação e avaliar e implementar os resultados.

2.8 Conclusões

Este capítulo definiu primeiramente os conceitos de bens e serviços, as suas características e como ambos se complementam.

De seguida, procurou-se estudar o conceito de Lean, começando com a sua história e evolução. Depois, explorou-se a implementação do Lean nas empresas, os seus princípios e os desperdícios que serão possíveis identificar na “value stream” segundo essa filosofia.

Na próxima etapa, fez-se os mesmos pontos mas para a implementação de lean nos serviços, ou seja, a história e evolução na bibliografia e na sociedade da filosofia lean no setor dos serviços, como é que os serviços conseguem aproveitar essa filosofia, as fases de implementação, os princípios fundamentais de lean nos serviços e os desperdícios, de acordo com essa filosofia, que é possível eliminar nos serviços. Como o metro é um serviço, é essencial usar esse conhecimento para melhorar a eficiências das operações

De seguida, falou-se sobre a simulação: o seu conceito e características, a sua evolução, os vários tipos de simulação, os vários tipos de modelos e por último, um destaque na simulação por computador.

Finalmente foram agrupados alguns estudos sobre o equilíbrio Procura-Oferta, nomeadamente os métodos de resolução. Deu-se uma especial importância ao método de resolução através da modelação.

3 Metodologia

3.1 Introdução

Com base na introdução feita no capítulo 1 e a revisão literária no capítulo 2, este capítulo pretende explicar com mais detalhe a metodologia seguida para atingir os objetivos propostos.

3.2 Abordagem por Estudo-caso

O modelo usado para desenvolver esta tese é o estudo-caso, já que, tal como refere Yin (2003), é o mais preferível para responder a questões de “como?” e “porquê?”, o investigador tem pouco controlo sobre os eventos e é focado em fenómenos contemporâneos (Transporte metropolitano de Lisboa) com algum contexto sobre a vida real.

Segundo o mesmo autor, este estudo-caso é de tipo 2, já que há várias unidades em análise, como o tempo de espera e quantidade de passageiros, e é individual, neste caso, só o transporte na linha vermelha do Metro de Lisboa.

Segundo o mesmo autor, a categoria própria a este caso é de natureza descritiva, já que descreve o fenómeno natural que ocorre nos dados analisado em questão, neste caso os tempos de espera e a quantidade de passageiros nas plataformas e carruagens, e explanatória, porque tenta perceber a razão desses fenómenos, e, neste caso, tentá-los corrigir através da filosofia Lean.

3.3 Hipóteses de Investigação

Shen, Ren e Liu (2018) refere que para reduzir os tempos de espera, é preciso encontrar os melhores momentos para que um comboio saia da estação de partida para que possa responder à procura dinâmica dos passageiros. Para isso, os autores construíram variáveis relacionadas com duas categorias: tempo e espaço. Esses fatores também estão relacionados com 2 aspetos: a capacidade e a procura. Do tempo, pode ser considerado os picos de procura ao longo do dia (horas de ponta) e ao longo da semana (dias úteis e fins de semana), tal como refere Sun *et al.* (2014).

Tendo isto em conta, pode-se estudar o efeito de casualidade que a procura tem ao longo do tempo (diário ou semanal) para o tempo de espera dos passageiros através das seguintes hipóteses:

H1: Existe um padrão no tempo de espera dos passageiros relativamente aos dias de semana.

H2: Existe um padrão no tempo de espera dos passageiros relativamente aos períodos horários.

Do espaço, pode ser considerado as diversas estações da linha vermelha onde os passageiros partem. Só importa a estação de partida porque numa plataforma, independentemente do destino de cada passageiro, o tempo de espera é medido até o comboio chegar, e esse momento é simultâneo para todos. No entanto, devido ao rácio de entrada entre cada plataforma ser diferente, porque as estações não têm a mesma procura, o tempo de espera pode variar.

Tendo isto em conta, podemos estudar a casualidade entre a estação de partida e o tempo de espera dos passageiros com a seguinte hipótese:

H3: A estação de partida influencia o tempo de espera dos passageiros.

Krueger (1999) definiu capacidade adaptada aos transportes ferroviários como um tipo de mensuração da habilidade de mover uma determinada quantidade de tráfego numa linha ferroviária com um determinado conjunto de recursos sob um específico plano de serviço. Essa mensuração é definida consoante vários parâmetros, como referiram Abril *et al.* (2008).

Exemplos desse tipo de parâmetros são:

- Parâmetros de infraestruturas, como o sistema de sinalização, via única/ dupla, o próprio caminho da linha (número de estações), efeitos da rede (cruzamentos de linha), a estrutura da via e limites de velocidade, a distância de subdivisões
- Parâmetros de tráfego, como se a linha é nova ou já existente, mistura de comboios (diferentes velocidades), horários regulares, fator dum pico de tráfego, prioridade
- Parâmetros operacionais tais como interrupções de via, tempo de paragem do comboio nas estações, máximo de tempo por viagem, a janela de tempo, a qualidade de serviço.

A característica do Metro ser uma empresa ferroviária que detém a exclusividade das suas linhas apresenta fatores únicos para aproveitar o máximo dessa exclusividade como não haver cruzamento de linhas (por isso um comboio não precisa de esperar para passar outro), ter comboios homogéneos (com a mesma prioridade, velocidade, capacidade e por consequência não haver uma grande amplitude temporal de paragem para a saída e entrada de passageiros), ter vias homogéneas (não haver uma grande amplitude de limites de velocidade, ter 2 vias sem subdivisões).

Tendo estes pressupostos, o parâmetro mais acessível a ser mudado do lado da oferta é a da frequência dos comboios, neste caso, o intervalo temporal entre comboios.

H4: O intervalo temporal entre comboios influencia o tempo de espera dos passageiros.

Shen, Ren and Liu (2018) também referem que se se focar apenas na diminuição do tempo de espera dos passageiros, poderá haver congestionamentos nas carruagens e estações,

especialmente nas horas de ponta. Os congestionamentos podem levar não só a um desconforto por parte dos passageiros, mas também a perdas de receita por parte da empresa (G. Whelan & Johnson, 2004).

Por isso, é necessário analisar hipóteses não só relativamente ao tempo de espera, mas também relativamente ao congestionamento de passageiros.

Pode-se assumir que os fatores do congestionamento são as mesmas que do tempo de espera, já que o modelo apresentado por Shen, Ren and Liu (2018) contempla uma diminuição dos tempos de espera e conjuntamente uma diminuição do congestionamento.

Portanto, semelhantemente às hipóteses anteriormente apresentadas, as hipóteses relativas à influência do tempo no congestionamento podem ser as seguintes:

H5: Existe um padrão no número de pessoas na plataforma dos passageiros relativamente aos dias de semana.

H6: Existe um padrão no número de pessoas na plataforma dos passageiros aos períodos horários.

Para além da hora e do dia da semana, o outro fator de procura que também foi considerada para o tempo de espera dos passageiros foi o espaço. Esse fator também pode ser considerado para o congestionamento (Shen et al., 2018). Por isso, à semelhança da hipótese H3, pode ser colocada a seguinte hipótese:

H7: A estação de partida influencia o congestionamento dos passageiros nas plataformas.

Da parte da capacidade, já foi formulada a hipótese do intervalo temporal entre comboios influenciar o tempo de espera. Reiterando o que foi dito anteriormente, esse mesmo fator pode-se relacionar com o congestionamento dos passageiros (Shen et al., 2018). Pode-se então formular a seguinte hipótese, também tendo em conta a hipótese H4:

H8: O intervalo temporal entre comboios influencia o congestionamento dos passageiros nas plataformas.

Pode-se resumir as hipóteses na tabela 2:

Tabela 2- Resumo das hipóteses

				Tempo de espera	Congestionamento
Estação de origem	Procura	Influência temporal	Influência horária	H2	H6
			Influência Semanal	H1	H5
		Influência espacial	Influência entre cada estação	H3	H7
	Oferta	Influência temporal	Influência horária	H4	H8
Influência semanal					

(Fonte: Elaboração própria)

3.4 Modelo de Investigação

Considerando as hipóteses formuladas anteriormente, e com base nas etapas de modelação (HEYNS & JAARSVELD, 2017; Papageorgiou et al., 2009) desenvolveu-se o modelo de Investigação, presente no diagrama 1:

Diagrama 1- Modelo de Investigação



(Fonte: Elaboração própria)

Como se pode verificar com o Diagrama apresentado, podemos retirar 3 períodos distintos no decorrer desta investigação:

- Definição dos problemas – Primeiramente foi definido os problemas que incorreu este estudo, para que depois seja adaptado ao objetivo do modelo
- Recolha e Tratamento dos dados – Nesta fase irá se proceder à recolha de todos os dados necessários, neste caso, da procura (por dia de semana, estação e tipo de horário) e da oferta (através dos intervalos de tempo de espera de cada linha, por dia de semana e tipo de horário, o número de carruagens, a dimensão das estações). Como os dados vieram em bruto, também será necessário ajustar a formatação para inserir todos os dados no programa de simulação.

- Simulação – Nesta fase, está incorporado o desenvolvimento, a calibração, a validação e as conclusões do modelo. Para ajudar a realizar as conclusões, irá-se analisar as hipóteses.
- Desenvolvimento de alternativas – Com o output da simulação, é possível obter o estado da situação atual, uma representação fidedigna da situação real. Com essas informações, é possível o desenvolvimento de alternativas para a melhoria dos serviços. Para isso, é preciso saber qual o estado mais desejado.

Um dos desperdícios que o Metro pode ter é o atraso dos serviços (Qu et al., 2011). Segundo as etapas de implementação da filosofia Lean nos serviços, podemos denotar que, da definição dos problemas até à simulação do modelo, está presente na avaliação do estado atual, o 1º passo a ser implementado. O desenvolvimento de alternativas contém o passo de determinar o estado desejado e a estabilização das operações.

3.4.1 Definição dos problemas

Para esta fase, vai-se proceder à determinação do problema, embora já fosse referido no Capítulo 1. Com esta informação, será definido qual o objetivo do modelo que será desenvolvido.

3.4.2 Recolha e Tratamento de dados

Os dados da oferta tiveram como referência a página da internet do Metro de Lisboa (2019), semelhante ao que foi realizado para o Relatório Final da Ação Inspetiva às Condições de Exploração do Metropolitano de Lisboa E.P.E. (AMT, 2017). Esses dados estão expressos no intervalo de tempo entre cada comboio.

Através de dados recolhidos *in loco*, foi medido a dimensão das estações, para que o modelo seja o mais realista possível, e a contabilização das carruagens.

Para a procura, e tendo em conta as hipóteses baseadas nas amplitudes semanais, horárias e entre estações, foi requerido ao Metro de Lisboa, via e-mail, a quantidade de passageiros que entram em cada estação, qual o destino dos mesmos, dia de semana e tipo de horário. Em resposta, o Metro de Lisboa enviou um ficheiro Excel com Matrizes de Origem/Destino, com as seguintes características:

- Valores registados nos últimos 12 meses (dezembro de 2016 a novembro de 2017);
- Valores médios diários por dia de semana;
- Desagregação por linha e por estação;
- Desagregação por faixa horária de registos de entrada;
- Desagregação por faixa horária de registos de saída.

Com os dados que o Metro de Lisboa enviou, já se consegue extrair algumas informações só com as entradas e saídas de cada estação. Para isso, recorre-se à estatística descritiva. Segundo Marôco (2011), existem 4 tipos de medidas de estatística descritiva:

- Tendência Central – O valor da variável em estudo e a sua frequência
- Medidas de Dispersão – A dispersão das observações registadas
- Medidas de Assimetria e Achatamento – A forma que toma a dispersão
- Medidas de Associações – Caracterização da intensidade e direção da variação comum.

Para caracterizar o volume total da população, usando as medidas de tendência central, usou-se o estimador da média populacional, já que é um ótimo estimador para caracterizar variáveis do tipo quantitativo (Marôco & Ludbrook, 2011). Assim, é possível analisar quais as estações de origem e destino, por tipo de horário e dia de semana, com mais entradas e saídas de passageiros.

Para analisar a dispersão, usou-se o coeficiente de variação, para que assim se consiga relacionar a dispersão e a média (Marôco & Ludbrook, 2011). Com isto, é possível concluir se há variação entre os dias de semana.

Para seja possível fazer uma melhor análise, usou-se representações gráficas, para que se consiga visualizar as características da variável em estudo numa maneira simples e de “fácil aquisição mental” (Marôco & Ludbrook, 2011). Já que a variável das estações é qualitativa nominal, usou-se o Histograma de Frequências e o Gráfico Circular.

Para além destes tipos de gráficos, esta variável tem uma especificidade que possibilita a visualização de outro. A mesma variável – estações – está dividida em 2 tipos – origem e destino. Na mesma viagem, o passageiro tem sempre uma estação de origem e destino. Dado que existe uma relação entre si, é possível visualizar a informação através de grafos. (Herman, Melançon, & Marshall, 2000) Os grafos são diagramas de ligações de nós (que são representados por pontos) e são usados para mostrar as relações entre entidades. Um dos

exemplos desse tipo de grafos são redes de tráfego, na qual cada nó representa localizações e as linhas representam a quantidade de tráfego entre localizações. (Holten & Van Wijk, 2009)

A ferramenta usada para criar grafos foi o Gephi, um programa *open source* que consegue exibir uma grande rede e permite uma manipulação flexível da mesma (Bastian, Heymann, & Jacomy, 2009).

Para que haja uma análise mais clara, fez-se a média dos dias úteis, se a dispersão não for significativa. Para comprovar isso, calculou-se o coeficiente de variação. O CV é uma medida de dispersão que, não só tem em conta a variação em estado bruto, como também tem em consideração a média na qual ocorre, exigindo assim uma relativização (Marôco & Ludbrook, 2011). Já que a matriz origem-destino possui resultados muito dispersos, não se pode considerar válido os resultados do desvio-padrão de cada dia de semana para cada carga horária. Para isso, usou-se o coeficiente de variação, dividindo para cada tipo horário o desvio-padrão das entradas nos dias úteis pela média das entradas no mesmo período.

Para a análise da matriz origem-destino, para verificar se as viagens dos passageiros são curtas ou longas, usou-se o gráfico de bolhas, na qual se identificou o eixo horizontal como origem e vertical como destino. Na sua interseção, estará o círculo que representará o número de passageiros que fazem essa viagem, sendo que quanto maior o círculo, maior o número de passageiros.

Depois da construção do sistema e respetiva simulação, procedeu-se ao tratamento dos dados dos outputs.

Os outputs do tempo de espera e número de passageiros foram recolhidos com base em cada plataforma, e não em cada estação, já que dentro de cada estação pode haver uma assimetria significativa entre 2 plataformas. Os nomes dados para cada plataforma e respetivo sentido estão presentes na tabela 3:

Tabela 3- Descrição das plataformas

Nome da Plataforma	Estação	Destino
pedWaitSSeb	S. Sebastião	Aeroporto
pedWaitSal	Saldanha	Aeroporto
pedWaitAla	Alameda	Aeroporto
pedWaitOlai	Olaias	Aeroporto
pedWaitBV	Bela Vista	Aeroporto
pedWaitChe2	Chelas	Aeroporto
pedWaitOli2	Olivais	Aeroporto
pedWaitCR2	Cabo Ruivo	Aeroporto
pedWaitOri2	Oriente	Aeroporto
pedWaitMosc2	Moscavide	Aeroporto
pedWaitEnc2	Encarnação	Aeroporto
pedWaitAer1	Aeroporto	S. Sebastião
pedWaitSal1	Saldanha	S. Sebastião
pedWaitAla1	Alameda	S. Sebastião
pedWaitOlai1	Olaias	S. Sebastião
pedWaitBV1	Bela Vista	S. Sebastião
pedWaitChe1	Chelas	S. Sebastião
pedWaitOli1	Olivais	S. Sebastião
pedWaitCR1	Cabo Ruivo	S. Sebastião
pedWaitOri1	Oriente	S. Sebastião
pedWaitMosc1	Moscavide	S. Sebastião
pedWaitEnc1	Encarnação	S. Sebastião

(Fonte: Elaboração própria)

3.4.3 Simulação do modelo

Com os dados recolhidos, apenas nos é possível verificar as entradas e saídas de cada estação de cada dia da semana por hora, e se se relaciona com a oferta disponibilizado pelo Metro de Lisboa, mas não é possível estudar congestionamentos e tempos de espera, que é preciso para analisar as hipóteses.

Com a replicação do modelo real numa simulação, é possível obter os tempos de espera de cada passageiro e quantas pessoas irão estar na plataforma, para que seja assim possível obter dados de congestionamentos e tempos de espera.

Tal como foi referido na Revisão de Literatura, também há vantagens de eficácia e eficiência em usar o poder de cálculo do computador para realizar a simulação. Já que o sistema e os participantes são virtuais pode-se concluir que o tipo de simulação é construtivo.

Com as dimensões de simulação estudadas no Capítulo 2, pode-se concluir que a simulação é dinâmica, já que o tempo desempenha um fator importante. É determinística, porque, dados os inputs, sabe-se como aquele elemento irá acabar, não há uma condição probabilística. Finalmente, a simulação contém elementos contínuos, como os passageiros chegando à estação e discretos, como a partida dos comboios na estação de partida (Kelton et al., 2009).

Para que haja uma maior aproximação à realidade, fez-se um modelo baseado em agentes, já que com este modelo, existe uma maior compreensão do mundo real (Siebers et al., 2010), e é um bom modelo para analisar diversos problemas complexos como o tráfego (Bazghandi, 2012).

Para que haja uma simulação parecida com a realidade, é necessário um bom programa que reflita as interações de todos os agentes e que tenha disponibilizado ferramentas de sistemas ferroviários. Para isso, foi escolhido o programa Anylogic 7, um programa com diversas ferramentas para desenvolver um sistema ferroviário (Anylogic, 2019c), que tem a capacidade de simular diversos comportamentos complexos dos passageiros, um dos agentes do sistema (Li et al., 2016).

Tal como foi referido no capítulo 2, uma simulação tem como função replicar com rigor a realidade. Por isso, é necessário validar os dados dos outputs da simulação. A variável a ser utilizada para essa verificação foi o número de passageiros em espera, já que é o que mais se associa à entrada de passageiros em cada estação. Para isso, foi utilizado 3 técnicas usado por 3 estudos diferentes (Patel et al., 2001; Toledo et al., 2010; Van Der Spek et al., 2018):

- Calculando-se o coeficiente de variação
- Observar se os valores simulados acompanham a tendência dos valores reais
- Fazendo o teste Kolmogorov–Smirnov para 2 amostras

No Coeficiente de variação, agrupar-se-á os mesmos por classes de intervalos, e irá se registrar para cada classe, qual a percentagem de coeficiente de variação que se encontram nesse intervalo, considerando-se inaceitáveis coeficientes de variação superiores a 23%, tal como refere Patel, Patel e Shiyani (2001). Com isto, se o valor correspondente da classe dos coeficientes de variação superior a 23% for muito alta, podemos concluir que há uma grande dispersão entre o modelo real e o modelo simulado.

No entanto, embora os valores possam registrar uma maior diferença, é também necessário saber se a simulação no seu total acompanha a tendência da amostra real. Esse método de validação será o mesmo usado numa simulação numa linha de autocarro (Van Der Spek et al., 2018).

Um outro método de validação de uma simulação que será usado é o teste Kolmogorov–Smirnov para 2 amostras (Toledo et al., 2010). Foi feito esse teste com a hipótese nula de que a amostra real e simulada dos passageiros em espera serem derivadas da mesma população.

Depois da simulação ser validada, irá se proceder à caracterização do output dado pela simulação, na qual se agrupou os grupos (número de pessoas por plataforma, número de pessoas dentro do comboio e o tempo de espera de cada passageiro). Para o número de pessoas por plataforma, far-se-á uma tabela que regista o tempo e o número de pessoas quando entram no comboio e far-se-á uma contagem por cada tipo de horário. Para o tempo médio de cada passageiro, far-se-á uma média por cada tipo de horário e para o máximo irá se registar qual o tempo máximo de espera naquele intervalo de tempo.

3.4.4 Desenvolvimento de alternativas

Nesta última fase, vai-se propor formas de mitigação dos problemas verificados na simulação, ou seja, como e quando existe mais congestionamentos e tempos de espera.

Para isso, será comparada os resultados obtidos pela simulação com outros sistemas metropolitanos da Europa, para que assim possamos determinar o estado desejado.

3.5 Análise das Hipóteses

Para as hipóteses referentes à oferta (H4 e H8), já que se pretende testar se o intervalo temporal de comboios (frequência) está associado aos tempos de espera/congestionamentos, é possível analisar essas hipóteses utilizando Medidas de Associação. Segundo Marôco (2011), para variáveis quantitativas, existem 2 tipos de testes: o Coeficiente de correlação de Pearson para testes paramétricos e o Coeficiente de correlação de Spearman para testes não paramétricos, testes esses que são explicados infra.

Segundo Marôco (2011), existem 2 tipos de testes: os paramétricos, na qual a variável dependente possui uma distribuição normal (normalidade) e as variâncias populacionais sejam homogêneas (homogeneidade), e os não paramétricos, na qual há pelo menos uma condição referida anteriormente não é validada. Prefere-se sempre o teste paramétrico devido à sua superior potência.

Para testar a normalidade, irá se usar o teste Kolmogorov-Smirnov (já que a amostra é superior a 30) e para o teste da homogeneidade usar-se-á o teste Levene.

Se esses pressupostos se verificarem, pode-se usar o teste t-Student até 2 amostras e o ANOVA *one-way* para um número superior de amostras.

Se não se verificarem, a alternativa ao teste t-Student é o teste Mann-Whitney, e para mais que 2 amostras usa-se o teste Kruskal-Wallis.

Se os resultados dos testes indicam que a hipótese nula é rejeitada por não se enquadrar com o intervalo de confiança, é possível realizar o teste Post-hoc, para que se possa evidenciar quais os pares de médias que são diferentes. O teste indicado para uma amostra superior a 30 é o teste Tukey.

3.6 Conclusão

Na tabela 4, apresenta-se a metodologia que foi definida para atingir os Objetivos específicos e Geral

Tabela 4- Síntese da Metodologia

Objetivo Geral	
Analisar a relação entre procura e oferta da linha vermelha do Metro de Lisboa e a redação de recomendações de otimização da rede para uma melhor eficiência na prestação de serviços.	
Objetivo Específico	Análise
1. Calcular tempos de espera e número de pessoas nas plataformas e carruagens;	Análise descritiva
2. Identificação de padrões nos tempos de espera e congestionamento de passageiros;	Análise descritiva
3. Averiguar a influência de cada estação, horário, dia de semana e oferta para diferenças de tempo de espera;	Análise de hipóteses (H1, H2, H3) Análise descritiva (H4)
4. Analisar a influência do horário, dias da semana, estação e oferta nos congestionamentos;	Análise de hipóteses (H5, H6, H7) Análise descritiva (H8)
5. Identificação dos principais pontos de origem e destino nos períodos com mais procura;	Análise descritiva

(Fonte: Elaboração própria)

4 Caso de Estudo

4.1 Introdução

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos através da simulação da linha vermelha da rede metropolitana no que diz respeito ao congestionamento e tempos de espera dos passageiros.

Para isso, vai-se fazer uma caracterização da empresa, do sistema global de todo o Metro e da linha vermelha através dos dados recebido, dando dados relevantes como o número de passageiros por plataforma e os tempos de espera dos mesmos.

Finalmente, e usando os métodos descritos no capítulo anterior, estudou-se as várias hipóteses.

4.2 Caracterização do Metropolitano de Lisboa, E. P. E.

O Metropolitano de Lisboa foi fundado pelo regime de uma sociedade anónima de responsabilidade limitada (Metropolitano de Lisboa, S.A.R.L.), tendo o Governo ter aprovado os estatutos dessa mesma sociedade a 21 de janeiro de 1948 que tinha “por objeto a instalação e exploração em regime de exclusivo de um sistema de transporte coletivo fundado no aproveitamento do subsolo da cidade de Lisboa” (Metro de Lisboa, 2019), tendo a concessão para a exploração e instalação do Serviço Público ter sido outorgada a 1 de junho do ano seguinte. (Metro de Lisboa, 2018b)

A seguir à revolução de 25 de abril de 1974, a empresa é nacionalizada através do Decreto-lei 280-A/75, de 5 de junho, tendo sido aprovado os seus estatutos como Empresa Pública pelo Decreto-Lei n.º 439/78, passando assim a ser chamada Metropolitano de Lisboa, E.P. O seu regime como Entidade Pública Empresarial foi criado através do Decreto-Lei n.º 148-A/2009, passando assim a ser chamado até atualmente Metropolitano de Lisboa, E. P. E.

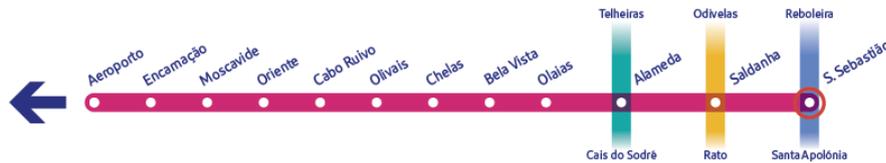
A missão da empresa passa por “Prestar um Serviço de Transporte Público de Passageiros, em modo metro, orientado para o cliente, promovendo a mobilidade sustentável.”(Metro, 2018)

4.3 Área Geográfica de Intervenção

O Metro de Lisboa dispõe de uma rede que engloba, para além do concelho de Lisboa, os concelhos de Amadora (Linha Azul) e Odivelas (Linha Amarela). Para a investigação em questão (entradas e/ou saída de passageiros), apenas se irá contabilizar as estações da linha vermelha. A linha vermelha é neste momento essencial na ligação de todo o sistema metropolitano, já que está ligada com todas as outras linhas (em S. Sebastião para a linha azul,

Saldanha para a linha amarela e Alameda para a linha verde). Esse facto é mais significativo devido ao planeamento duma linha circular (Observador, 2018), uma futura linha que também terá a ligação de todas as linhas. A linha está representada na Figura 3.

Figura 2- Linha vermelha



(Fonte: Metro de Lisboa)

A linha vermelha apenas está contida no concelho de Lisboa, estando inserida nas freguesias de Avenidas Novas (S. Sebastião e Saldanha), Arroios, Penha de França (Alameda), Areeiro (Alameda, Olaias), Marvila (Bela Vista, Chelas), Olivais (Olivais, Cabo Ruivo, Oriente, Encarnação, Aeroporto), Parque das Nações (Oriente, Moscavide).

4.4 Modelo de Simulação

Esta etapa é importante para ajudar a avaliar o estado atual. Antes do desenvolvimento do modelo, é necessário definir o objetivo do modelo para que seja adaptado ao problema que se está a estudar. Como o problema envolve o congestionamento e tempos de espera na linha vermelha do Metro de Lisboa, o objetivo do modelo é detetar quando e onde ocorrem esses congestionamentos e tempos de espera.

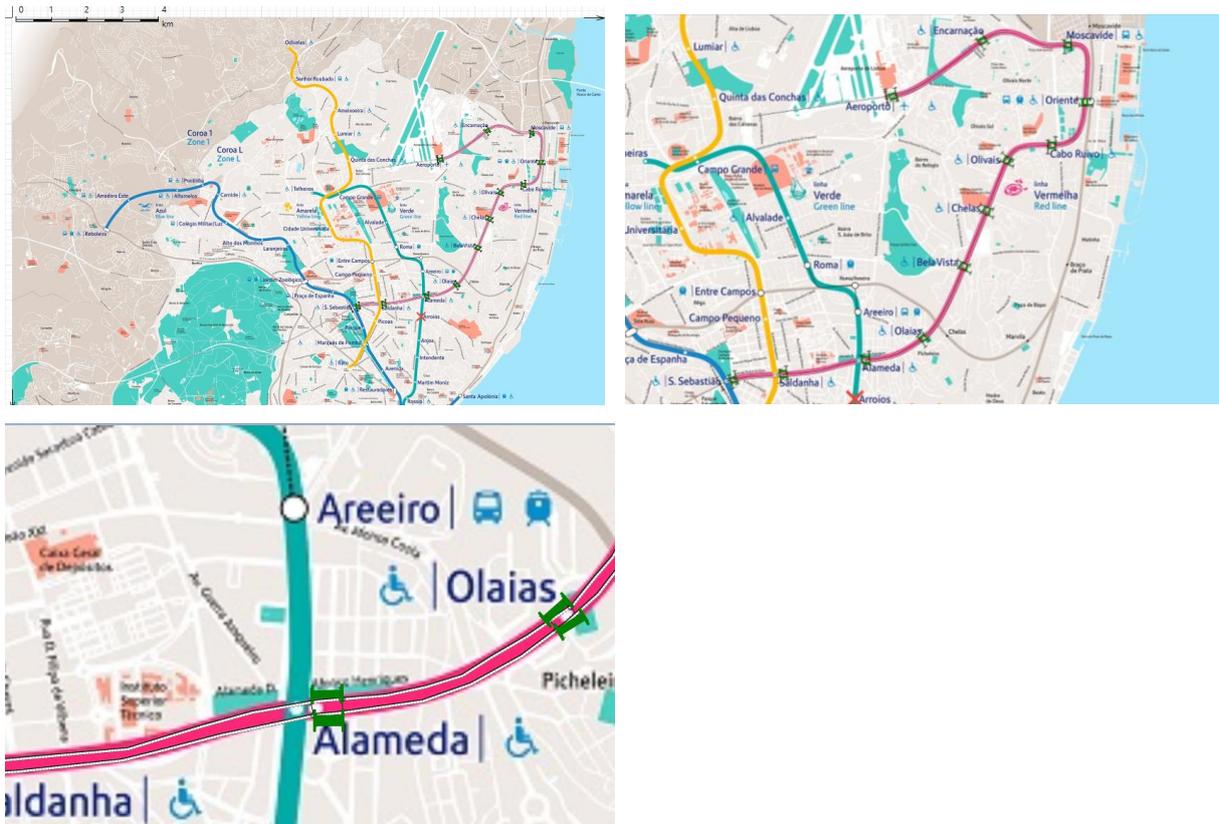
De seguida, foi desenvolvido o modelo.

4.4.1 Desenho geográfico do sistema

Para que haja uma visualização de todas as linhas, inseriu-se um mapa da rede do Metro de Lisboa, devidamente escalada.

De seguida, inseriu-se as 2 linhas de comboio que compõem a linha vermelha, Aeroporto-S. Sebastião e S. Sebastião-Aeroporto. Para isso usou-se o elemento *Railway Track*. Para a simulação das plataformas, local onde há espera, entrada e saída de passageiros, usou-se o elemento *Rectangle*. Finalmente, para que o comboio pare na ponta da estação, marcou-se na linha uma posição coincidente com a ponta da plataforma previamente desenhada, usando o elemento *Position on track*. Com isto, fez-se o desenho geográfico do sistema, como se pode demonstrar nas imagens em baixo.

Figura 3- Desenho geográfico do sistema



(Fonte: Elaboração própria no programa Anylogic)

4.4.2 Entidades

Estando o desenho geográfico finalizado, fez-se o esquema das operações.

Para isso, é necessário criar-se 3 tipos de entidades: passageiros (Passenger), carruagem dos comboios (RailCar) e o próprio comboio (Train e Train2). A entidade Passenger vai representar todos os passageiros que entram na simulação. Nessa entidade, definiu-se o objecto 3D que será representado na simulação. Na carruagem, definiu-se o objeto 3D e a escala de cada carruagem. Por fim, nos comboios, definiu-se 2 entidades, um comboio para um sentido e outro para o outro sentido.

4.4.3 Movimentação dos comboios

Estando criado as entidades, procedeu-se ao desenho do esquema. Para o movimento dos comboios, usou-se 5 elementos: *TrainSource*, *TrainMoveTo*, *Delay*, *Pickup*, *Dropoff* e *trainDispose*. Como a simulação da chegada do comboio é discreta, criou-se um horário (usando o elemento Schedule) com as chegadas do comboio à 1ª estação da linha.

O elemento *TrainSource* cria o comboio. Definiu-se qual a entidade do tipo de comboio e carruagem (*Train* ou *Train2* e *RailCar* respetivamente), qual o horário da chegada, quantas carruagens o comboio possui (inseriu-se 6), qual a posição na linha (referência a um ponto criado antes da 1ª estação), as velocidades de cruzeiro, aceleração e desaceleração (5 m/s, aproximadamente 60 km/h, tal como foi referido publicamente (Saraiva, 2019) para a velocidade de cruzeiro, e 1 m/s² para as velocidades de aceleração e desaceleração tal como é referido no website sobre as últimas carruagens da série 99 (Metro de Lisboa, 2014)), e qual o comprimento de cada carruagem (16 metros para a mesma série de carruagem). Por fim, nas ações de saída, para evitar o erro *NullPointerException*, inseriu-se o código “metro = train;”. Com este código, refere que as propriedades da variável *train*, uma variável do tipo *Train* que está dentro da entidade *Train* serão copiadas para a variável *metro*, que é uma variável também do tipo *Train* mas que se situa na entidade principal (“*Main*”).

O próximo elemento, *TrainMoveTo*, tem como função fazer mover o comboio. Nas propriedades deu-se o nome a cada elemento (neste caso deu-se a abreviatura do nome da estação para onde o comboio vai, por exemplo, “SSeb” para São Sebastião, “Sal” para Saldanha), qual o tipo de comboio, que neste caso é a entidade *Train*, e referimos que a meta é uma dada posição na linha, referindo também qual a posição.

Para que o comboio não arranque para a próxima estação, criou-se o elemento de espera: *Delay*. Dentro das propriedades desse elemento, referiu-se o nome (são as letras “ES”, de entrada e saída, seguido da abreviatura do nome da estação, por exemplo, “ESSSeb” para representar o tempo das entradas e saídas do comboio da estação de S. Sebastião, “ESSal” para a estação de Saldanha). Referiu-se o tipo de comboio, que é a entidade *Train* e o tipo de espera, que pode ser ou um tempo específico ou um quando a função *stopDelay()* é chamada. Esse tipo de função podia ser chamada sempre que já não houvesse mais pessoas na estação, mas como poderá haver momentos em que o comboio já esteja lotado, referiu-se um tempo específico. Para isso, usou-se a função triangular, uma distribuição contínua que é ligada em 2 lados (Anylogic, 2016). Para usar esta função é necessário 3 valores, o valor mínimo (*min*), máximo (*max*) e mais provável de acontecer (*mode*), tendo a seguinte fórmula:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{2(x-\min)}{(max-\min)(mode-\min)} \quad \min < x < mode \\ \frac{2(max-x)}{(max-\min)(max-mode)} \quad mode < x < max \end{array} \right\} \quad (1)$$

O valor usado para mínimo foi de 0,08 minutos (aproximadamente 5 segundos), o máximo foi de 0,25 minutos (15 segundos) e o valor mais provável foi de 0,16 minutos (aproximadamente 10 segundos).

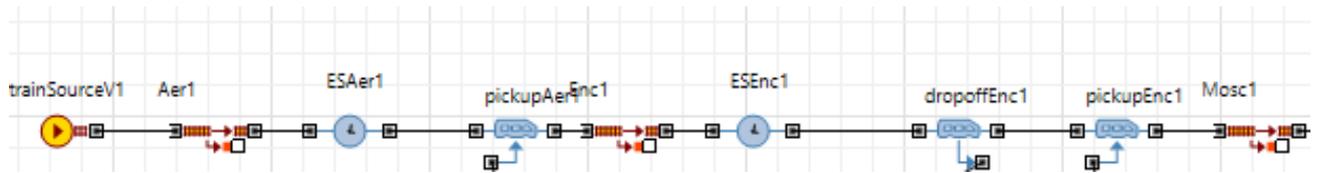
O elemento *Dropoff* é o que faz os passageiros saírem do comboio para a plataforma e é usado depois do elemento *Delay*, excepto na 1ª estação. Nas propriedades do elemento, editou-se o nome (usa-se a palavra “*dropoff*” seguido da abreviatura do nome da estação, como por exemplo, a saída dos passageiros da estação Saldanha chama-se “*dropoffSal*”), identificou-se qual o *container* e os tipos de elementos, neste caso são as entidades *Train* e *Passanger* respetivamente, e referiu-se qual a condição de saída. Para isso, usou-se o elemento *Option Lists*, para criar uma lista de destino. Chamou-se a essa lista “*destination*” e as opções têm como nome a palavra “Destino” seguido da abreviatura da estação. Como o programa Anylogic é modelado em Java (Anylogic, 2019a), e como uma das propriedades do Java é a herança (Schildt, 2006), ao fazer a condição tem de ser possível qual a classe a que a variável está inserida. Na entidade *Passenger* criou-se a variável de tipo *destination*. Por isso, a condição de saída é “*entity.destino==*” com a opção da estação. Por exemplo, se o comboio está na estação Olivais, a condição de saída é “*entity.destino==DestinoOlai*”, com isto, a variável destino que está contida na entidade *Passenger*, e por isso, qualquer passageiro tem, tem de ser igual a “DestinoOlai”. Usou-se o operador “*==*” para verificar se as 2 instancias são iguais (Schildt, 2006). Para as estações que têm ligação com outra linha, também se acrescentou os passageiros com destino a outra linha, com o operador “*||*”.

Depois da saída dos passageiros, simulou-se a entrada dos passageiros, exceto na última da estação. Para isso, é usada o elemento *Pickup*. Nas propriedades, o nome foi modificado com a palavra “*pickup*” e a abreviatura da estação, por exemplo, o elemento para simular a entrada dos passageiros na estação de S. Sebastião tem como nome “*pickupSSeb*”. Devido à lotação do comboio, escreveu-se a condição dos passageiros entrarem apenas quando o comboio tem lotação disponível. O cálculo da lotação teve como base os números da lotação do reboque e motora (Metro de Lisboa, 2014). Por observações no local, os comboios da linha vermelha têm uma sequência de motora-reboque-motora, tendo assim no total 4 motoras e 2 reboques. Por isso, a lotação dum comboio com 6 carruagens é de 1030 passageiros. A condição ficou por isso “*metro.contents().size()<1030*” (Anylogic, 2019b).

Finalmente, na última estação, o esquema acaba com o elemento *TrainDispose*, na se identificou o tipo de comboio (a entidade *Train*).

A sequência esquemática fica então como a imagem abaixo:

Esquema 3- Sequência Esquemática do sistema sem Passageiros



(Fonte: Elaboração própria no programa Anylogic)

4.4.4 Movimentação dos Passageiros

Para além da simulação dos movimentos dos comboios, também se simulou os passageiros. A interação com o comboio faz-se através dos elementos *Pickup* e *Dropoff*.

Para criar os passageiros, é usado o elemento *PedSource*. Nas suas propriedades, modificamos o nome para a palavra “*pedSource*” seguido da estação de origem e estação de destino, por exemplo, o passageiro que entre na estação de S. Sebastião e saia na estação Saldanha é criado através do “*pedSourceSãoSebastião2Saldanha2*”. Referiu-se o tipo de pedestre, neste caso *Passenger*, e onde ele aparece, neste caso numa linha feita na plataforma de origem. Nas ações de saída, referiu-se que todos os passageiros que foram criados por esse elemento têm um destino. Para isso, respeitando a propriedade de herança, escreveu-se “*ped.destino=*” e o destino referido na lista de opções criada anteriormente. Por exemplo, com o mesmo caso do passageiro que entra em S. Sebastião e sai em Saldanha, tem como ação “*ped.destino=DestinoSal;*”. Para que haja a realização da ação, o comando tem de acabar com “*;*” (Schildt, 2006). Para cada estação, criou-se o número de elementos necessárias para cada combinação, tendo as estações de origem mais combinações e cada vez que se aproxima da estação final, há cada vez menos combinações.

Para que os passageiros apareçam nas devidas proporções, usou-se a o elemento API *Schedule* (Anylogic, 2019d), inserindo diretamente a classe em java no elemento function, tal. Para cada função, deu-se o nome começado por “*init*” seguido do nome *PedSource* associado. Para cada função, é necessário alocar memória para esse horário, por isso, criou-se variáveis do tipo “*Schedule<Double>*”, tendo como nome começado por “*schedule*” e terminando com o *PedSource* associado. Também era possível criar um horário manualmente com o elemento *Schedule*, tal como o horário de partida de cada comboio, no entanto, é mais eficiente o Excel, com a ajuda de concatenações, disponibilizar como ficará cada código para toda a semana e copiar para o simulador do que digitar cada carga horária.

O próximo elemento é o *PedWait*, que tal como o *Delay*, faz com que as pessoas esperem pelo comboio, mas ao contrário do *Delay*, neste caso a espera acaba sempre que a função “free()” é executada. Para isso, inseriu-se o código nas ações de entrada do *Delay* da estação o *PedWait* referente à estação e “freeall()”, por exemplo, para libertar todos os passageiros que estavam em espera na estação do Aeroporto, inseriu-se o código “pedWaitAer1.freeAll()” para que sempre que o comboio chegue à estação e comece a esperar pelas entradas e saídas, os passageiros saem do tempo de espera.

De seguida, simulou-se os passageiros a aproximarem-se da beira da plataforma, para que depois entrem no comboio. Para isso, usou-se o elemento *PedGoTo*. Nas suas propriedades, chamou-se a esse elemento a palavra “pedGoTo” seguida da abreviatura do nome da estação, por exemplo, para a estação Aeroporto, o elemento chama-se “pedGoToAer”, e definiu-se a linha na qual os passageiros devem dirigir, que neste caso é uma linha desenhada na plataforma oposta à linha referida em *PedSource*.

Para que os passageiros saiam temporariamente da simulação visual, usou-se o elemento *PedExit*, na qual se deu o nome para cada, iniciando com a palavra “pedExit” e terminando com a abreviatura do nome da estação, por exemplo, para os passageiros saírem da estação de Aeroporto, o elemento chama-se “pedExitAer”, e especificou-se o tipo de pedestre, neste caso é *Passenger*.

Para que os passageiros sejam ligados ao elemento *Pickup*, é necessário um *Queue*. Nas propriedades desse elemento que simula a fila para entrar no comboio, modificou-se o nome para que começasse com a palavra “queue” e terminasse com a abreviatura do nome da estação, por exemplo, para a mesma estação do Aeroporto, esse elemento chama-se “queueAer”. Também se definiu o tipo de entidade, que neste caso é *Passenger*, e a capacidade da fila, que neste caso inseriu-se um número relativamente grande, 20000, para que haja sempre espaço na fila para entrar no comboio. Para que a simulação ficasse o mais parecido à realidade, definiu-se o tipo de fila como FIFO (*first in first out*). Para haver uma melhor posterior análise, também se optou por coletar as estatísticas do elemento.

Para uma melhor informação estatística sobre os tempos de espera, utilizou-se o elemento *TimeMeasure*, na qual coleta informação estatística desde o *TimeMeasureStart* até ao *TimeMeasureEnd*. Optou-se por inserir a primeira a seguir à criação dos passageiros, por isso, quando um passageiro entra em espera na estação, o tempo começa a contar, e acaba antes do *Queue*, quando o passageiro entra na fila de espera para entrar no comboio. Tal como os

elementos anteriores, deu-se o nome começando pela palavra referendo ao elemento (*TimeMeasureStart* ou *TimeMeasureEnd*) e terminou-se com a abreviatura do nome da estação.

Quando há uma saída dos passageiros, o processo é inverso e mais simples, já que não é necessário tempos de espera e filas. Por isso, o processo começa quando o passageiro entra visivelmente, outra vez, no sistema, através do elemento *PedEnter*, que é ligado ao elemento *Dropoff*. Para cada elemento, modificou-se o seu nome para o nome do elemento e a abreviatura do nome da estação, à semelhança dos anteriores, definiu-se o tipo de entidade pedestre (neste caso só há um tipo - *Passenger*), e o local onde aparecem, que é a mesma linha à beira da plataforma.

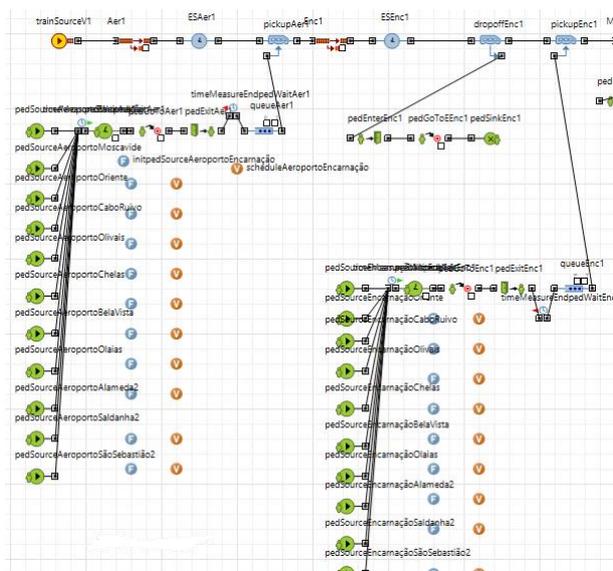
Para a simulação da saída da plataforma, usou-se mais uma vez o elemento *PedGoTo*, que tem as mesmas propriedades do elemento usado na entrada de passageiros à exceção da linha para onde se devem dirigir, que é a linha oposta à plataforma.

Tal como nos comboios, é necessário a saída dos passageiros no sistema de simulação, e para isso foi usada o elemento *PedSink*, na qual se nomeou com as mesmas disposições dos outros elementos e o mesmo tipo de entidade pedestre.

Tanto os elementos relacionados com o movimento pedestre como do movimento do comboio possuem um nome que acaba com um número árabe (1 ou 2) consoante o sentido da linha.

Com a adição destes elementos ao sistema, a sequência fica tal como representado na imagem inferior:

Esquema 4- Sequência esquemática geral do sistema



(Fonte: Elaboração própria no programa Anylogic)

4.4.5 Recolha e exportação estatística

Para que haja uma boa análise estatística, usufruiu-se do elemento *Data Set*. Com este elemento, é possível, com um comando, recolher dados estatísticos do sistema. Com o elemento *TimeMeasure*, foi possível quantificar os tempos de espera dos passageiros, mas não quantos passageiros estão na plataforma à espera ou mesmo quantas pessoas estão dentro do comboio. Então, para medir possíveis congestionamentos no sistema, usou-se esse elemento para quantificar quantos passageiros se encontram dentro do comboio, dentro do elemento *PedWait* e dentro do elemento *Queue*. É relevante mensurar os passageiros na plataforma em 2 elementos porque, como o elemento *Pickup* só recolhe os passageiros com a condição de haver lotação no comboio, há a possibilidade de haver passageiros que não conseguiram entrar no comboio e, por isso, ficaram no elemento *Queue*.

Para mensurar quantas pessoas existem no comboio, usou-se o classe “`contents().size()`” que se encontra dentro da variável representativa de cada comboio, à semelhança da condição usada no elemento *Pickup*. Portanto, sabendo que a variável usada chama-se “metro”, usou-se o comando “`metro != null ? metro.contents().size() : 0`”. Como poderá haver momentos em que não existe comboios a circular, e devido ao erro `NullPointerException`, inseriu-se a condição de se a variável “metro” for *null*, o valor será 0, senão indicará o valor dos elementos contidos dentro do comboio (neste caso, passageiros). Essa condição resulta dos operadores “`!=`” que significa a não igualdade dum valor, e também dos operadores “`?`” que avalia a expressão *boolean* (verdadeiro ou falso) antes desse operador e se for verdadeiro, executa o comando depois desse operador, se for falso, executa o comando depois do operador “`:`” (Schildt, 2006). O nome dado ao elemento foi “*PeopleInTrain*”, acrescentando um número árabe consoante o sentido (1 no sentido S. Sebastião – Aeroporto e 2 no sentido contrário). Para guardar todos os registos, optou-se por guardar os últimos 20000 registos (que equivale a 20000 minutos). Para os elementos referentes à espera dos passageiros na plataforma, as propriedades são idênticas à exceção do comando do valor do eixo vertical, usando a classe “`.size()`” de cada elemento, por exemplo, para mensurar o elemento “*pedWaitAer*” usou-se a expressão “`pedWaitAer.size()`”. Cada *Data Set* foi nomeado com a palavra “*dataset*” seguido do nome do elemento na qual o *Data Set* está a mensurar.

Até agora, o sistema apenas registou todas as mensurações, mas ainda não se consegue aceder a esses dados. Para isso, para que haja um bom tratamento dos dados, optou-se por exportar para uma folha Excel. Para isso, usou-se os elementos *Excel File* e *Function*. No elemento *Excel File*, especificou-se a diretoria do sítio onde se encontra o ficheiro Excel. Para a exportação

para o ficheiro Excel já especificado, usou-se o elemento Function na qual se usou a classe “writedataset”, na qual temos de especificar qual o *Data Set* específico, o número da folha, o número da coluna e o número da linha onde começa os registos. Por exemplo, para exportar os registos do *Data Set* “datasetpedWaitSSeb”, inseriu-se o código “excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitSSeb, 1, 1, 1);”. Para uma melhor organização dos dados relativos ao espaço temporal semanal (H1 e H5), decidiu-se simular um dia semanal de cada vez, já que um dia é independente de outro. Para a exportação de cada dia semanal, mudou-se o número da folha, começando com 2ª feira (1) e acabando no domingo (7).

4.4.6 Inicialização das funções

Com as funções já feitas, é necessário inicializá-las. Para isso, nas ações dos agentes da entidade *Main*, inicializou-se todas as funções relacionadas com o elemento *PedSource* nas ações de começo. Para isso, basta escrever o nome da função e, como não é necessário inserir inputs adicionais, abre-se e fecha-se parêntesis, seguido do operador “;” para executar função. Por exemplo, para executar a função “initpedSourceSãoSebastião2Saldanha2”, basta inserir o comando “initpedSourceSãoSebastião2Saldanha2();”. Para a função relacionada com a exportação estatística, inseriu-se do mesmo modo nas ações de finalização.

4.4.7 Calibração do modelo

Para que o modelo seja o mais fiel à realidade possível, é necessário ajustar certos parâmetros que, ao simular, denotou-se que não estão de encontro com a realidade. Com a operacionalização do modelo, verificou-se que o comboio demorava pouco mais de 10 segundos a fazer a viagem entre estações. Por isso, desceu-se a velocidade de cruzeiro para 2m/s, para que o comboio demore uma média de 1 minuto na viagem.

4.4.8 Validação dos resultados da simulação

Com a amostra recolhida, foi originado 3 tipos de outputs:

- Quantidade de pessoas presentes em cada plataforma (exceto as plataformas da última estação da linha) em cada minuto;
- Tempo que cada passageiro demorou desde que entrou sistema até o comboio chegar;
- Número de pessoas presentes no comboio;

Todos os outputs registam o número respetivo de informação ao lado de cada minuto simulado, exceto para o 2º ponto, que indica o tempo que o passageiro demorou até entrar e o minuto na qual aconteceu.

Em primeiro lugar, calculou-se o coeficiente de variação dos outputs para cada dia útil da semana, para que possa ser possível fazer uma média dos dias úteis. Se apenas uma minoria dos coeficientes for superior a 23%, já que os mesmos não podem ser considerados (Patel et al., 2001), pode-se concluir que não há uma grande dispersão dos resultados. Sendo assim, pode-se calcular a média dos dias úteis para fins de simplificação.

Os resultados são assinalados na Tabela 5.

Tabela 5- Coeficientes de variação do output

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	14%	14%
3-6%	31%	45%
6-9%	11%	56%
9-12%	14%	69%
12-15%	12%	81%
15-18%	6%	87%
18-21%	3%	90%
21-23%	1%	91%
>23%	9%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tal como se pode observar na Tabela 5, aproximadamente 1/10 dos valores não podem ser considerados. Sendo este valor um valor alto, procedeu-se então a analisar cada dia da semana individualmente.

Para a validação do modelo, comparou-se o modelo de simulação à amostra real (Patel et al., 2001; Tong et al., 2013), verificou-se se apresentam a mesma tendência (Van Der Spek et al., 2018) e usou-se o teste Kolmogorov–Smirnov para 2 amostras (Toledo et al., 2010).

Comparando os resultados da amostra real (entradas de passageiros na estação e os passageiros que entraram na estação para mudar de linha) com a amostra dos outputs da simulação (passageiros presentes na plataforma) através do coeficiente de variação, tal como nos exemplos anteriores, é preciso observar qual o rácio dos coeficientes de variação superiores a 23%.

Como se pode denotar das tabelas presentes nas tabelas 19 a 25 do Anexo A6, 2ª feira regista que 2,6% dos valores não são admissíveis, 3ª feira regista 3%, 4ª feira 7%, 5ª feira 5%, 6ª feira 6% e sábado e domingo 4%. Podemos então concluir que a simulação com um maior grau de

erro é 4ª feira, sendo 7% dos resultados não admissíveis. Onde existe um maior rigor da simulação é 2ª feira, onde apenas 2,6% dos valores são inadmissíveis.

Para a tendência dos valores, como se pode observar através dos gráficos 36 a 84 presentes no Anexo A7, os valores de simulação acompanham na generalidade a tendência da amostra real para todos os tipos de horário. No dia da semana onde o coeficiente de variação denotou uma maior divergência, 4ª feira, é possível observar que essa divergência ocorre devido a uma sobrestimação por parte da simulação na primeira classe horária (das 6h30 até às 7h30), seguido duma subestimação até às 9h30 nas plataformas de S. Sebastião, Saldanha e Alameda no sentido S. Sebastião-Aeroporto.

Para o teste Kolmogorov–Smirnov para 2 amostras, analisou-se as seguintes hipóteses:

$H_0: \mu_i = \mu_j$ vs $H_1: \mu_i \neq \mu_j$ ($i \neq j$ e $i, j = \{\text{modelo real, modelo simulado}\}$)

Tabela 6- Teste Kolmogorov–Smirnov entre o modelo simulado e o real

Hipótese Nula	Teste	Sig.	Decisão
A distribuição da amostra Passageiros é a mesma nas categorias Simulação/Real.	Independent-Samples Kolmogorov-Smirnov Test	,729	Não Rejeitar a Hipótese Nula.

(Fonte: Elaboração própria)

Como se pode observar na tabela 6, não se pode rejeitar a hipótese nula com um grau de confiança de 95%. Por isso, tanto o modelo real como o modelo simulado pertencem à mesma distribuição.

Com estes 3 testes, é possível validar os valores da simulação.

4.5 Caracterização da Amostra

Tal como referido no capítulo 3, o Metro de Lisboa enviou os dados das entradas e saídas de passageiros por estação, tipo horário e dia da semana de dezembro de 2016 até novembro de 2017. Através dum Livro de Excel, foi registado em cada folha um dia da semana e dentro de cada dia, está registado uma matriz origem/destino de todas as estações. A parte da origem está decomposta por períodos do dia, sendo os mesmos chamados de Antes da Ponta da Manhã (6h-7h30), Ponta da Manhã (7h30-9h30), Final da Manhã (9h30-12h), Período de Almoço (12h-14h30), Início da Tarde (14h30-17h), Ponta da Tarde (17h-20h) e Noite (20h-1h). A interceção da estação de origem com a estação de destino, está registado o número de passageiros que se verificou nessa viagem.

Com esses dados, já se é possível fazer uma análise da situação atual.

Com isto, é possível verificar as diferenças da procura pelo número de entrada de passageiros por hora e por estação entre os dias de semana entre as 4 linhas por carga horária.

Como se pode verificar nos gráficos 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 presentes no Anexo A1, existe uma estagnação da entrada de passageiros nos dias úteis de semana para todos os tipos de horário e linhas, com um abruito decréscimo para os dias de fim de semana. Uma exceção é o período de noite, na qual existe um ligeiro acréscimo 6^a e um decréscimo menos abruito no fim de semana. Também é possível denotar que desde o início da operação até às 9h30, das 12h até às 14h30 e das 17h até às 20h, a linha amarela é a linha na qual entra mais passageiros nos dias úteis, seguido da linha verde, azul e vermelha (exceto das 6h-7h30 na qual a linha azul ultrapassa a verde). Nos restantes casos, a linha verde é a linha com mais entradas, seguido da linha amarela, azul e vermelha (exceto no último período de operação na qual a linha azul passa a linha verde). A linha vermelha é assim a linha com menos procura nos dias de semana e a 2^a menos procurada no fim de semana.

Estes valores apenas são válidos se se estiver a analisar as entradas por estação, já que nos resultados globais, como a linha azul tem mais estações que as outras (18 em comparação com 13 da linha verde e amarela e 12 da linha vermelha), terá mais entradas de passageiros.

Embora haja um decréscimo na procura entre os dias de semana e o fim de semana, muitas vezes os tempos de espera máximos são semelhantes ou os mesmos, como se pode observar no Gráfico 22 do Anexo A2, que compara os tempos de frequência de comboios, em minutos, das linhas entre dias úteis (DU) e fim de semana (FDS). Como se pode observar no mesmo gráfico, o Metro regista intervalos de comboio quando começa a operação na linha vermelha de 9m45s e aumenta a sua frequência de comboios a partir das 7h, e 16h30, ficando com 6m15 de tempo de espera máximo nesses períodos nos dias úteis.

Mesmo sendo o mínimo do Metro de Lisboa, os outros países da Europa conseguem um tempo de espera menor. Para as 8h, o metro de Paris tem o seu mínimo tempo de espera na linha 1, com 2 minutos (RATP, 2019), no metro de Madrid na linha 3 com 2 minutos (Metro Madrid, 2019), no metro de Londres com tempos de espera de 2 minutos nas linhas Bakerloo, Central, Jubilee, Northern, Piccadilly e até esperas de 1 minuto em alguns momentos na linha Victoria (Transport for London, 2019), e 4 minutos na linha U2 e U3 do Metro de Berlim (BVG, 2019).

Tal como se pôde observar, na Tabela 7, a variação entre os dias úteis na procura não é grande. Em termos de dispersão, apenas 1% de todos os coeficientes de variação calculados entre os dias úteis e fins de semana registam valores superiores a 23%.

Tabela 7- Classes e percentagem de Coeficientes de variação

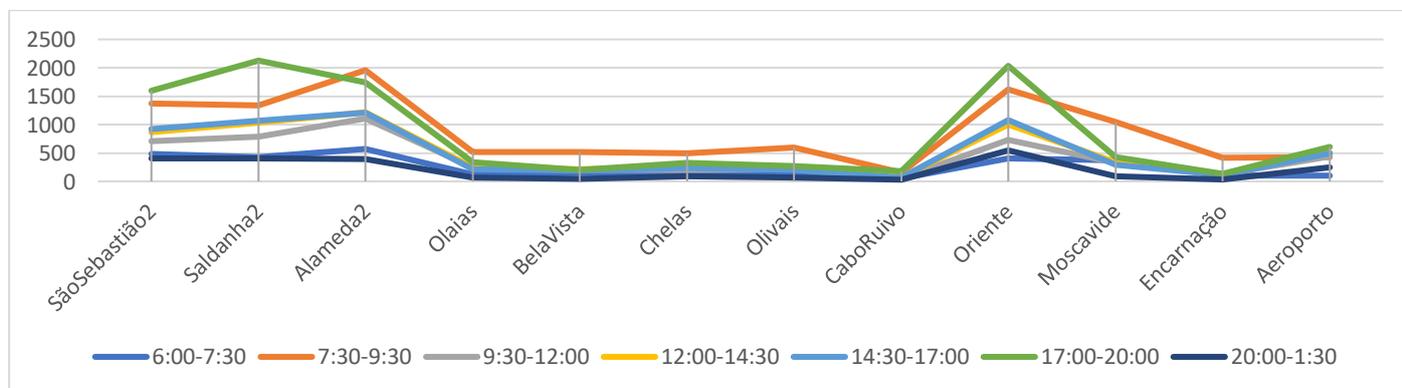
Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	19%	19%
3-6%	34%	53%
6-9%	22%	75%
9-12%	13%	89%
12-15%	6%	95%
15-18%	2%	97%
18-21%	1%	98%
21-23%	1%	99%
>23%	1%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Decidiu-se, portanto, fazer a média dos dias úteis nas próximas comparações.

Com os dados das entradas que inclui as entradas de cada estação e todos os passageiros com origem na linha azul e com destino à linha vermelha na estação de São Sebastião, na linha amarela na estação Saldanha e linha verde na estação Alameda, como é possível observar no Gráfico 5, pode-se concluir que a estação que movimenta mais passageiros é Saldanha na ponta da tarde (aproximadamente 2127 passageiros) e Alameda nos restantes horários, embora haja também valores semelhantes para a estação de São Sebastião e Oriente.

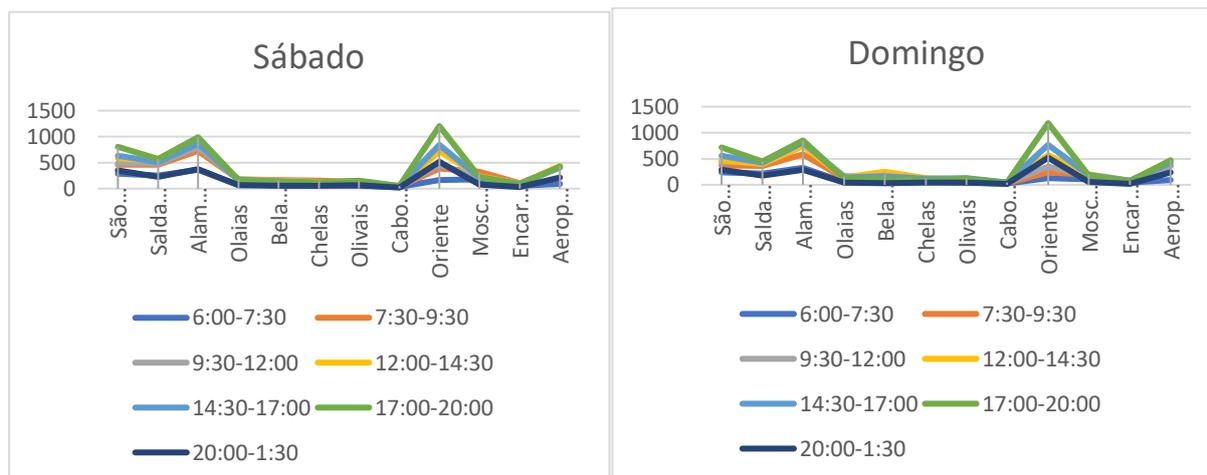
Gráfico 5- Número de Entradas Totais na plataforma nos Dias Úteis



(Fonte: Elaboração própria)

Para as movimentações no fim de semana, o valor máximo situa-se na estação do Oriente para todos os períodos horários exceto no primeiro, tal como se observa no Gráfico 6.

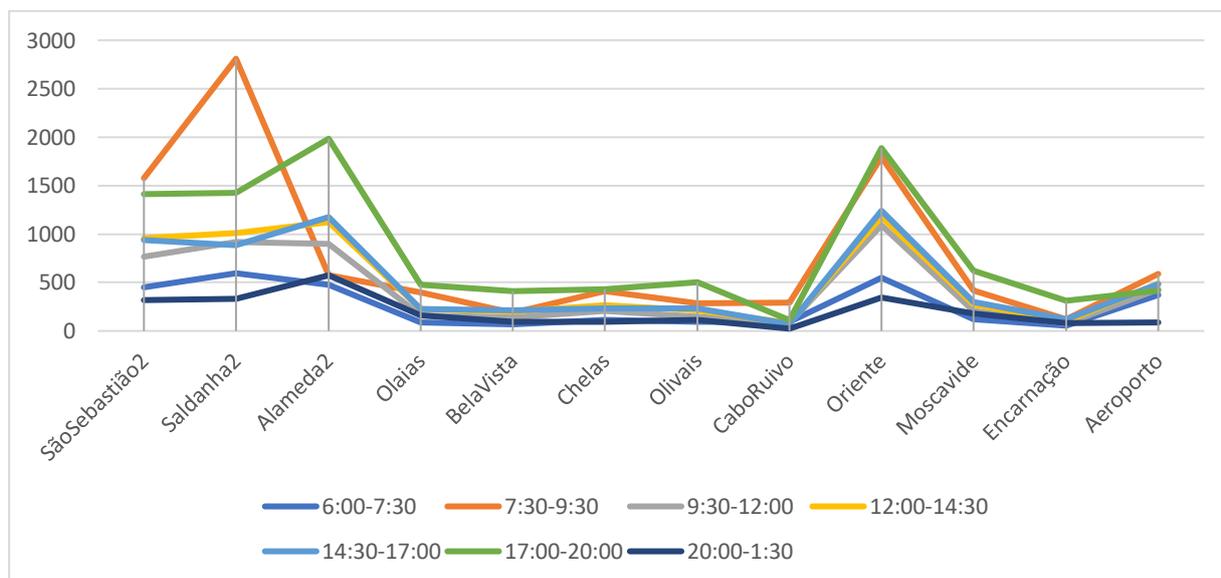
Gráfico 6- Número de Entradas Totais na plataforma nos fins de semana



(Fonte: Elaboração própria)

Para as saídas por plataforma por hora, nos dias úteis, a estação Saldanha é a estação com mais saídas, registando aproximadamente 2810 saídas por hora na ponta da manhã, tal como se pode observar no Gráfico 7.

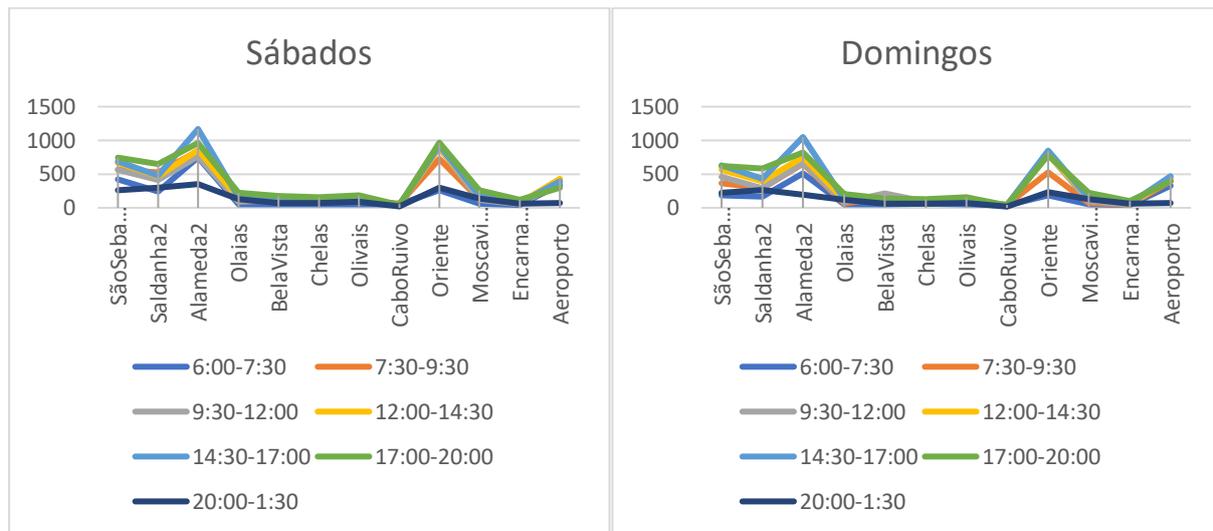
Gráfico 7- Número de Saídas Totais na Plataforma nos Dias Úteis



(Fonte: Elaboração própria)

Para os fins de semana, regista-se mais saídas na estação de Alameda e Oriente.

Gráfico 8- Número de Saídas Totais na Plataforma aos fins de semana



(Fonte: Elaboração própria)

Tal como descrito no capítulo anterior, foi usado grafos para representar as movimentações dos passageiros. Uma das vantagens dos grafos em comparação com os gráficos descritos anteriormente é poder analisar o sentido na qual os passageiros viajam, sendo que quanto mais espessa está a seta, mais passageiros viajam nesse sentido.

Como se pode verificar através da figura 4 presente no Anexo A4, as viagens feitas nos dias úteis registam um número elevado entre a estação Oriente e as estações de Saldanha e Alameda. Para o fim de semana, como se verifica na figura 5 do Anexo A4, consegue-se denotar que as estações com transbordos, como Oriente e Aeroporto, tem um papel mais significativo, especialmente Aeroporto. As estações com mudança de linha, como Saldanha e Alameda são as principais origens com destino a Aeroporto até às 7:30. A partir daí, Aeroporto passa a ser também uma estação com mais viagens de origem. Depois das 9:30, Oriente passa a ser a principal paragem de destino com as estações de mudança de linha as principais de origem e, a partir da tarde, o sentido inverso é o mais comum, com a exceção do período noturno onde a estação Aeroporto passa a ser o principal destino.

Nos grafos já é possível denotar que há um número significativo de passageiros a realizar viagens mais longas na linha, mas esse facto é mais notório ao analisar o gráfico de bolhas. Tal como explicado no capítulo 3, em cada eixo está representada uma estação da linha, sendo 0 a estação São Sebastião, 1 a estação Saldanha e acabando no 11 que representa a estação Aeroporto. Os números de cada estação estão representados na tabela 18 presente no Anexo A5.

Como se pode observar, nos gráficos 29 a 35 do Anexo A5, existe um grande número de viagens entre as 3 estações de mudança de linha e Oriente, tanto nos dias úteis, como no fim de semana. As viagens mais pequenas registam-se entre as estações de mudança de linha (S. Sebastião, Saldanha e Alameda) ou entre as últimas estações (Oriente, Moscavide e Aeroporto).

4.6 Análise dos Outputs da Simulação

4.6.1 Número de passageiros em espera

Através dos gráficos 85 a 89 contidos no Anexo A8, é possível observar o número de passageiros em espera em cada plataforma por hora e dia da semana resultante da simulação, sendo estes os mesmos dados que foram usados na validação da simulação.

Semelhante ao número de entradas de passageiros por estação, já analisados anteriormente, os principais picos acontecem na ponta da manhã e na ponta da tarde e existe um maior número de pessoas em espera nas estações do Oriente, as 3 estações de mudança de linha e Moscavide nos dias úteis.

Tal como também já foi analisado, os resultados do fim de semana são muito diferentes, como se verifica nos gráficos 90 e 91 do Anexo A8. Existe um menor número de passageiros para sábado e ainda menor para domingo. Já não existe um pico de manhã, apenas de tarde.

No sábado, as plataformas com um maior número de passageiros são Alameda com destino a Aeroporto, S. Sebastião, Aeroporto e Oriente com destino a S. Sebastião, esta última destaca-se mais no período da tarde.

No domingo, a análise é semelhante, apenas com um relativo mais destaque para a plataforma de Alameda de manhã e Oriente à tarde.

4.6.2 Número de passageiros dentro do comboio

Com os dados do número de pessoas dentro do comboio, através dos gráficos 92 e 93 presentes no Anexo A9, é possível denotar que de manhã, existem mais passageiros dentro do comboio com destino a S. Sebastião (havendo um pico de 471 passageiros 4ª feira) do que com destino a Aeroporto (o maior pico acontece 2ª com 401).

À tarde, regista-se o inverso, o comboio com destino a Aeroporto regista picos maiores (como o de 6ª feira com 557 passageiros), que o com destino a S. Sebastião (como o de 4ª feira com 441 passageiros).

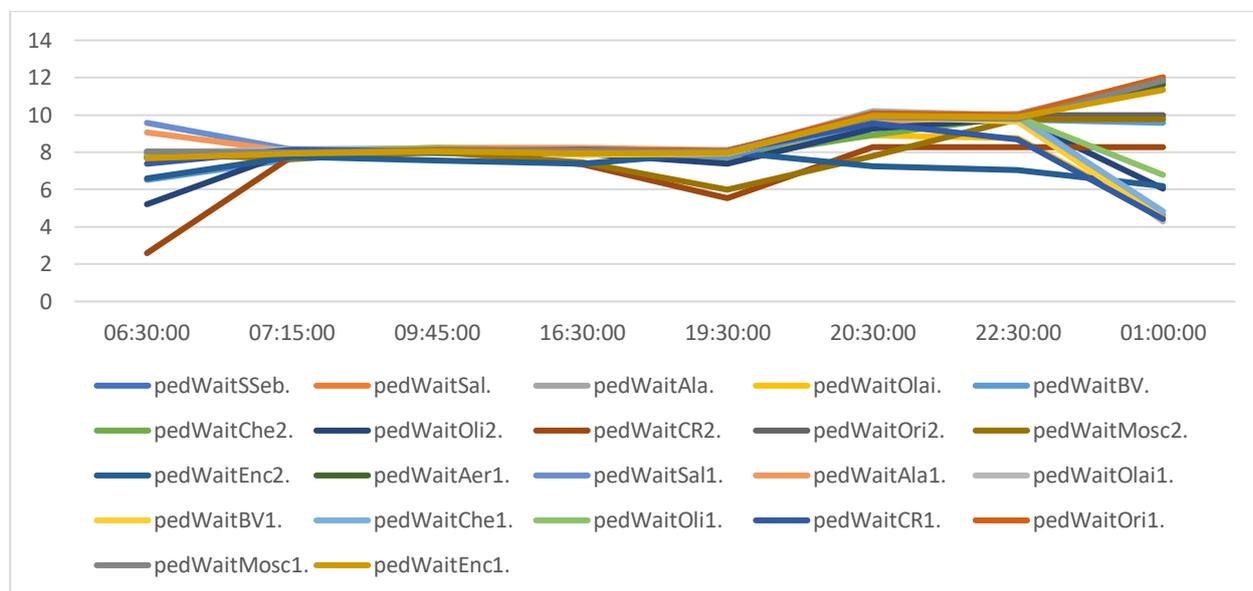
4.6.3 Tempo de espera pelo comboio

Para analisar o tempo máximo e médio que cada passageiro tem de esperar desde que entra na plataforma até à entrada na carruagem, fez-se uma tabela de coeficiente de variação e, tal como se refere as tabelas 15 e 16 contidas no Anexo A12, 5% dos tempos máximos dos dias úteis e 1% dos tempos médios não podem ser utilizados (têm um coeficiente maior que 23%). Tal como é uma percentagem baixa, decidiu-se usar a média dos valores dos dias úteis por motivos de simplificação.

Como se pode observar no gráfico 9, os tempos de espera máximo nos dias úteis encontra-se entre os 5 e 7 minutos entre as 7h15 e 9h45, antes disso, todas as plataformas exceto Caibo Ruivo, Encarnação e Olivais com destino a Aeroporto registam tempos maiores, aproximadamente 8min30. A partir da ponta da manhã, a maioria dos tempos sobem até às 22:30h, alcançando valores entre os 8min30 e 9min45.

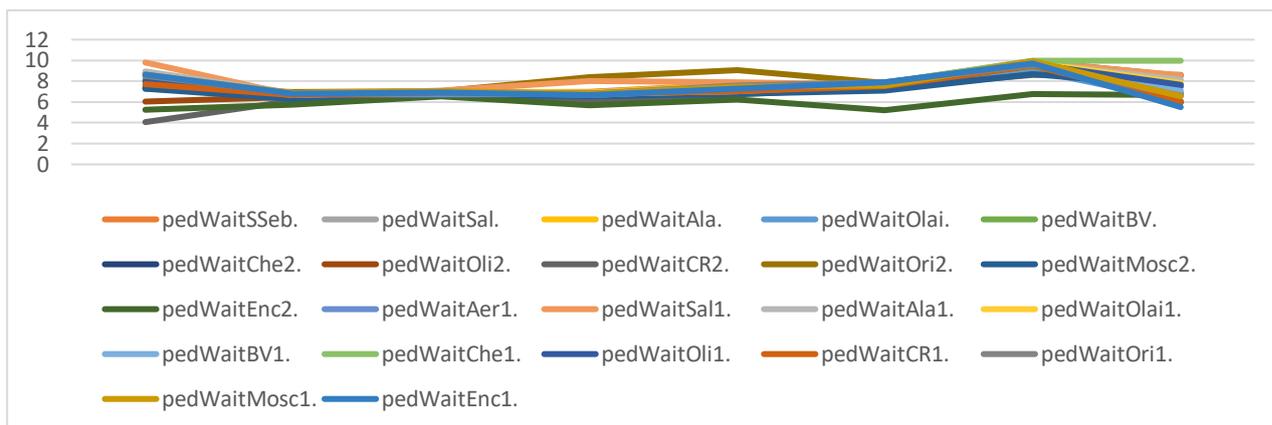
Para o fim de semana a tendência é semelhante, embora os tempos de espera sejam diferentes. Das 7h15 até às 19h30 os tempos de espera máximos estão situados entre os 7 e 8 min, aumentando até aos 10min a partir daí, como se pode verificar nos gráficos 10 e 11.

Gráfico 9- Tempo de espera máximo nos dias úteis



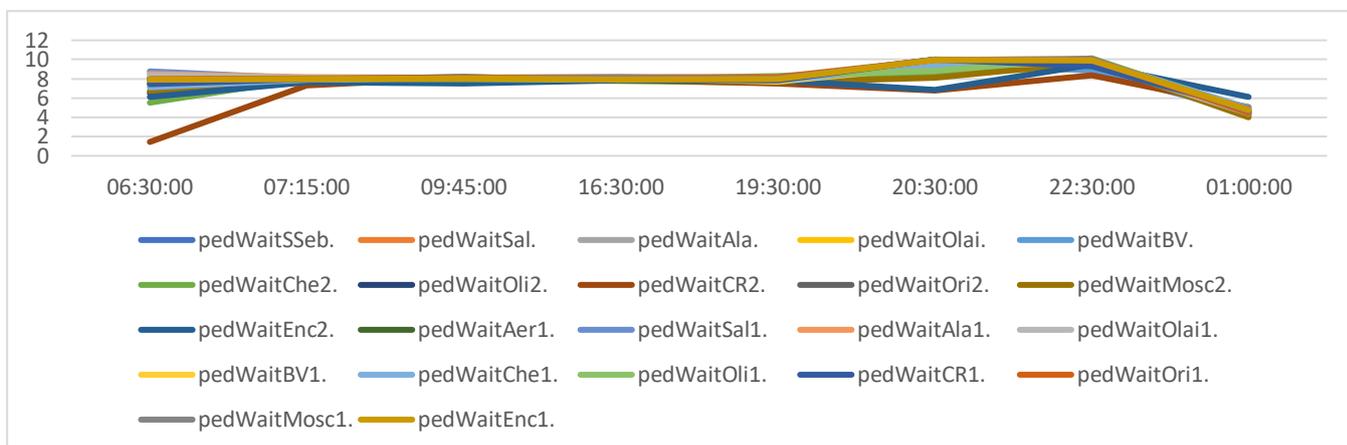
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 10- Tempo de espera máximo nos Sábados



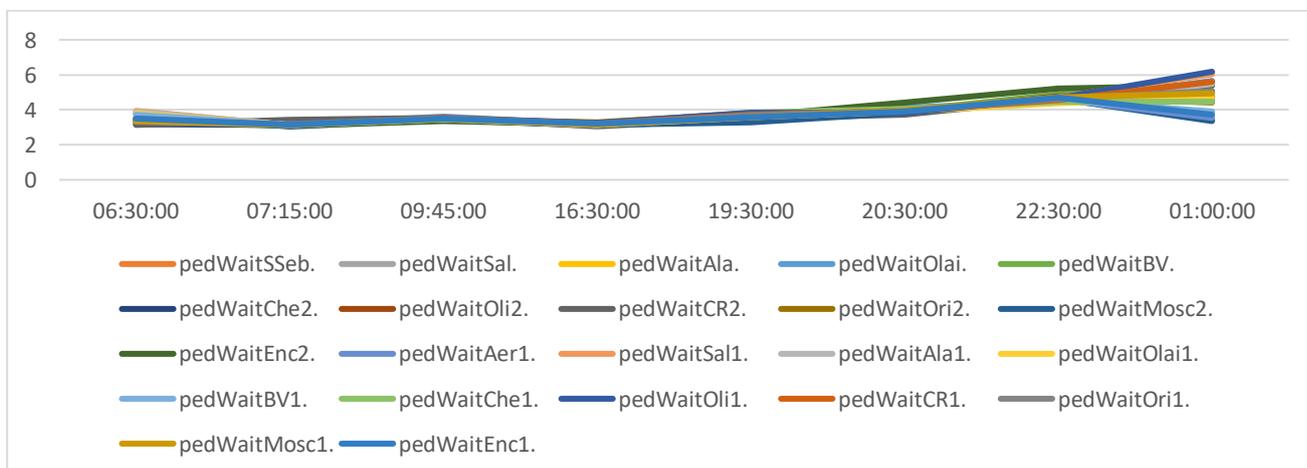
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 11- Tempo de espera máximo nos Domingos



Para os tempos médios nos dias úteis os valores situam-se entre os 3 e 4 minutos até às 19h40. A partir daí e até o fecho, os tempos vão aumentando, chegando até aos 5 min de tempo de espera médio, como se pode verificar no gráfico 12.

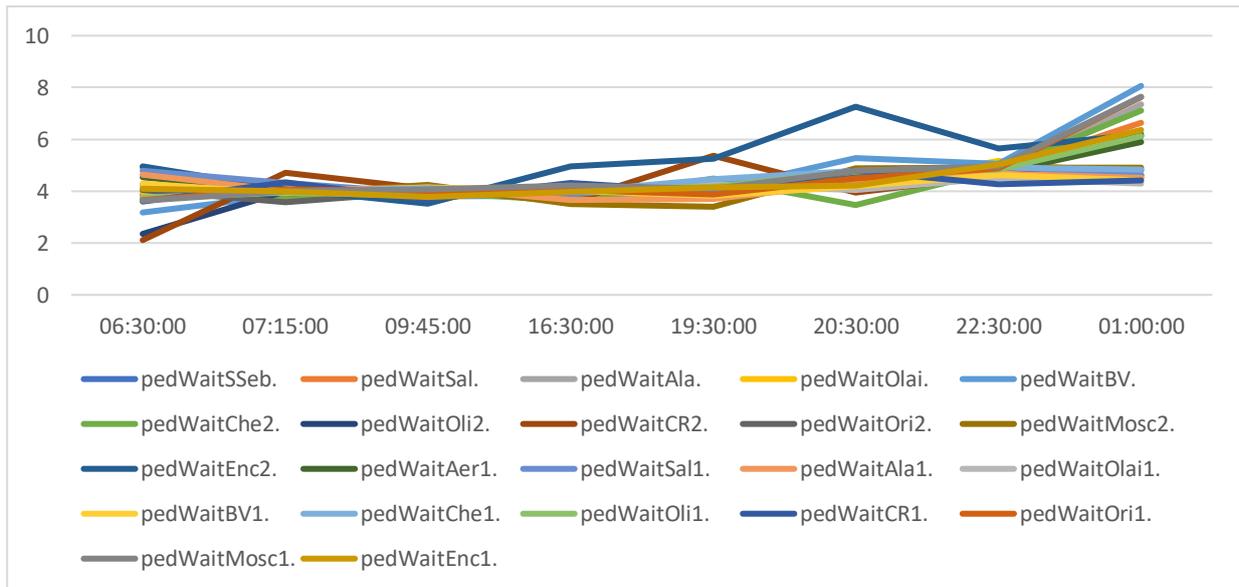
Gráfico 12- Tempo de espera médio nos dias úteis



(Fonte: Elaboração própria)

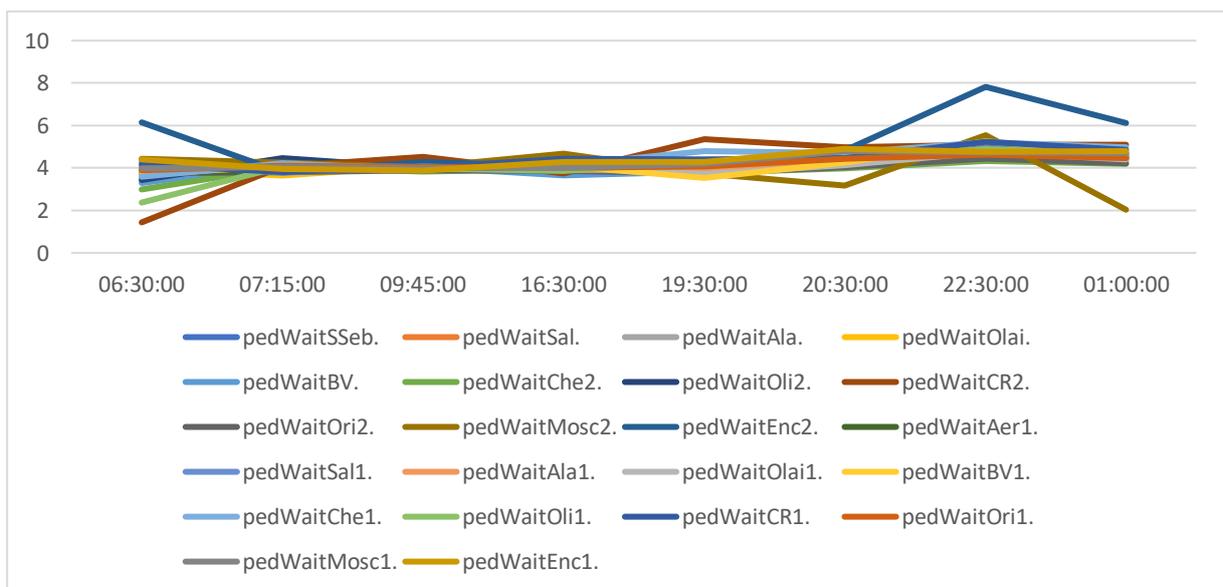
Para o fim de semana, os tempos não são tão homogêneos entre as plataformas no sábado, tendo Encarnação o maior tempo de espera médio, cerca de 7 minutos, tal como se pode observar no Gráfico 13. Domingo apresenta um registo semelhante, a maioria tem um tempo muito constante entre os 4 e 5 min, mas Encarnação ou Cabo Ruivo com destino a Aeroporto tem alguns picos, como das 20:30 até às 22h30 Encarnação apresentar um tempo de espera médio de 7m30, como se pode verificar no gráfico 14.

Gráfico 13- Tempo de espera médio nos sábados



(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 14- Tempo de espera médio nos domingos



(Fonte: Elaboração própria)

4.7 Análise das Hipóteses de Investigação

4.7.1 Análise de Hipóteses

Tal como foi referido no Capítulo 3, para fazer a análise de hipóteses é preciso primeiramente testar se as variáveis dependentes seguem distribuição normal e se são homogéneas.

A base de dados inserida no SPSS contempla 4 variáveis independentes como o tipo de horário, o dia de semana, a Plataforma e o Intervalo temporal entre comboios e 3 variáveis dependentes como o número de passageiros, o tempo de espera médio e o tempo de espera máximo, estas 2 últimas para analisar as hipóteses referentes ao tempo de espera.

Ao realizar o teste Kolmogorov-Smirnov, tal como refere a tabela presente na tabela 8, o nível de significância é sempre inferior a 5%, rejeitando a hipótese nula de as variáveis seguirem uma distribuição normal. Por isso, os testes terão de ser não paramétricos.

Tabela 8- Teste da normalidade às variáveis dependentes

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	df	Sig.
Número de passageiros	,231	1078	,000	,705	1078	,000
Tempo de espera médio	,116	1078	,000	,955	1078	,000
Tempo de espera máximo	,107	1078	,000	,961	1078	,000

a. Lilliefors Significance Correction

(Fonte: Elaboração própria)

4.6.2.1 Variável Tempo de Espera segundo o Intervalo temporal entre comboios

Para analisar a variável do tempo de espera (tanto máximo como médio), usou-se o Coeficiente de Correlação de Spearman para medir a associação entre esse conjunto de variável e o Intervalo temporal entre comboios, já que é o teste de associação não paramétrico para 2 variáveis quantitativas (Marôco & Ludbrook, 2011).

Tal como se pode observar, o tempo de espera médio tem um coeficiente de 0,39, como se pode verificar na tabela 9 e o tempo de espera máximo de 0,386, como se pode verificar na tabela 10.

Tabela 9- Coeficiente de correlação entre Tempo de espera médio e Intervalo Temporal entre comboios

			Tempo de espera médio	Intervalo temporal entre Comboios
Spearman's rho	Tempo de espera médio	Coeficiente de Correlação	1,000	,390
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	1078	1078
	Intervalo temporal entre Comboios	Coeficiente de Correlação	,390	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	1078	1078

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 10- Coeficiente de correlação entre Tempo de espera máximo e Intervalo Temporal entre comboios

			Tempo de espera máximo	Intervalo temporal entre Comboios
Spearman's rho	Tempo de espera médio	Coeficiente de Correlação	1,000	,386
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	1078	1078
	Intervalo temporal entre Comboios	Coeficiente de Correlação	,386	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	1078	1078

(Fonte: Elaboração própria)

Tal como refere Taylor (1990), ambos os coeficientes apresentam correlações moderadas. Ou seja, a variável tempo de espera não está associada com uma grande intensidade ao intervalo temporal entre comboios, mas existe alguma associação. Por isso, embora não apresente uma forte associação, não se pode rejeitar a hipótese H4.

4.6.2.2 Variável Número de Passageiros na Plataforma segundo o Intervalo temporal entre comboios

Para medir associação entre a variável do Número de Passageiros na plataforma e o intervalo temporal entre comboios, tal como no ponto anterior, usou-se o Coeficiente de Correlação de Spearman.

Tabela 11- Coeficiente de correlação entre o Número de Passageiros na Plataforma e Intervalo Temporal entre comboios

			Número de Passageiros	Intervalo temporal entre Comboios
Spearman's rho	Tempo de espera médio	Coeficiente de Correlação	1,000	-,282
		Sig. (2-tailed)	.	,000
		N	1078	1078
	Intervalo temporal entre Comboios	Coeficiente de Correlação	-,282	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	.
		N	1078	1078

(Fonte: Elaboração própria)

Como se pode constatar na tabela 11, há uma associação fraca entre as variáveis (Taylor, 1990). Por isso, rejeita-se a hipótese H8.

4.6.2.3 Variável Tempo de Espera segundo o dia da semana

Para a análise das seguintes variáveis e hipóteses, usou-se a análise de hipóteses. Para a variável Tempo de Espera segundo o dia da semana, para analisar a hipótese H1, testou-se as seguintes hipóteses:

H0: $\mu_i = \mu_j$ vs H1: $\mu_i \neq \mu_j$ ($i \neq j$ e $i, j = \{2^a, 3^a, 4^a, 5^a, 6^a, \text{Sábado ou Domingo}\}$)

Já que o teste é não paramétrico, usou-se o teste Kruskal-Wallis.

Tanto para o Tempo de Espera Médio como do Máximo, a significância estatística é 0,000, tal como mostra a tabela 12, por isso, rejeita-se as hipóteses nulas, concluindo que existe uma influência do dia da semana no tempo de espera dos passageiros.

Tabela 12- Teste Kruskal-Wallis para dia da semana segundo o Tempo de Espera

	Hipótese Nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Tempo de espera médio é a mesma nas categorias de Dia da semana.	Teste Kruskal-Wallis	,000	Rejeitar a Hipótese Nula.
2	A distribuição de Tempo de espera máximo é a mesma nas categorias de Dia da semana.	Teste Kruskal-Wallis	,000	Rejeitar a Hipótese Nula.

(Fonte: Elaboração própria)

Fazendo uma análise Post-hoc Tukey, já que é o melhor para amostras superiores a 30 (Marôco & Ludbrook, 2011), para a variável Tempo de Espera médio, como se observa na tabela 45 do

Anexo A11, verificamos que as amostras que têm os mesmos pares de médias são entre os dias úteis e os fins de semana.

Para uma análise Post-hoc para o Tempo de Espera Máximo, como se verifica na tabela 46 do mesmo anexo, observamos que os pares de médias são iguais para Sábado e Domingo e para os dias úteis exceto 5ª feira.

Com isto, é possível verificar que existem padrões nos tempos de espera nos dias de semana, validando a Hipótese H1.

4.6.2.4 Tempo de espera segundo a Hora

Para analisar a hipótese H2, elaborou-se as seguintes hipóteses:

H0: $\mu_i = \mu_j$ vs H1: $\mu_i \neq \mu_j$ ($i \neq j$ e $i, j = \{\text{Antes da Ponta da Manhã, Ponta da Manhã, Fim da Manhã, Período de Almoço, Início da Tarde, Ponta da Tarde ou Noite}\}$)

Tal como se pode observar na tabela 13, tanto para o Tempo de Espera Médio como do Máximo, a significância estatística é nula, rejeitando as hipóteses nulas com uma confiança de 95%.

Tabela 13- Teste Kruskal-Wallis para o Período Horário segundo o Tempo de Espera

	Hipótese Nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Tempo de espera médio é a mesma nas categorias de Hora.	Teste Kruskal-Wallis	,000	Rejeitar a Hipótese Nula.
2	A distribuição de Tempo de espera máximo é a mesma nas categorias de Hora.	Teste Kruskal-Wallis	,000	Rejeitar a Hipótese Nula.

(Fonte: Elaboração própria)

Por isso pode-se constatar que o tipo horário influencia o tempo de espera.

Ao realizar o teste Post-hoc Tukey, presentes nas tabelas 47 e 48 do Anexo A11, pode-se observar que o tipo horário com a mesma distribuição que o tempo médio de espera são a Ponta da Manhã e Tarde, a Antes da Ponta da Manhã, Período de Almoço e Início da Tarde. O período da Noite não tem a mesma distribuição com nenhuma dos outros períodos.

Para o tempo de espera máximo, os períodos com a mesma distribuição são a Ponta da Manhã, Fim da Manhã, Período de Almoço e Início da Tarde. Os restantes períodos não apresentam distribuições iguais.

Com isto, é possível verificar que existem padrões nos períodos horários, validando a hipótese H2.

4.6.2.5 Tempo de espera segundo a Estação de Partida

Para que se possa analisar a hipótese H3, redigiu-se as seguintes hipóteses:

H0: $\mu_i = \mu_j$ vs H1: $\mu_i \neq \mu_j$ ($i \neq j$ e $i, j = \{pedWaitSSeb, pedWaitSal, pedWaitAla, pedWaitOlai, pedWaitBV, pedWaitChe2, pedWaitOli2, pedWaitCR2, pedWaitOri2, pedWaitMosc2, pedWaitEnc2, pedWaitAer1, pedWaitSal1, pedWaitAla1, pedWaitOlai1, pedWaitBV1, pedWaitChe1, pedWaitOli1, pedWaitCR1, pedWaitOri1, pedWaitMosc1$ ou $pedWaitEnc1\}$)

Realizando-se o teste Kruskal-Wallis, tal como refere a tabela 14, não é possível rejeitar a hipótese nula referente ao tempo de espera médio, mas já é possível para o tempo de espera máximo.

Tabela 14- Teste Kruskal-Wallis para as Plataformas segundo o Tempo de Espera

	Hipótese Nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Tempo de espera médio é a mesma nas categorias de Plataforma.	Teste Kruskal-Wallis	1,000	Não Rejeitar a Hipótese Nula.
2	A distribuição de Tempo de espera máximo é a mesma nas categorias de Plataforma.	Teste Kruskal-Wallis	,000	Rejeitar a Hipótese Nula.

(Fonte: Elaboração própria)

Sendo assim, pode-se concluir que a plataforma influencia os tempos de espera máximos, mas não se consegue concluir o mesmo para os tempos de espera médios, não sendo assim possível validar a hipótese H3.

4.6.2.6 Número de Pessoas na Plataforma segundo o Dia da Semana

Para que se possa analisar a hipótese H5, fez-se o teste Kruskal-Wallis para as seguintes hipóteses:

H0: $\mu_i = \mu_j$ vs H1: $\mu_i \neq \mu_j$ ($i \neq j$ e $i, j = \{2^a, 3^a, 4^a, 5^a, 6^a, \text{Sábado ou Domingo}\}$)

Sendo que neste caso, a amostra já se refere ao número de pessoas na plataforma, não ao tempo de espera que foi previamente testado.

Como se pode observar na tabela 15, rejeita-se a hipótese nula, indicando que o dia da semana influencia o número de passageiros.

Tabela 15- Teste Kruskal-Wallis para o Dia da Semana segundo o número de passageiros na plataforma

	Hipótese Nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Nº de passageiros é a mesma nas categorias de Dia da semana.	Teste Kruskal-Wallis	,000	Rejeitar a Hipótese Nula.

(Fonte: Elaboração própria)

Tal como nos tempos de espera médios, os fins de semana e dias úteis têm a mesma distribuição, como é possível verificar na tabela 49 presente no Anexo A11. Com isto, é possível verificar que existem padrões para o congestionamento de passageiros nos dias de semana, sendo eles entre os dias úteis e os fins de semana, validando assim a hipótese H5.

4.6.2.7 Número de Pessoas na Plataforma segundo a Hora

Semelhantemente aos tempos de espera, as hipóteses analisadas no teste Kruskal-Wallis referentes à amostra do número de pessoas na plataforma são:

$H_0: \mu_i = \mu_j$ vs $H_1: \mu_i \neq \mu_j$ ($i \neq j$ e $i, j = \{\text{Antes da Ponta da Manhã, Ponta da Manhã, Fim da Manhã, Período de Almoço, Início da Tarde, Ponta da Tarde ou Noite}\}$)

Como se consegue reparar na tabela 16, rejeitamos a hipótese nula, concluindo que o dia da semana têm influência no congestionamento dos passageiros.

Tabela 16- Teste Kruskal-Wallis para o Período Horário segundo o número de passageiros na plataforma

	Hipótese Nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Nº de passageiros é a mesma nas categorias de Hora.	Teste Kruskal-Wallis	,000	Rejeitar a Hipótese Nula.

(Fonte: Elaboração própria)

No teste Post-hoc, presente na tabela 50 do Anexo A11, é possível verificar que todas os períodos têm a mesma distribuição exceto o período de Antes da Ponta da Manhã e Noite. Existe, principalmente, uma menor diferença no par de médias nos períodos de entre o Fim da Manhã até o início da Tarde e a Ponta da manhã e tarde (das 9h30 até às 17h).

Com isto, é possível concluir que existe um padrão horário, validando assim a hipótese H6.

4.6.2.8 Número de Pessoas na Plataforma segundo a Estação de Partida

Na realização do teste Kruskal-Wallis, redigiu-se as seguintes hipóteses:

$H_0: \mu_i = \mu_j$ vs $H_1: \mu_i \neq \mu_j$ ($i \neq j$ e $i, j = \{\text{pedWaitSSeb, pedWaitSal, pedWaitAla, pedWaitOlai, pedWaitBV, pedWaitChe2, pedWaitOli2, pedWaitCR2, pedWaitOri2, pedWaitMosc2, pedWaitEnc2, pedWaitAer1, pedWaitSal1, pedWaitAla1, pedWaitOlai1, pedWaitBV1, pedWaitChe1, pedWaitOli1, pedWaitCR1, pedWaitOri1, pedWaitMosc1 ou pedWaitEnc1}\}$)

Como se pode verificar através da tabela 49, rejeita-se a hipótese nula, concluindo que a estação de partida influencia o número de passageiros, validando a hipótese H_1 .

Tabela 17- Teste Kruskal-Wallis para a Plataforma segundo o número de passageiros na plataforma

	Hipótese Nula	Teste	Sig.	Decisão
1	A distribuição de Nº de passageiros é a mesma nas categorias de Plataforma.	Teste Kruskal-Wallis	,000	Rejeitar a Hipótese Nula.

(Fonte: Elaboração própria)

4.8 Conclusões

Neste capítulo procurou-se estudar o número de passageiros nas diversas plataformas da linha vermelha, estudando assim congestionamentos, bem como do tempo de espera através do seu número médio e máximo.

Com isto, foi possível concluir o primeiro passo na integração da filosofia lean numa empresa – avaliação do estado atual da empresa (Allway & Corbett, 2002).

Para isso, fez-se, primeiramente, uma caracterização do sistema pelos dados enviados pelo Metro e pelos dados disponibilizados no site.

Pelo intervalo temporal entre comboios disponibilizados no site do metro (Metro de Lisboa, 2019), pode-se concluir que o intervalo varia entre os 6 min e os 9 min, sendo a linha vermelha a 2ª linha com um intervalo mais baixo, a seguir à linha verde, exceto nas horas de ponta, na qual é a linha com menor frequência de circulação de comboios.

Pelos dados enviados pelo Metro de Lisboa, na globalidade, a linha vermelha é a linha com menos entradas na estação, só passando a linha amarela no fim de semana a partir das 9h30.

Ao analisar a linha vermelha, é possível verificar que a procura de cada plataforma é heterogénea. Existe mais movimentações nas estações de Oriente, S. Sebastião, Saldanha e

Alameda. Também é possível denotar que existe uma maior procura pela estação de Oriente ou Moscavide de manhã e as estações de S. Sebastião, Saldanha e Alameda na parte da tarde, nos dias úteis.

Os grafos que representam cada viagem também refletem o mesmo, existe um grande número de viagem do Oriente com destino a Saldanha na parte da manhã e de Alameda e Saldanha com destino a Oriente.

Para o fim de semana, pode-se denotar um decréscimo na procura desta linha.

No entanto, com estes dados, ainda não é possível concluir algo com rigor sobre os congestionamentos e tempos de espera. Por isso, analisou-se também os dados do modelo de simulação que refletem o tempo de espera de cada passageiro desde que entrou na plataforma até entrar na carruagem e quantos passageiros continha a plataforma quando o comboio chegou à estação.

Com os dados da simulação, as estações com maior procura atingem no seu pico mais de 200 passageiros na plataforma.

No entanto, o maior congestionamento ocorre dentro das carruagens, onde em alturas de maior pico, especialmente nos comboios em direção a S. Sebastião na parte da manhã e Aeroporto na parte da tarde, o número de passageiros dentro do comboio chega a mais de 500 pessoas. Por isso, pode-se concluir que, segundo a lotação das carruagens (Metro de Lisboa, 2014), quase metade dos passageiros tem de viajar em pé.

Estes dados refletem a localização das atividades económicas da cidade, já que existe mais movimentações para o centro da cidade de manhã, quando as pessoas vão trabalhar, e mais movimentações para fora da cidade na parte da tarde, quando as pessoas regressam a casa.

Para isso, a estação Oriente é especialmente importante, devido à sua ligação com outros transportes ferroviários e rodoviários. Do mesmo modo, as estações S. Sebastião, Saldanha e Alameda também apresentam valores elevados de procura devido à ligação que têm com as linhas azul, amarela e verde respetivamente. Para o fim de semana, a estação Aeroporto também apresenta uma procura relativamente elevada, devido à ligação que tem com o transporte aeroportuário.

Para os tempos de espera, regista-se um tempo médio entre 3 e 4 minutos e máximo entre 6 e 7 minutos nos dias úteis e, em média, mais 1 minuto de espera que nos fins de semana, sendo esses valores muito superiores aos registados noutros metros metropolitanos. Com isto, é possível identificar um desperdício de atraso de serviço (Qu et al., 2011).

Com as hipóteses testadas pode-se concluir que existem padrões no tempo de espera e principalmente congestionamentos segundo o período horário, e dia da semana. Com o teste de pares de médias, através do teste post-hoc Tukey, é possível verificar que os períodos com a mesma distribuição são, nos dias de semana, entre os dias úteis e os fins de semana e, nos períodos horários, na ponta da manhã e tarde.

Também com o teste das hipóteses se concluiu que a oferta não tem impacto no congestionamento e tempos de espera, já que foi rejeitada a hipótese H4 e H8. Com isto é possível concluir que a procura é o grande influenciador dos congestionamentos e tempos de espera.

Por isso, conclui-se que não existe um equilíbrio na procura-oferta. Para que haja um melhor controle dos tempos de espera e congestionamento, é necessário o ajustamento da oferta à procura.

Para aumentar a oferta, é necessário um aumento da frequência dos comboios. É especialmente necessário o aumento da oferta nos períodos de maior congestionamento, como na ponta da manhã e tarde, e de maior tempo de espera, como à noite e no primeiro período de operações (6h-7h30) nos dias úteis e à noite nos fins de semana.

5 Conclusões

5.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões do projeto, e analisar a concretização dos objetivos específicos e geral.

De seguida, serão expostas propostas de melhoria de modo a diminuir os congestionamentos e tempos de espera identificadas no capítulo anterior.

Finalmente, serão explanadas as limitações sentidas no estudo, bem como sugestões para investigações futuras.

5.2 Principais conclusões

5.2.1 Tempos de Espera e Congestionamentos apresentados pela linha vermelha do Metro de Lisboa

O Output dado pela simulação reunia o tempo que demorou cada passageiro a entrar na carruagem, o número de passageiros que registava cada plataforma a cada minuto e o número de passageiros presentes na estação.

Para os dias úteis, o tempo de espera médio encontra-se entre os 3 e 4 minutos desde que abre até às 19h30, sendo a média de todas as plataformas de pouco mais de 3min30s, embora haja uma ligeira redução na ponta da manhã e tarde. A partir dessa hora, o tempo vai gradualmente aumentando, passando de mais de 3min30s para 4min45s.

Para os fins de semana tempo de espera é superior a quase 1 minuto relativamente aos dias úteis, devido ao maior espaço temporal entre comboios, exceto nos primeiros 45min. Até às 20h30, o tempo de espera fica perto dos 4 minutos, e a partir daí, vai aumentando até aos 5min.

Para os tempos máximos nos dias úteis, o valor fica mais perto dos intervalos temporais entre comboios, registando valores entre os 4 e 9 minutos nos primeiros 45 minutos, embora a média se aproxime dos 8 minutos. A partir daí até às 19h30, os tempos máximos aproximam-se dos 7 minutos e até às 22h30 passa para os 7min30. Até o fecho, o tempo máximo regista valores perto dos 9 minutos..

Os valores apresentados, tanto máximos como médios, são substancialmente superiores ao intervalo temporal de cada comboio de outros sistemas metropolitanos, como Londres, Madrid ou Paris, sendo 3 vezes superior na hora de ponta relativamente ao intervalo temporal do Metro de Lisboa.

Para a medição dos congestionamentos, foram registados o número de passageiros em espera até entrar no comboio.

As estações com um maior número de passageiros nos dias úteis são as estações de mudança de linha (Alameda, Saldanha e S. Sebastião) e Oriente que faz transbordo com transportes ferroviários e rodoviários. Os maiores picos no dia ocorrem na ponta da manhã, a partir das 7h30, até às 9h30, na qual registam um máximo de, aproximadamente, 150 passageiros, na qual Oriente e Moscavide com destino a S. Sebastião apresentam os valores com mais significância. Na ponta da tarde, o número de passageiros passa para 200, sendo as principais plataformas são todas as plataformas de mudança de linha com destino a Aeroporto e Oriente no sentido inverso. Para as restantes estações, essa amplitude não é tão significativa.

Para sábado e domingo, o pico apenas se regista na ponta da tarde, com um máximo de 150 passageiros para a plataforma de Oriente com destino a S. Sebastião. Para o restante dia, o valor máximo ronda os 100 passageiros na mesma plataforma e Alameda e S. Sebastião no sentido contrário.

Tendo em conta a estrutura da maioria das estações com aproximadamente 200m^2 , já que o comprimento de um comboio ronda os 100m e a largura da maioria das estações apresentam 3m, os maiores congestionamentos registam aproximadamente 1 passageiros/ m^2 .

Relativamente aos comboios, os maiores picos ocorrem na ponta da manhã com destino a S. Sebastião, entre 400 passageiros e 470. Na ponta da tarde, ocorrem os maiores picos do dia, registados no mesmo sentido, entre 400 e 557 passageiros. Nesses picos, a densidade é de, aproximadamente, $2,8$ passageiros/ m^2 . Esses picos apenas se registam nos dias úteis, para o fim de semana os picos máximos registam até 250 passageiros. De referir que a partir das 20h30, a densidade duplica, devido à circulação de comboios só com 3 carruagens em vez das 6.

5.2.2 Padrões horários e semanais

Já com a análise realizada anteriormente, houve uma tendência de homogeneidade entre os dias úteis e os fins de semana, bem como a ponta da manhã e tarde.

Para comprovar isso, realizou-se o teste de hipóteses H1, H2. Ambas as hipóteses foram validadas.

A hipótese H1 testa se existe um padrão o tempo de espera com o dia de semana. Com o teste post-hoc Tukey, é possível determinar que existe uma homogeneidade na amostra entre os dias úteis e os fins de semana

A hipótese H2 testa a existência de padrões no tempo de espera segundo o período horário. Com o teste post-hoc, é possível determinar que a mesma distribuição ocorre nas amostras das pontas da manhã e tarde, tanto no tempo médio como máximo

Para os padrões nos congestionamentos, a conclusão é semelhante. Ao testar a hipótese H5 concluiu-se que existem padrões nos dias úteis e fins de semana e ao testar a hipótese H6 concluiu-se a existência de padrões nas pontas da manhã e tarde.

5.2.3 Influência dos congestionamentos e tempos de espera

Ao testar a hipótese H4 e H8, concluiu-se que o grande influenciador dos congestionamentos e tempos de espera é a procura e que a oferta tem pouco impacto na redução dos congestionamentos e tempos de espera, o que se concluiu que existe um desequilíbrio procura-oferta.

Tal como referido, a maior procura existe nas estações de mudança de linha e Oriente devido à ligação com outros meios de transporte. Por isso, a plataforma tem uma grande influência.

Devido aos fluxos de passageiros para a ida para o emprego no centro da cidade na ponta de manhã e o inverso na ponta da tarde, existe um maior congestionamento nas carruagens para S. Sebastião na ponta da manhã e no sentido inverso na ponta da tarde.

5.3 Propostas de melhoria

Já que os congestionamentos e tempos de espera condicionam a qualidade de serviço (Tirachini et al., 2013), é necessário reduzir os mesmos.

Para isso, já que se concluiu a etapa da avaliação da empresa, é necessário determinar o estado desejado (Allway & Corbett, 2002). Para os congestionamentos, o estado desejado é que haja um equilíbrio procura-oferta e para os tempos de espera, o estado desejado é igualar os outros metros europeus.

Com esta etapa realizada, pode-se passar à próxima etapa – estabilizar as operações.

Tal como foi relatado, o Metro de Lisboa apresenta um maior tempo de espera na linha vermelha no período antes de ponta da manhã, período com o maior intervalo temporal entre comboios, com quase 10 minutos, e mais para o fim da tarde e noite. Também para as pontas da manhã e tarde, período com maior procura nos dias úteis, regista um tempo de espera relativamente elevado. Como também já foi referido, esse valor é muito superior aos de outros sistemas metropolitanos da Europa. Para que haja então uma redução nos tempos de espera, é preciso

reduzir o intervalo temporal entre comboios, principalmente nos períodos mencionados anteriormente, para pelo menos metade, para que haja um acompanhamento do Metro de Lisboa com os outros metropolitanos europeus.

Para os congestionamentos, tanto nas plataformas como nas carruagens, existem grandes picos nas pontas da manhã e tarde, tal como foi supracitado. Por isso, para que haja uma redução dos mesmos, é necessário usar o aumento da oferta, também com a diminuição dos intervalos temporais entre comboios para pelo menos metade, já que os picos existentes em algumas plataformas nesses períodos são quase o dobro do registado no resto do dia. Ao contrário dos tempos de espera, só os dias úteis registam grandes congestionamentos.

Para que o comboio não precise de percorrer toda a linha e aumentar assim o *throughput*, o mesmo pode iniciar num ponto da linha e terminar noutra onde, no meio, se encontre uma parte significativa do fluxo. No entanto, essa solução não é benéfica na linha vermelha, já que, como é possível verificar nos gráficos 29 a 35 do Anexo A5, as estações de origem e destino não se encontram perto, tendo numa ponta as 3 estações de mudança de linha, e noutra a estação Oriente, Moscavide e Aeroporto com uma procura relativamente elevada, para além de servirem também de transbordo a outros transportes.

Para que a oferta esteja sempre sincronizada com a procura, seria benéfico haver um sistema de monitorização em tempo real da procura e um comboio de reserva nos períodos com mais procura, para fazer face a um congestionamento não planeado. Para isso, seria necessário o acompanhamento em tempo real de todas as entradas de todas as estações. Se o passageiro tivesse passe, o sistema poderia assumir com um grau de probabilidade a viagem que o passageiro faria, para que assim se possa prever o sentido das viagens da linha.

Para a próxima etapa da implementação da filosofia Lean é o aproveitamento das oportunidades (Allway & Corbett, 2002). Para isso, e segundo os mesmos autores, seria benéfico o mapeamento de processos de todas as operações, para que assim também se possa identificar as operações que acrescentem mais valor e sempre numa tentativa da melhoria do fluxo.

Finalmente, um dos objetivos de um serviço é alcançar a perfeição (J. P. Womack & Jones, 1997), que corresponde à última etapa da implementação da filosofia na empresa (Allway & Corbett, 2002), para que haja sempre uma melhoria do sistema. Por isso, mesmo com as propostas de melhoria implementadas, seria sempre necessário avaliar o seu impacto e tentar corrigir. Também aqui seria benéfico inculcar a sua filosofia a todos os stakeholders, tendo uma posição de transparência (Abdi et al., 2006) para os passageiros e trabalhadores, seria profícuo um clima de feedback de possíveis desperdícios.

5.4 Limitações

O estudo realizado na tese apenas tomou em consideração a linha vermelha, do Metro de Lisboa. Por isso, mesmo que se trate de um caso de estudo, não é possível generalizar os resultados obtidos (Yin, 2003), por se tratar numa linha específica num sistema metropolitano específico.

Para a entrada de passageiros no sistema, usou-se a função *set_rateSchedule*, que induz a entidade *PedSource* a um evento de vários rácios, neste caso, o número de pessoas por minuto. Essa entrada é feita através dum distribuição exponencial com a média igual a $1/rate$. No entanto, a entrada de passageiros na plataforma é muito específica, dependendo especialmente de quando chega os outros transportes que fazem transbordo com o Metro, como na estação Oriente que faz transbordo com transportes ferroviários e rodoviários, Moscavide que faz transbordo com transporte rodoviários ou Aeroporto que faz transbordo com transporte Aeronáutico e os comboios que chegam da linha azul, amarela e verde nas estações S. Sebastião, Saldanha e Alameda respetivamente.

Os dados recebidos pelo Metro estão organizados em períodos horários sem a mesma duração, e relativamente longos. O período Antes da ponta da manhã tem uma duração de 45 minutos, enquanto que o período referente à noite tem uma duração de 5h. Durante esse período de 5h, pode-se ter registado períodos com a mesma distribuição que outros períodos já mencionados, mas não é possível estudar com rigor por se tratar dum período longo.

Para além da amplitude horária, os resultados por dia da semana foram obtidos através dum média anual. No entanto, no período de férias, como julho ou agosto, a procura pode ser menor, reduzindo assim a média.

Toda a análise aos congestionamento e tempos de espera foi num modo quantitativo, apenas tendo como premissa que os mesmos afetam o bem-estar dos passageiros e a qualidade do serviço prestado, tal como foi referido no Capítulo 2 e que o intervalo temporal entre comboios é muito superior comparativamente a outros metros da Europa. No entanto, não se estudou o impacto desses congestionamentos e tempos de espera na perceção da qualidade do serviço por parte do consumidor.

Todos os resultados foram obtidos antes da redução do preço dos passes, e de um possível aumento na procura (Diário de Notícias, 2018). Também no lado da oferta, houve uma aceleração dos comboios, aumentando o *throughput*, e haverá um aumento da oferta (Lusa, 2018; Observador, 2019), o que poderá alterar as conclusões dos dados recolhidos na presente dissertação.

5.5 Perspetivas para Investigações Futuras

No seguimento das limitações apresentadas anteriormente, recomenda-se uma extensão deste estudo para todas as linhas do metro, para que se possa adicionalmente estudar a interação entre elas.

Para este estudo usou-se um rácio de entrada de passageiros em cada plataforma calculada pela média de passageiros por hora. No entanto, o rácio de entrada pode mudar ao longo do tempo. Por isso, sugere-se uma investigação da proporção do número de pessoas que chegam a cada estação, contanto com os picos de procura dos passageiros que chegam de outros transportes pertos da estação, bem como dos comboios que chegam de outras linhas.

Nessas mudanças de linha e na entrada da estação, a plataforma pode não ser a única parte da estação com congestionamentos. Por isso, sugere-se um mapeamento de todas as estações e a simulação de, não só quando, mas em que parte da estação surge os maiores picos de congestionamento, fazendo assim uma análise de fluxos. Com isto, pode-se detetar possíveis estações que tenham caminhos internos mal desenhados ou mesmo deficiências na coordenação entre os comboios de diferentes linhas.

Para além do registo de quando chegam os maiores picos, também se sugere um estudo com períodos horários com uma menor duração, por exemplo, de 15 em 15 minutos, para que a média dos períodos horários não seja grande e haver assim mais rigor na deteção de picos.

Para que haja também um rigor na média, aconselha-se um estudo de cada mês ou quinzenal, para que assim se possa agrupar os meses com uma procura regular e os com menor procura, para que se possa estudar a sazonalidade ao longo da semana, do mês ou ano.

Para que se possa estudar o impacto dos congestionamentos e tempos de espera, sugere-se um estudo qualitativo de modo a entender como e quando o bem-estar dos consumidores é afetado. Por exemplo, estimar qual o tempo de espera que os passageiros consideram aceitável e assim definir a oferta.

Finalmente, é sugerido um estudo dos dados mais recentes da procura, já contando com o aumento da mesma devido à diminuição do preço dos passes, e da oferta, devido à aquisição de mais material circulante. Com isto, será possível analisar o impacto de novas políticas na satisfação dos passageiros relativamente ao tempo de espera.

Referências

- Abdi, F., Sohrab Khalili, S., & Seyed Mohammad Seyed, H. 2006. Glean Lean: How To Use Lean Approach In Service Industries? *Journal of Services Research*, 6(Special Issue), 191–206.
- Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M. A., Tormos, P., & Lova, A. 2008. An Assessment Of Railway Capacity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(5), 774–806.
- Ahlstrom, P. 2004. Lean Service Operations: Translating Lean Production Principles To Service Operations. *International Journal of Services Technology and Management*, 5(5), 545–564.
- Allway, M., & Corbett, S. 2002. Shifting To Lean Service: Stealing A Page From Manufacturers' Playbooks. *Journal of Organizational Excellence*, 21(2), 45–54.
- AMT. 2017. *Relatório Final Da Ação Inspeciva Às Condições De Exploração Do Metropolitano De Lisboa E.P.E.* Retirado de https://www.amt-autoridade.pt/media/1344/relatorio-final_ação-inspetiva-mlx_10fevereiro2017.pdf
- Anylogic. 2016. triangular. Retirado de Geer Mountain Software Corp. website: <https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Ffunctions%2Ftriangular.html>
- Anylogic. 2019a. Java in AnyLogic. Retirado de <https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fcode%2FGeneral.html>
- Anylogic. 2019b. Pickup. Retirado de <https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fcode%2FGeneral.html>
- Anylogic. 2019c. Rail Library. Retirado de <https://www.anylogic.com/resources/libraries/rail-library/>
- Anylogic. 2019d. Schedule API. Retirado de <https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fcode%2FGeneral.html>
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. 2009. Gephi: An Open Source Software For Exploring And Manipulating Networks. *Proceedings of International AAAI Conference*

on Web and Social Media.

- Bazghandi, A. 2012. Techniques, Advantages And Problems Of Agent Based Modeling For Traffic Simulation. *International Journal of Computer Science Issues*, 9(1), 115–120.
- BVG. 2019. Route. Retirado de <https://fahrinfo.bvg.de/Fahrinfo/bin/query.bin/en?>
- Dekier, Ł. 2012. The Origins And Evolution Of Lean Management System. *JOURNAL OF INTERNATIONAL STUDIES*, 5(1), 46–51.
- Ferreira, B., & Pereirinha, T. 2019, June 13. Do Metro à CP. Fizemos um raio-X aos transportes públicos de Lisboa. *Observador*. Retirado de https://observador.pt/especiais/do-metro-a-cp-fizemos-um-raio-x-aos-transportes-publicos-de-lisboa/?fbclid=IwAR3gGGrTROA5aQqfrseTv6W8mtcB25_3qdLyeei3pJoeL6VHfCVBUT565kE
- Fisk, R. P., Groove, S. F., & John, J. 2000. Evert Gummesson: Stockholm University. In *Services Marketing Self-Portraits: Introspections, Reflections, and Glimpses from the Experts* (pp. 109–132). Chicago: American Marketing Association.
- Fosgerau, M., Hjorth, K., & Lyk-Jensen, S. V. 2007. *The Danish Value of Time Study*. Lyngby.
- Herman, I., Melançon, G., & Marshall, M. S. 2000. Graph Visualization And Navigation In Information Visualization: A Survey. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 6(1), 24–43.
- HEYNS, W., & JAARVELD, S. VAN. 2017. Transportation Modelling In Practice: Connecting Basic Theory To Practice. *WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering*, 100.
- Hill, T. P. 1977. On Goods And Services. *Review of Income and Wealth*, 23(4), 315–338.
- Hines, P., & Rich, N. 1997. The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46–64.
- Hines, P., Silvi, R., & Bartolini, M. 2002. *Lean Profit Pontencial*. Cardiff: Lean Enterprise Research Center.
- Holten, D., & Van Wijk, J. J. 2009. Force-Directed Edge Bundling For Graph Visualization. *Computer Graphics Forum*, 28(3), 983–990.
- Johnston, R., & Clark, G. 2012. *Service Operations Management: Improving Service*

Delivery (4th ed.). Essex: Pearson.

Judd, R. C. 1964. The Case For Redefining Services. *Journal of Marketing*, 28(1), 58–59.

Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sadowski, D. A. 2009. *Simulation with Arena*. Cardiff: MCGRAW-HILL EDUCATION.

Krueger, H. 1999. Parametric Modeling In Rail Capacity Planning. *WSC'99. 1999 Winter Simulation Conference Proceedings. "Simulation - A Bridge to the Future" (Cat. No.99CH37038)*, 2, 1194–1200.

Lehtinen, U., & Lehtinen, J. R. 1991. Two Approaches To Service Quality Dimensions. *The Service Industries Journal*, 11(3), 287–303.

Levitt, T. 1973. Production-Line Approach To Service. *McKinsey Quarterly*, 50(4), 41–52.

Levitt, T. 1976. The Industrialization Of Service. *Harvard Business Review*.

Li, K., Zhang, K., Li, X., Xi, J., Fang, H., & Jia, Z. 2016. Building Occupancy Estimation With People Flow Modeling In Anylogic. *IEEE International Conference on Control and Automation, ICCA*.

Lusa. 2016a. Utentes Do Metro De Lisboa Alertam Para Degradação Do Serviço. *Jornal de Negócios*. Retirado de https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/transportes/detalhe/utentes_do_metro_de_lisboa_alertam_para_degradacao_do_servico

Lusa. 2016b. Viajar no Metro de Lisboa. Retirado de <https://24.sapo.pt/atualidade/artigos/viajar-no-metro-de-lisboa-e-assim-as-imagens-da-degradacao>

Lusa. 2018. Concurso Para Modernização Do Metro De Lisboa Vai Aumentar Oferta Em 20%. Retirado de <https://observador.pt/2018/09/26/concurso-para-modernizacao-do-metro-de-lisboa-vai-aumentar-oferta-em-20/>

Marôco, J., & Ludbrook, J. 2011. Análise Estatística com o SPSS statistics. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*.

Metro de Lisboa. 2014. Série 99. Retirado de <http://www.metrolisboa.pt/obras/equipamentos-e-sistemas/material-circulante/serie-99/>

Metro de Lisboa. 2017. Retirado de <https://www.metrolisboa.pt/institucional/conhecer/empresa/>

- Metro de Lisboa. 2018a. 1948. Retirado de <https://www.metrolisboa.pt/institucional/1948/03/01/1948-2/>
- Metro de Lisboa. 2018b. Um pouco de história. Retirado de <http://www.metrolisboa.pt/empresa/um-pouco-de-historia/>
- Metro de Lisboa. 2019. Horários e frequências de comboios. Retirado de <https://www.metrolisboa.pt/viajar/horarios-e-frequencias/>
- Metro Institucional. 2018. Retirado de <https://www.metrolisboa.pt/institucional/>
- Metro Madrid. 2019. LINE 3. Retirado de <https://www.metromadrid.es/en/linea/linea-3#line-timetable>
- Myerson, P. 2012. *Lean Supply Chain and Logistics Management*. MCGRAW-HILL EDUCATION.
- Nunes, D. F. 2018, December 24. Passe único: governo espera aumento de 10% na procura, mas pode haver falta de oferta. *Diário de Notícias*. Retirado de <https://www.dn.pt/edicao-do-dia/24-dez-2018/passe-unico-governo-espera-aumento-de-10-na-procura-mas-pode-haver-falta-de-oferta-10360169.html>
- Nuzzolo, A., Comi, A., Crisalli, U., & Rosati, L. 2014. A New Advanced Traveler Advisory Tool based on personal user preferences. *2014 17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2014*.
- Nuzzolo, Agostino, & Comi, A. 2016. Advanced Public Transport And Intelligent Transport Systems: New Modelling Challenges. *Transportmetrica A: Transport Science*, 12(8), 679–699.
- Observador. 2018. Expansão do Metro de Lisboa poderá reduzir tempo de espera, diz estudo ambiental. Retirado de <https://observador.pt/2018/07/13/expansao-do-metro-de-lisboa-podera-reduzir-tempo-de-espera-diz-estudo-ambiental/>
- Ohno, T. 1988. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. In *Microbiology*.
- Ovenden, M. 2015. *Transit Maps of the World* (M. Ashworth, Ed.). Londres: Penguin Books.
- Papageorgiou, G., Damianou, P., Pitsillides, A., Aphantis, T., Charalambous, D., & Ioannou, P. 2009. Modelling and simulation of transportation systems: A scenario planning approach. *Automatika*, 50(1), 39–50.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. 1988. Servqual: A Multiple-Item Scale For Measuring Consumer Perception Of Service Quality. *Journal of Retailing*, 64(1), 12–40.

- Patel, J. K., Patel, N. M., & Shiyani, R. L. 2001. Coefficient of variation in field experiments and yardstick thereof - An empirical study. *Current Science*, 81(9), 1163–1164.
- Pordata. 2018a. Investimento efectuados no transporte - metropolitano. Retirado de <https://www.pordata.pt/Portugal/Investimentos+efectuados+no+transporte+metropolitan+Continente-3091>
- Pordata. 2018b. Pessoal No Transporte. Retirado de <https://www.pordata.pt/Portugal/Pessoal+ao+serviço+no+transporte+metropolitano+Continente-3092>
- Pordata. 2018c. Veículos de transporte - metropolitano. Retrieved September 20, 2018, from <https://www.pordata.pt/Portugal/Veículos+do+transporte+metropolitano+Continente-3087>
- Qu, L., Ma, M., & Zhang, G. 2011. Waste Analysis Of Lean Service. *International Conference on Management and Service Science, MASS 2011*.
- Rapid Transit. 2013. Retirado de <https://www.britannica.com/technology/rapid-transit>
- Rathmell, J. M. 1966. What Is Meant By Services? *Journal of Marketing*, 30(4), 32–36.
- RATP. 2019. Timetables. Retirado de https://www.ratp.fr/en/horaires?network-current=metro&networks=metro&line_metro=1&line_busratp=&name_line_busratp=&id_line_busratp=&id_t_line_busratp=&line_noctilien=&name_line_noctilien=&id_line_noctilien=&id_t_line_noctilien=&stop_point_metro=Franklin-R
- Ridder, H.-G. 2017. The Theory Contribution Of Case Study Research Designs. *Business Research*.
- Robinson, S., Brooks, R., Kotiadis, K., & Zee, D.-J. Van De. 2010. *Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation*. Boca Raton: CRC Press.
- Saraiva, H. 2019, March 28. Metro de Lisboa acelera e aumenta oferta em 5% nas horas de ponta. *Eco*. Retirado de <https://eco.sapo.pt/2019/03/28/metro-de-lisboa-acelera-e-aumenta-oferta-em-5-nas-horas-de-ponta/>
- Schildt, H. 2006. Java 2: the complete reference. In *McGrawHill*. Boston, Ma, USA.
- Shen, Y., Ren, G., & Liu, Y. 2018. Timetable Design For Minimizing Passenger Travel Time And Congestion For A Single Metro Line. *Promet - Traffic - Traffico*, 30(1), 21–33.
- Siebers, P. O., MacAl, C. M., Garnett, J., Buxton, D., & Pidd, M. 2010. Discrete-Event Simulation Is Dead, Long Live Agent-Based Simulation! *Journal of Simulation*, 4(3),

204–210.

- Sokolowski, J. A., & Banks, C. M. 2010. Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains. In *Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains*.
- Starr, S. H., & Orlov, R. 1999. Simulation Technology 2007 (SIMTECH 2007). *Military Operations Research Society*, 32(3), 26–31.
- Stewart, R. 2004. Simulation: The Practice Of Model Development And Use. In *Journal of Simulation*.
- Suárez-Barraza, M. F., Smith, T., & Dahlgaard-Park, S. M. 2012. Lean Service: A Literature Analysis And Classification. *Total Quality Management and Business Excellence*, 23(3), 359–380.
- Sun, L., Jin, J. G., Lee, D. H., Axhausen, K. W., & Erath, A. 2014. Demand-Driven Timetable Design For Metro Services. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 46.
- Taylor, R. 1990. Interpretation Of The Correlation Coefficient : A Basic Review. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, 6(1), 35–39.
- Tirachini, A., Hensher, D. A., & Rose, J. M. 2013. Crowding In Public Transport Systems: Effects On Users, Operation And Implications For The Estimation Of Demand. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 53, 36–52.
- Toledo, T., Cats, O., Burghout, W., & Koutsopoulos, H. N. 2010. Mesoscopic Simulation For Transit Operations. *Transportation Research Part C*, 18(6), 896–908.
- Tong, C. . O., Wong, S. C., & Lau, W. W. T. 2013. A Demand-Supply Equilibrium Model For Parking Services In Hong Kong. *HKIE Transactions*, 11(1), 48–53.
- Transport for London. 2019. Plan a journey. Retirado de <https://tfl.gov.uk/plan-a-journey/>
- Van Der Spek, T., Van Stein, B., Van Der Holst, M., & Back, T. 2018. A Multi-Method Simulation Of A High-Frequency Bus Line. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*.
- Vargo, S. L., & Lusch, R. F. 2004. The Four Service Marketing Myths: Remnants of a Goods-Based, Manufacturing Model. *Journal of Service Research*, 6(4), 324–335.
- Whelan, G., & Johnson, D. 2004. Modelling The Impact Of Alternative Fare Structures On Train Overcrowding. *International Journal of Transport Management*.

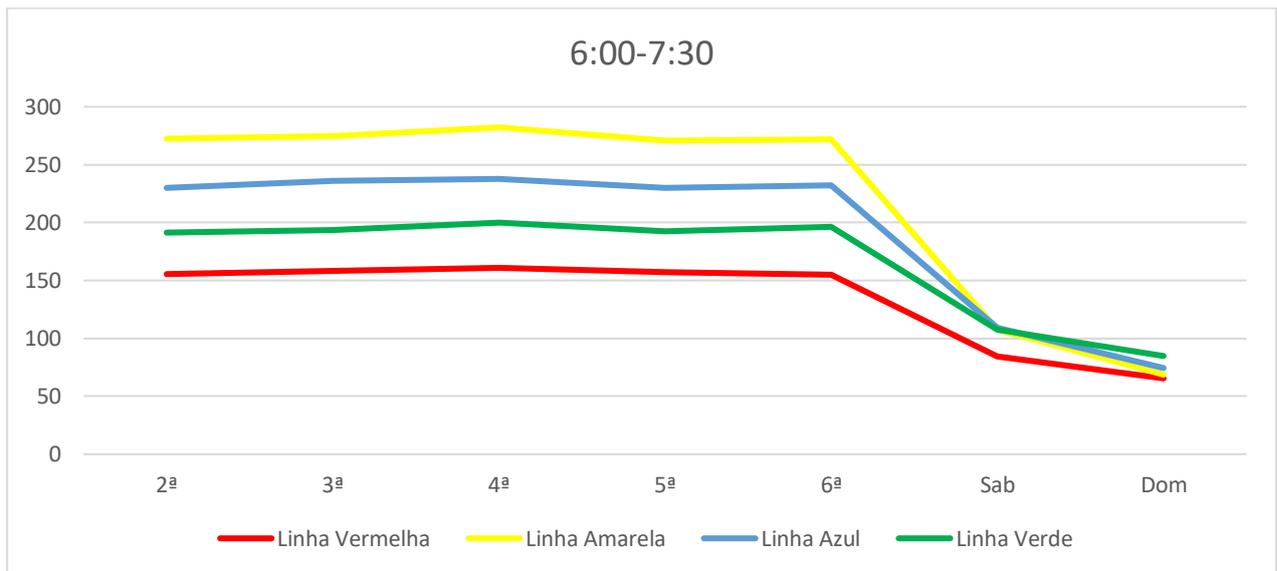
- Whelan, J., Forrester, J. W., & Mosefer, K. 1996. Economic Supply & Demand. *MIT System Dynamics in Education Project*.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. 1997. Lean Thinking—Banish Waste And Create Wealth In Your Corporation. In *Journal of the Operational Research Society*.
- Womack, James P., Jones, D. T., & Roos, D. 2007. *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Nova Iorque: Free Press.
- Yang, H., Wong, S. C., & Wong, K. I. 2002. Demand-Supply Equilibrium Of Taxi Services In A Network Under Competition And Regulation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(9), 799–819.
- Yin, R. K. 2003. Case Study Research . Design and Methods. *SAGE Publications*.
- Zeithaml, V. A., Parasuraman, A., & Berry, L. L. 1985. Problems and Strategies in Services Marketing. *Journal of Marketing*, 49(2), 33–46.

Anexos

Anexos A – Dados

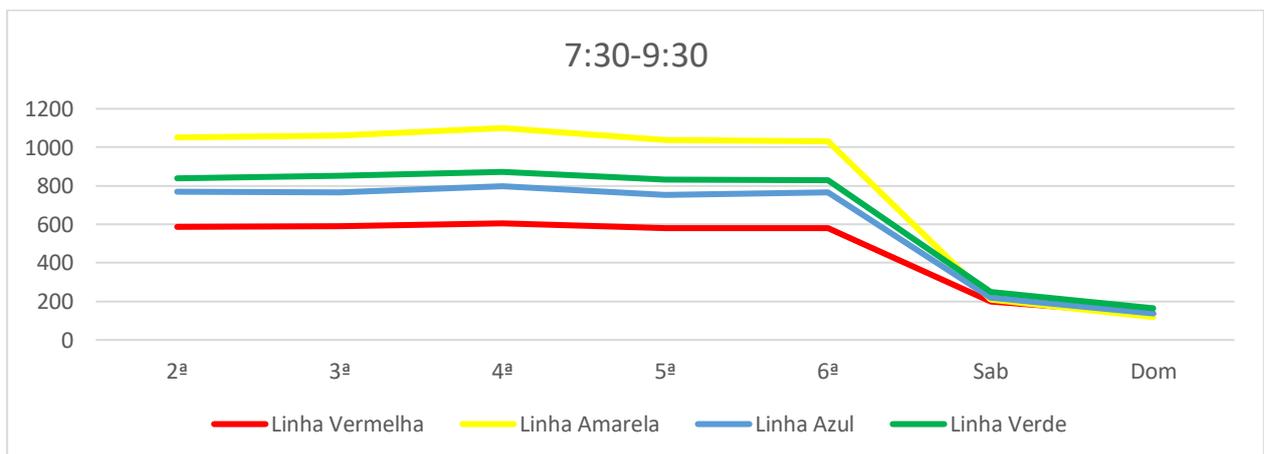
Anexo A1 - Número de entrada de passageiros por hora e por estação entre os dias de semana entre as 4 linhas por carga horária

Gráfico 15- Antes da Ponta da Manhã



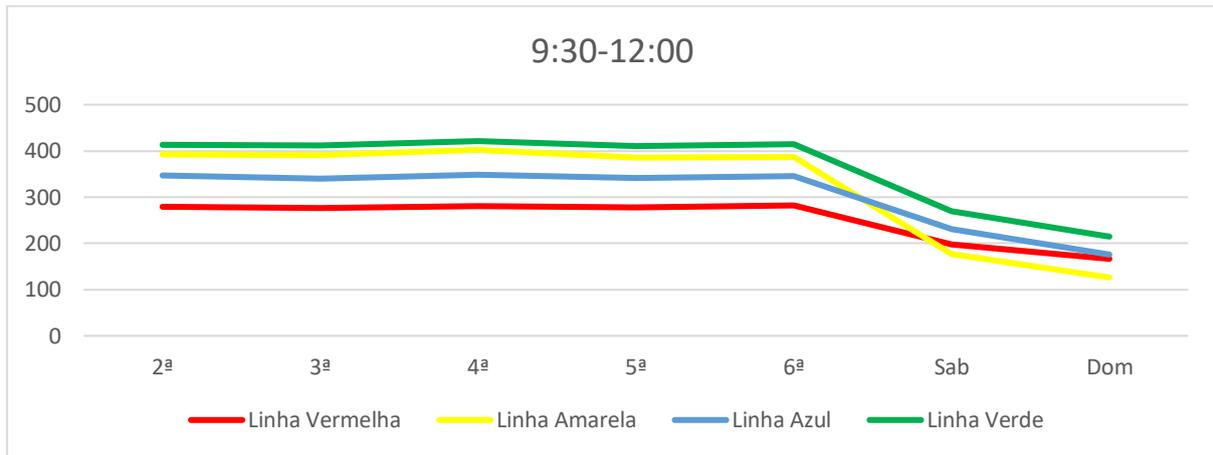
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 16- Ponta da Manhã



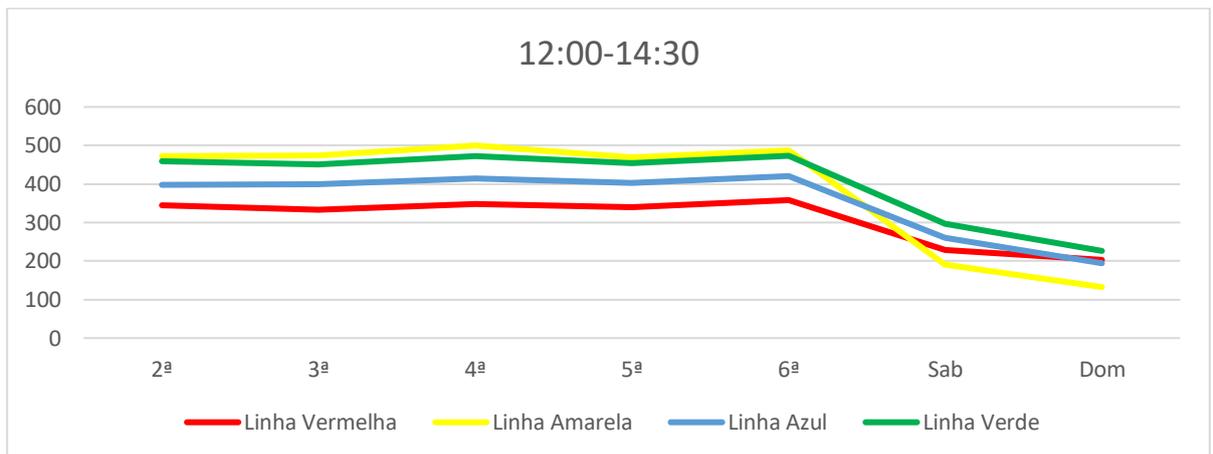
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 17- Fim da Manhã



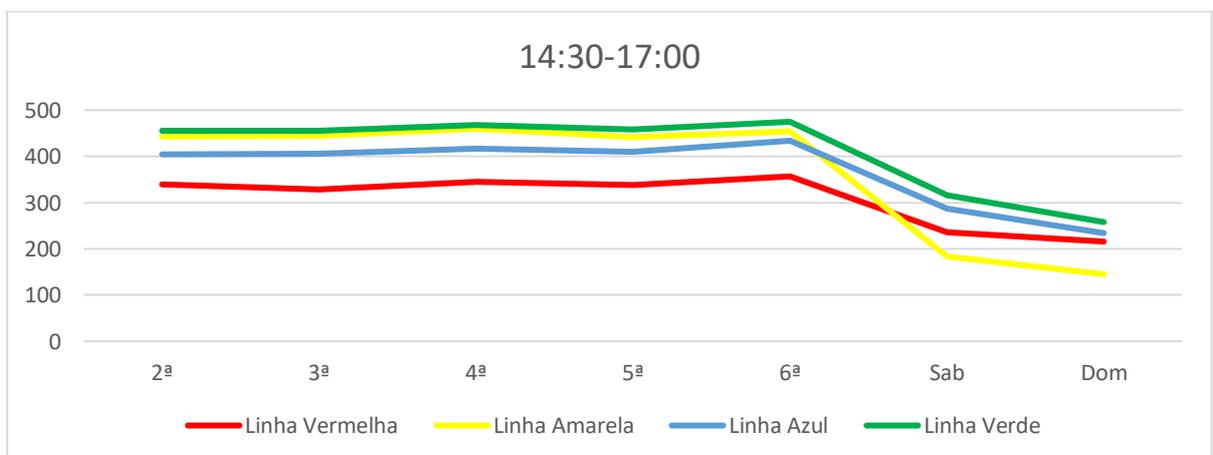
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 18- Período de Almoço



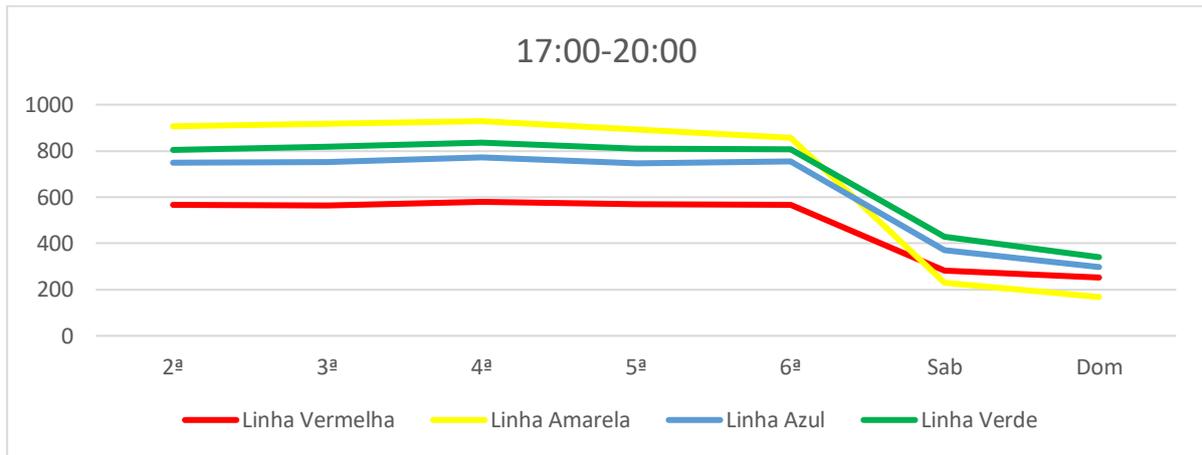
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 19- Início da Tarde



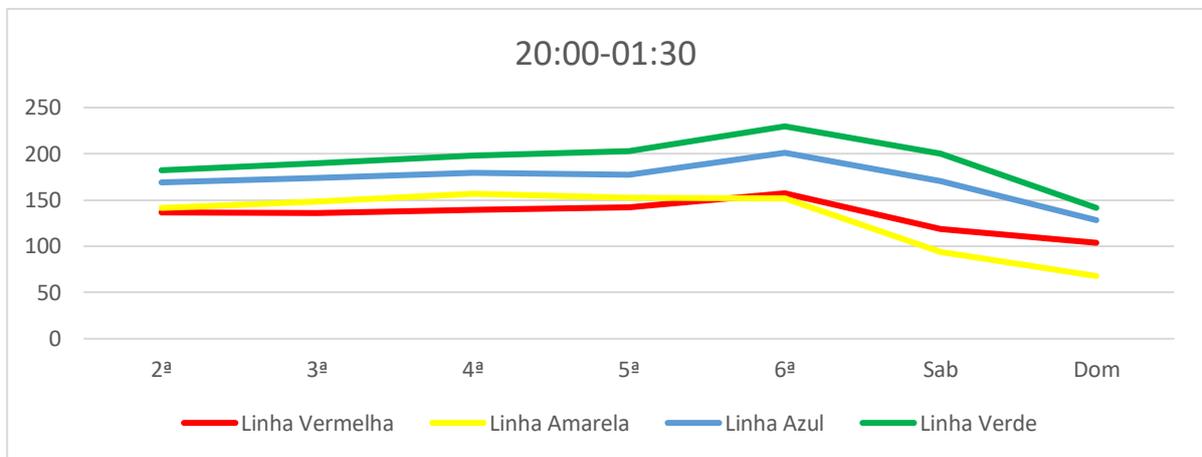
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 20- Ponta da Tarde



(Fonte: Elaboração própria)

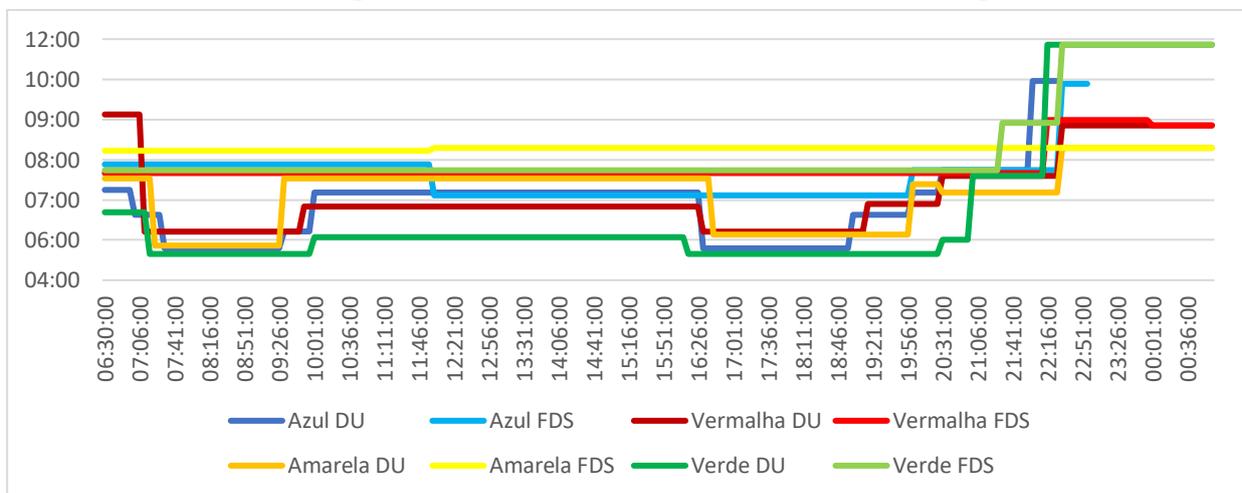
Gráfico 21- Noite



(Fonte: Elaboração própria)

Anexo A2 – Análise da oferta em todas as linhas

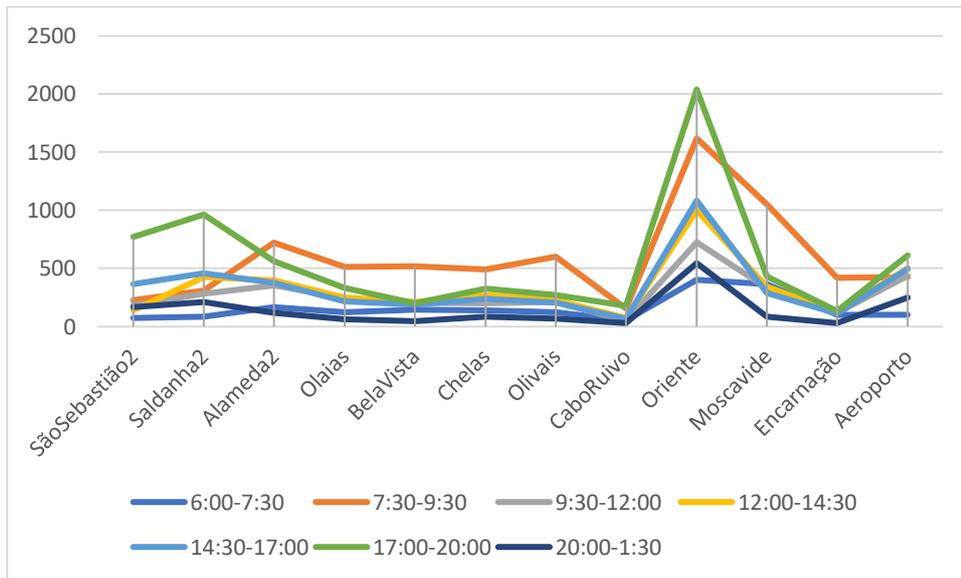
Gráfico 22- Intervalo Temporal entre comboios em minutos dos comboios por linha



(Fonte: Elaboração própria)

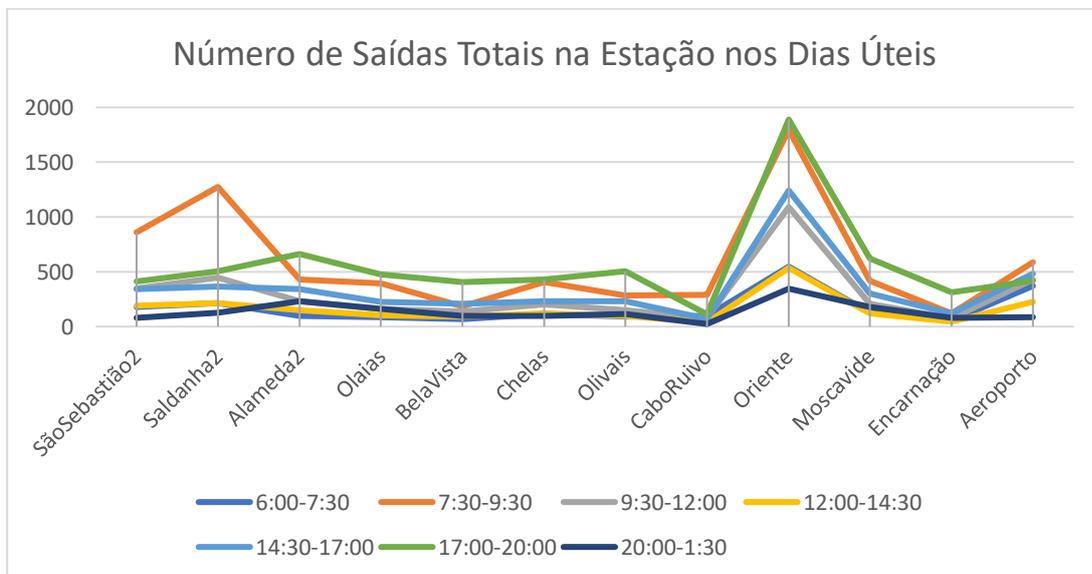
Anexo A3- Análise das entradas e saídas de cada estação por hora

Gráfico 23- Número de Entradas Totais na Estação nos Dias Úteis



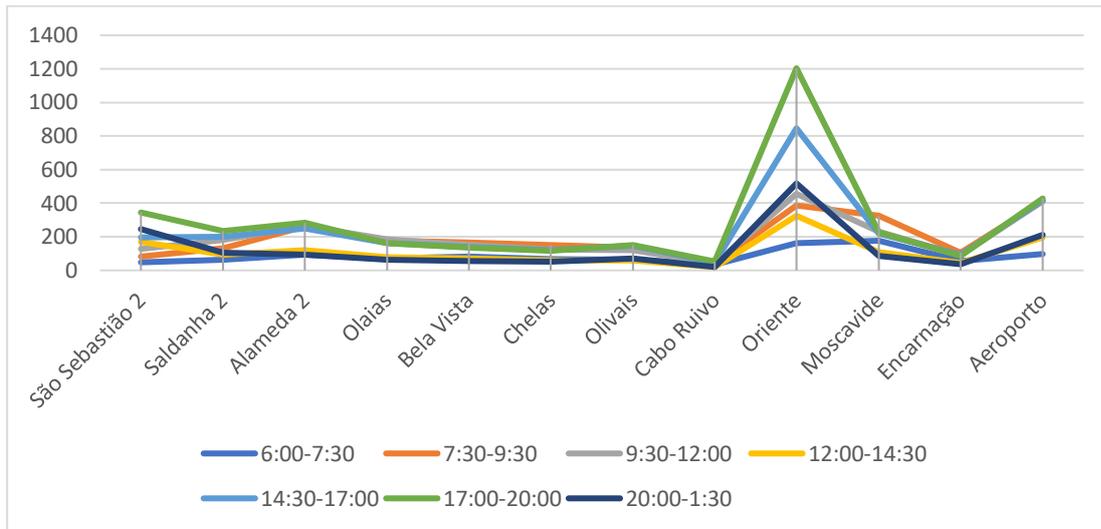
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 24- Número de Saídas Totais na Estação nos Dias Úteis



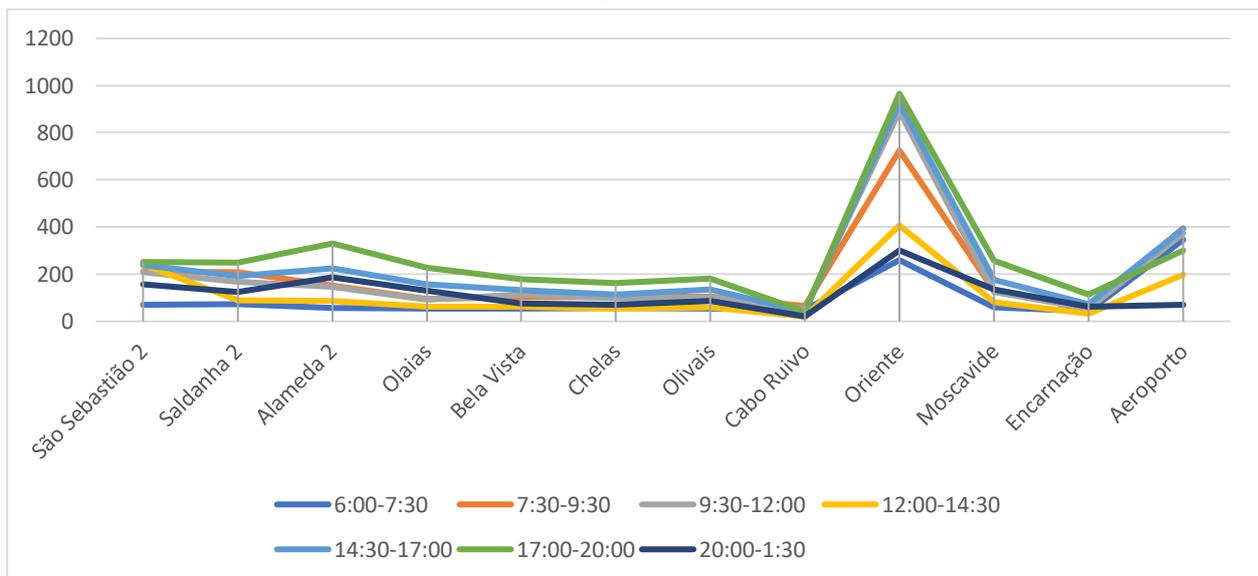
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 25- Número de Entradas Totais na Estação aos Sábados



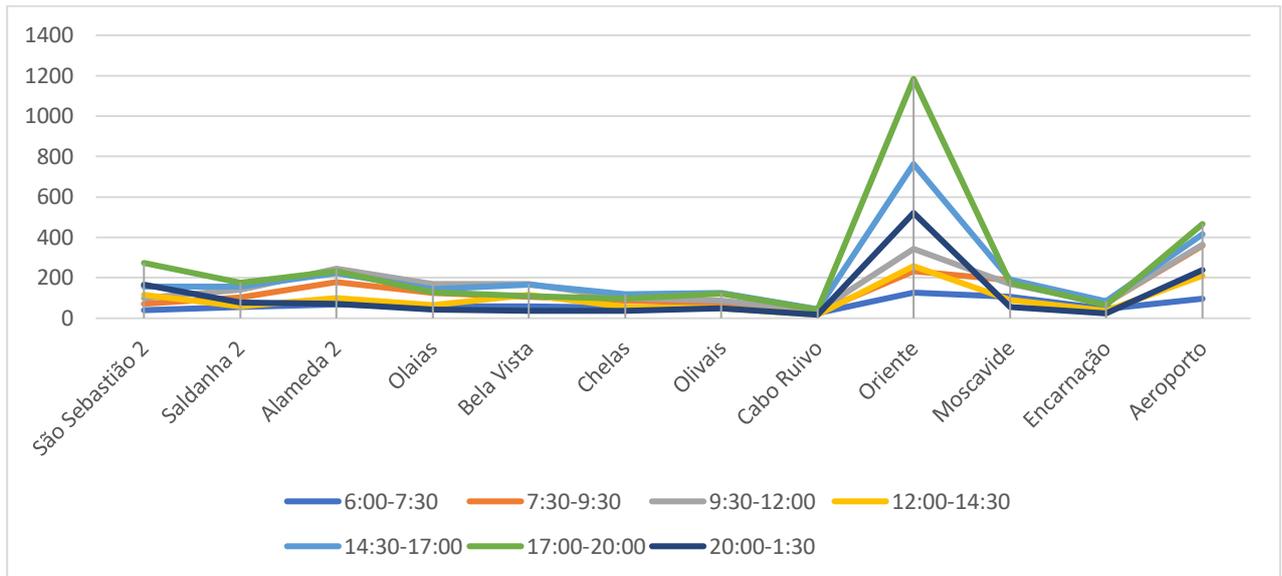
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 26- Número de Saídas Totais na Estação aos Sábados



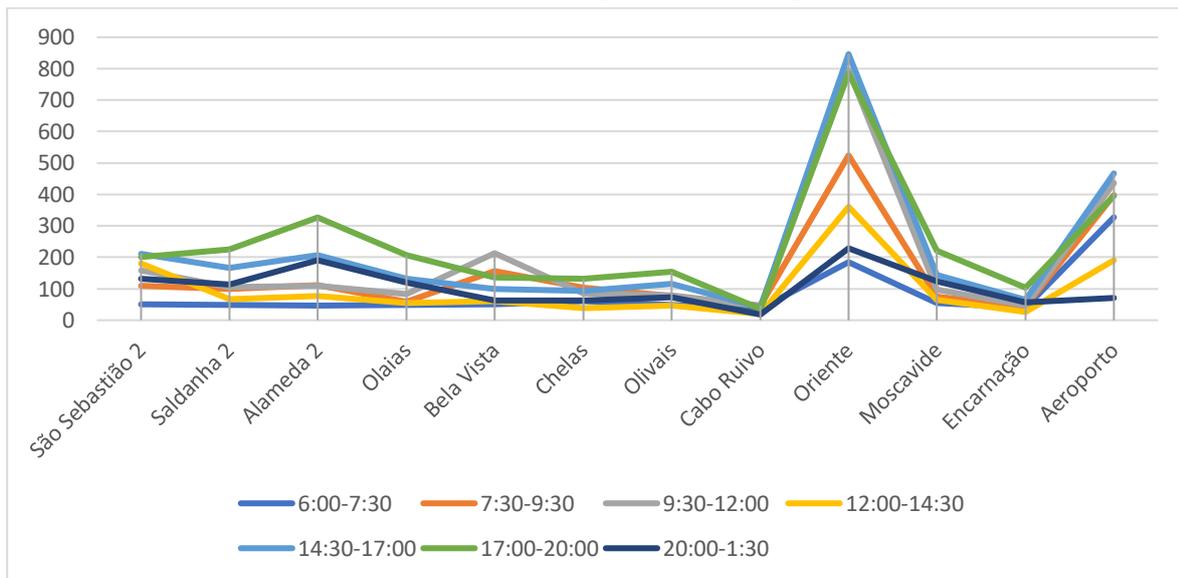
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 27- Número de Entradas Totais na Estação aos Domingos



(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 28- Número de Saídas Totais na Estação aos Domingos

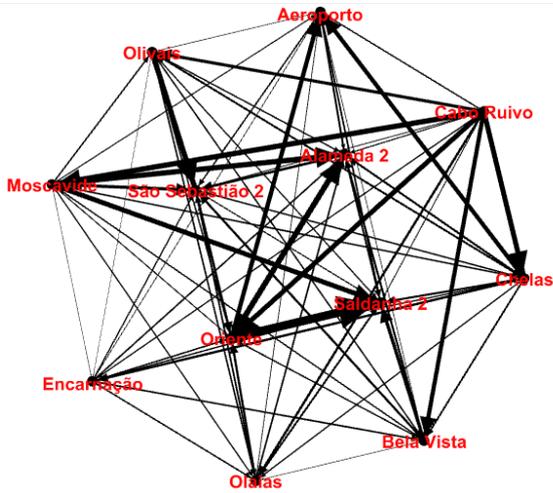


(Fonte: Elaboração própria)

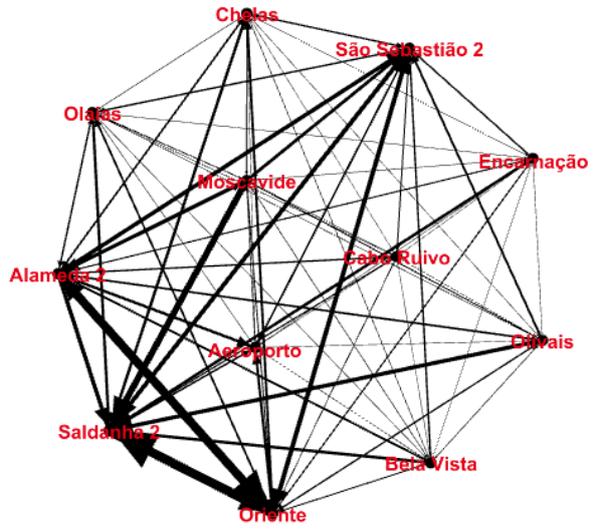
Anexo A4- Grafos de viagens

Figura 4- Grafos das viagens nos dias úteis

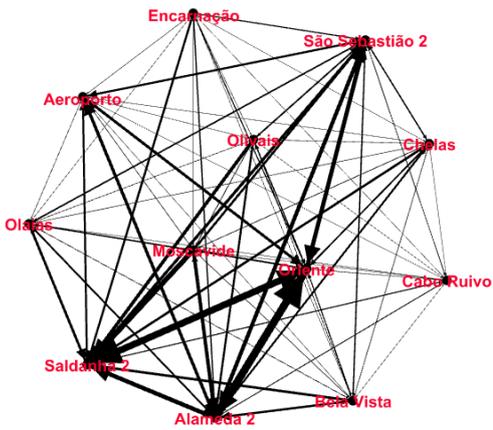
Viagens Dias Úteis 6:00-7:30



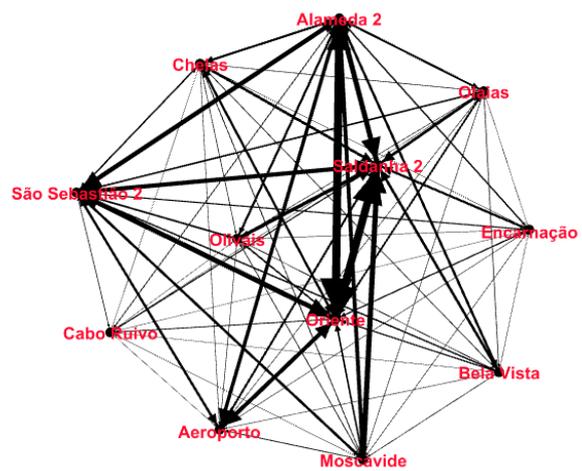
Viagens Dias Úteis 7:30-9:30



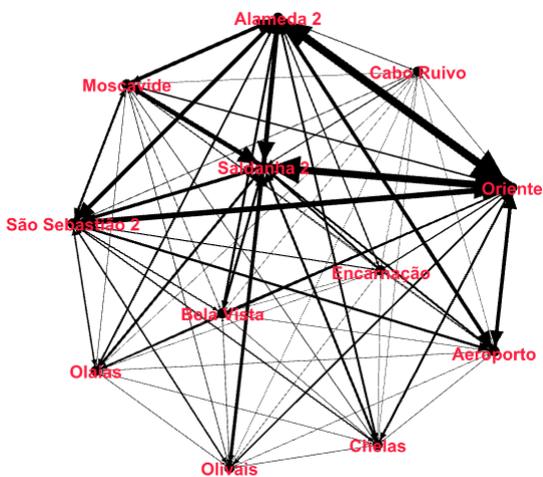
Viagens Dias Úteis 9:30-12:00



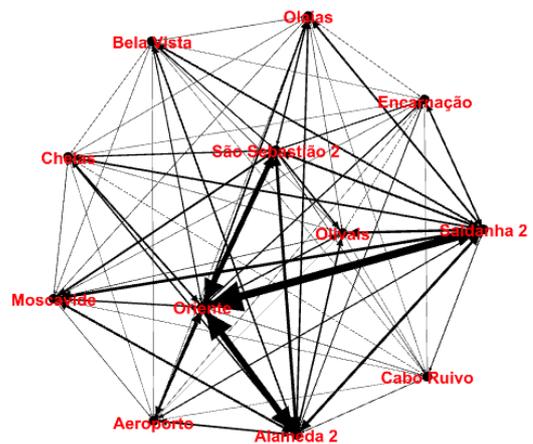
Viagens Dias Úteis 12:00-14:30



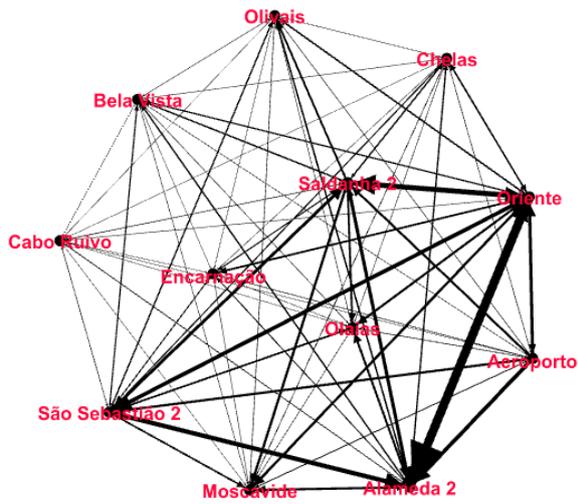
Viagens Dias Úteis 14:30-17:00



Viagens Dias Úteis 17:00-20:00



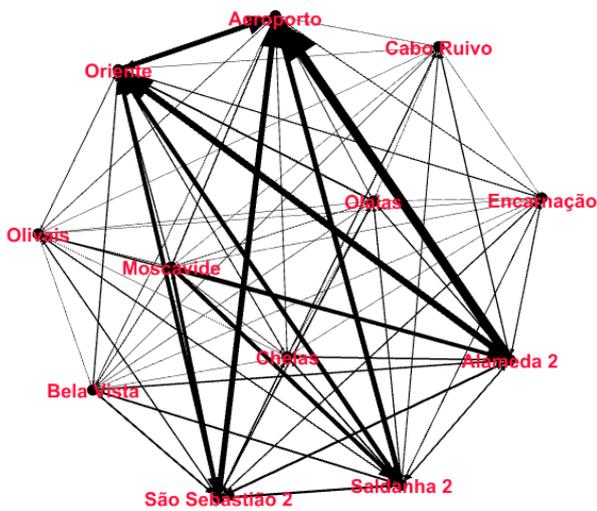
Viagens Dias Úteis 20:00-01:00



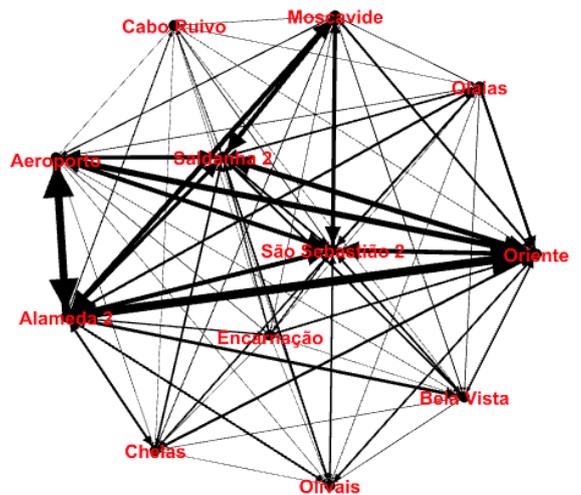
(Fonte: Elaboração própria)

Figura 5- Grafos das viagens nos fins de semana

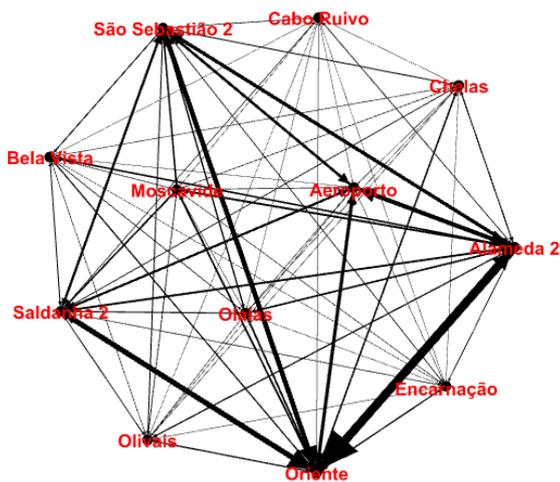
Viagens Sábado 6:00-7:30



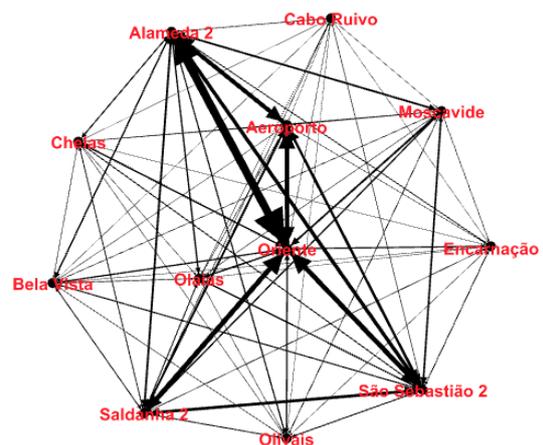
Viagens Sábado 7:30-9:30



Viagens Sábado 9:30-12:00

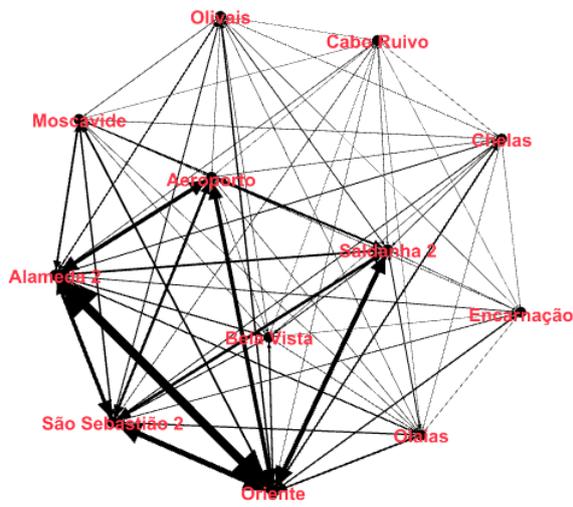


Viagens Dias Úteis 12:00-14:30

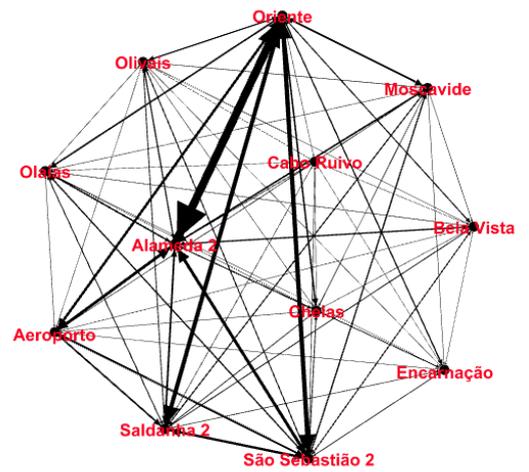


Estudo dos Congestionamentos e Tempos de Espera numa Empresa de Transportes Metropolitana

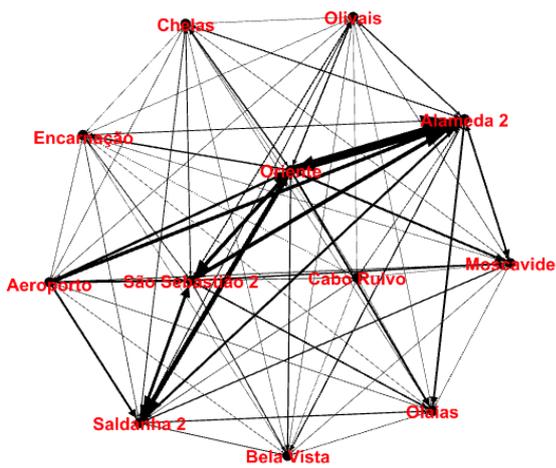
Viagens Sábado 14:30-17:00



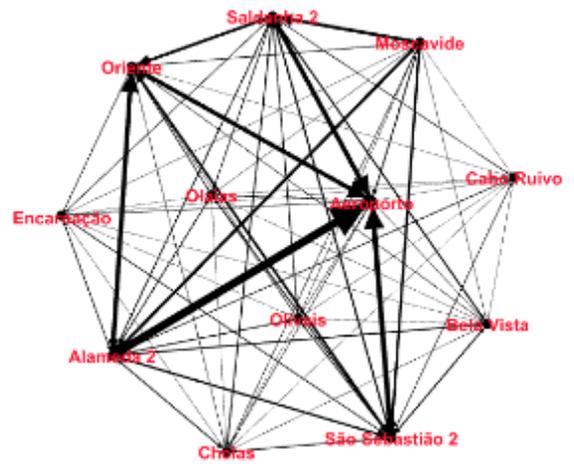
Viagens Sábado 17:00-20:00



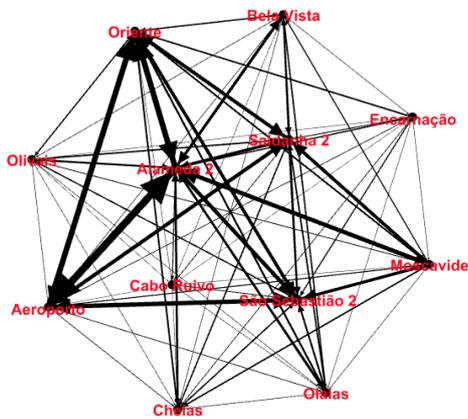
Viagens Sábado 20:00-01:00



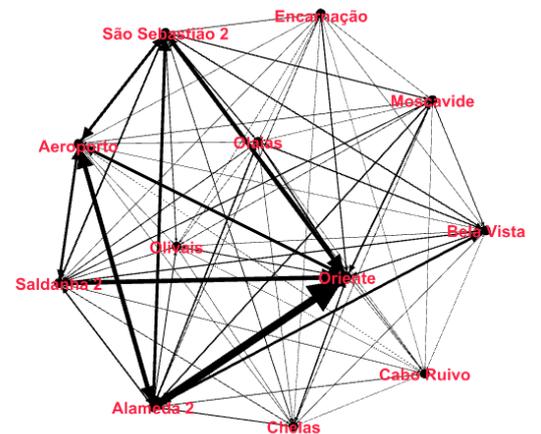
Viagens Domingo 6:00-7:30



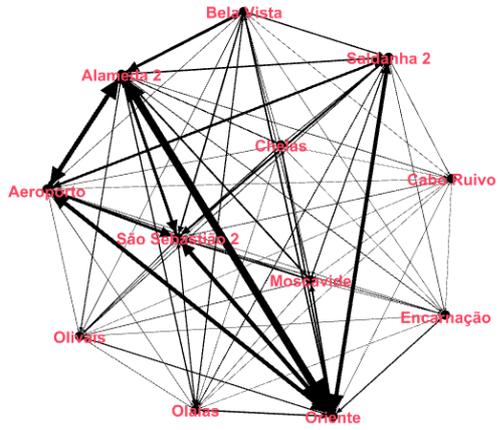
Viagens Domingo 7:30-9:30



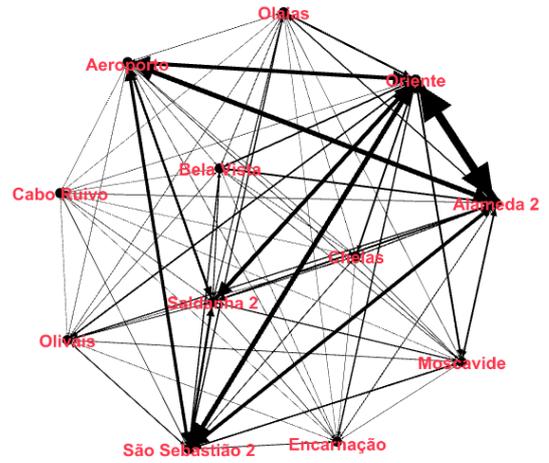
Viagens Domingo 9:30-12:00



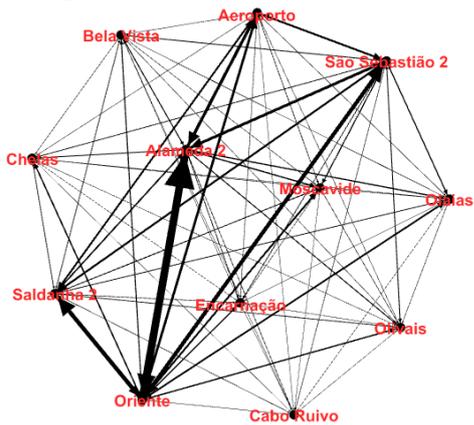
Viagens Domingo 12:00-14:30



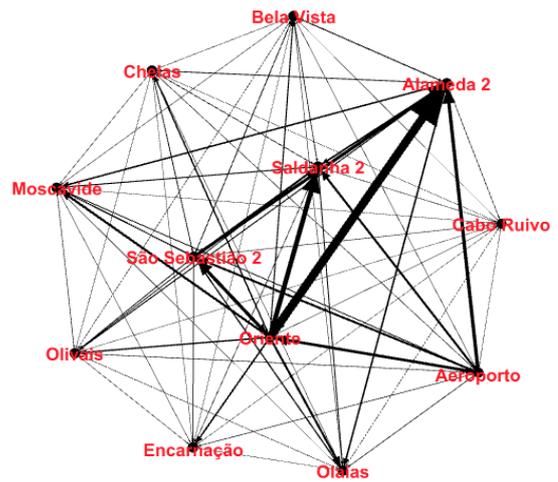
Viagens Domingo 14:30-17:00



Viagens Domingo 17:00-20:00



Viagens Domingo 20:00-01:00



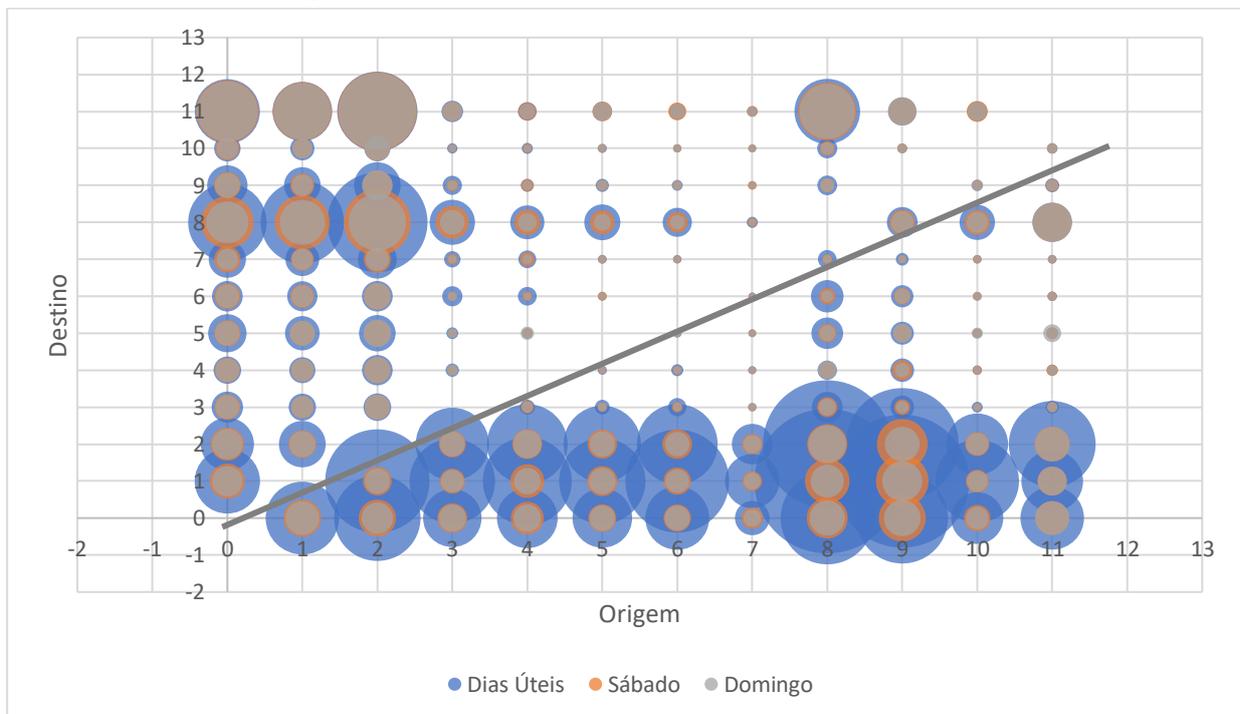
Anexo A5- Matrizes Origem-Destino

Tabela 18- Descrição dos eixos

Número no eixo	Estação representada
0	São Sebastião 2
1	Saldanha 2
2	Alameda 2
3	Olaias
4	Bela Vista
5	Chelas
6	Olivais
7	Cabo Ruivo
8	Oriente
9	Moscavide
10	Encarnação
11	Aeroporto
12	Linha Azul
13	Linha Verde
14	Linha Amarela

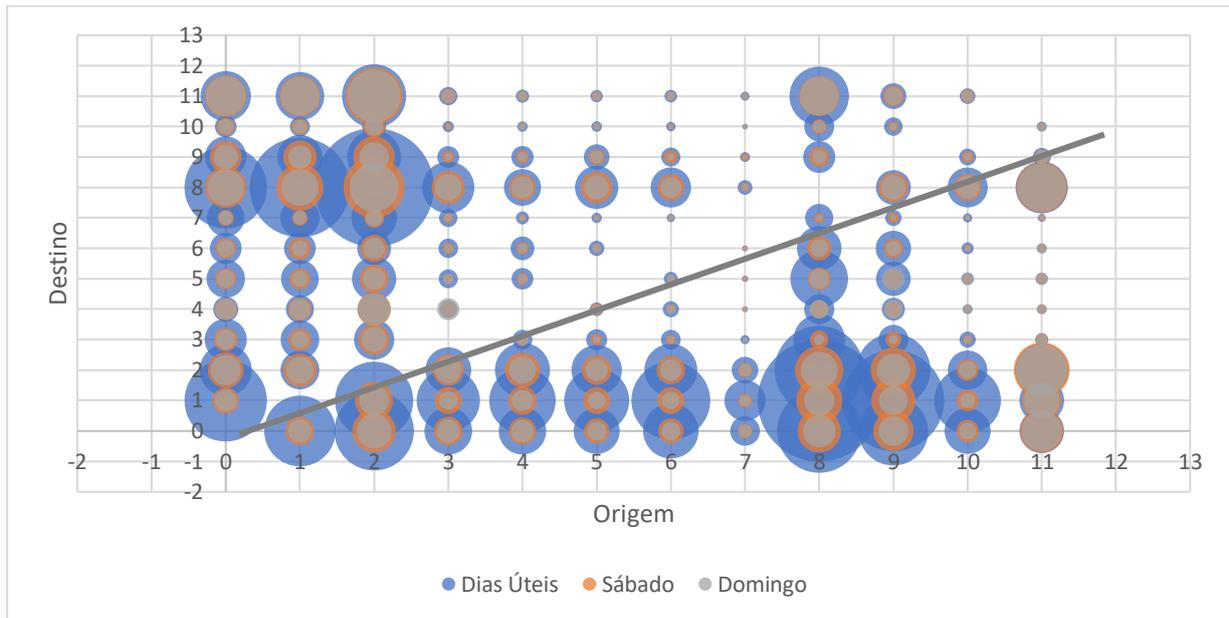
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 29- Matriz Origem-Destino 6.30-7:30



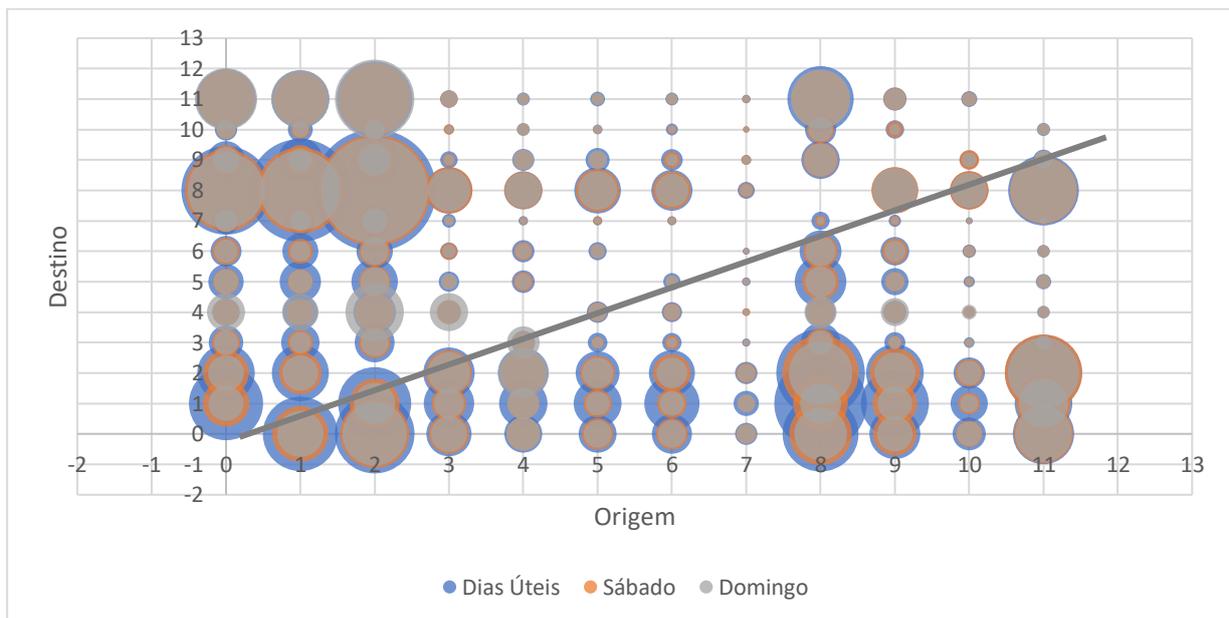
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 30- Matriz Origem-Destino 7:30-9:30



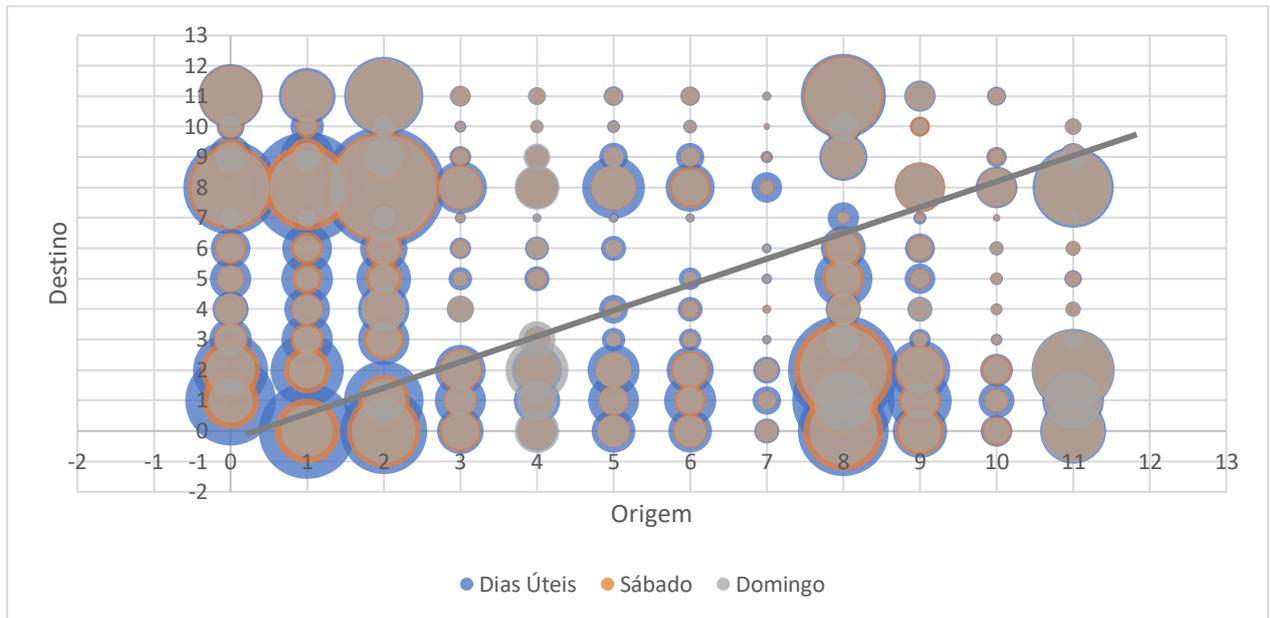
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 31- Matriz Origem-Destino 9:30-12:00



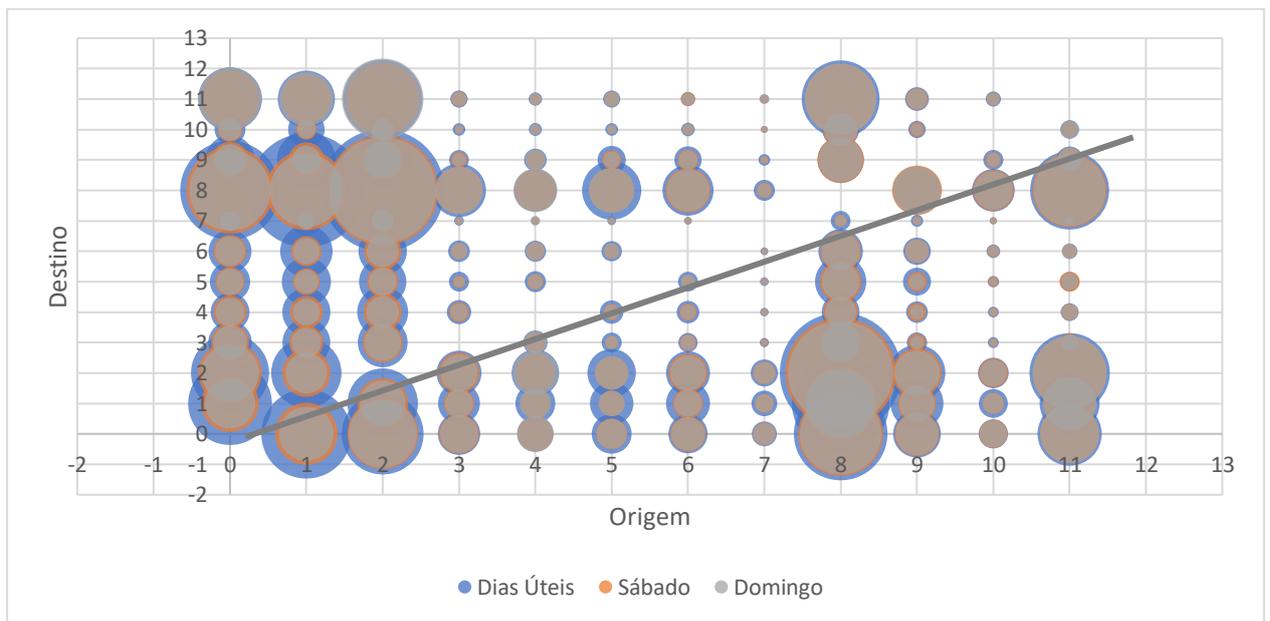
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 32- Matriz Origem-Destino 12:00-14:30



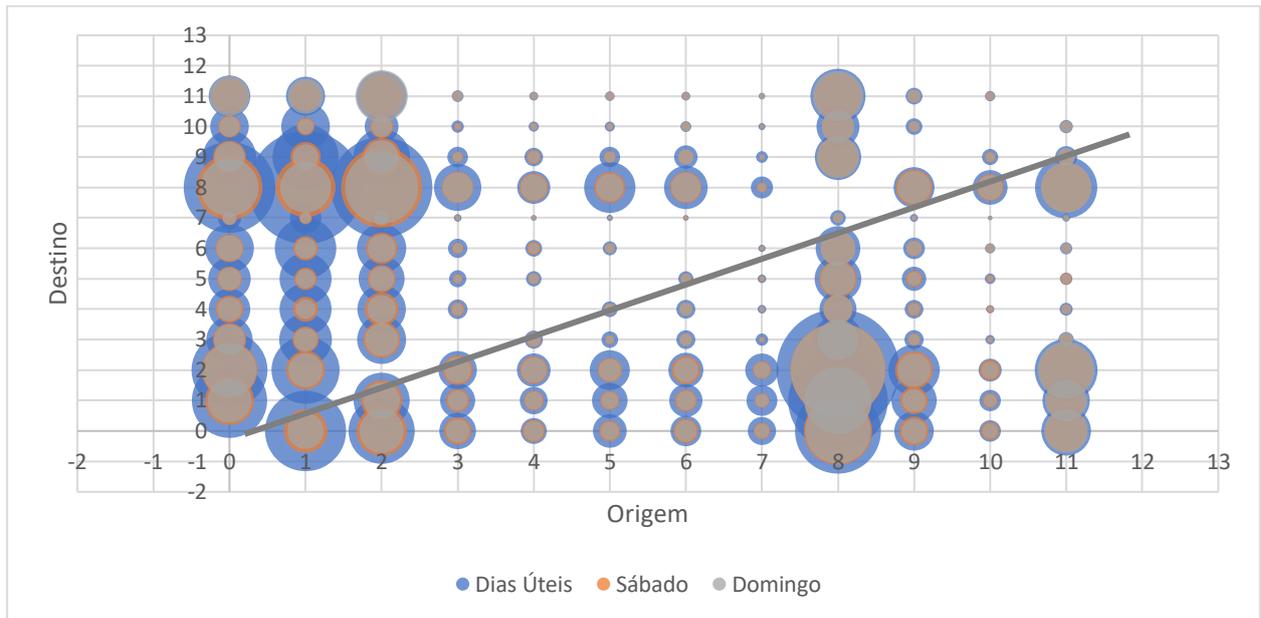
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 33- Matriz Origem-Destino 14:30-17:00



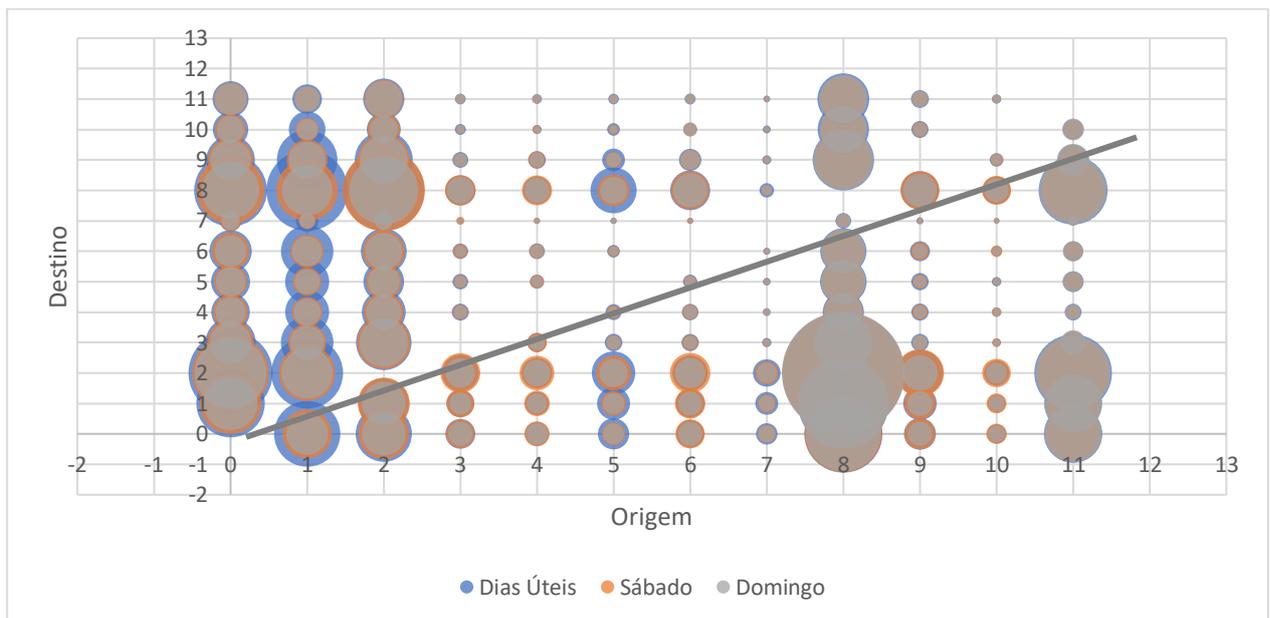
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 34- Matriz Origem-Destino 17:00-20:00



(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 35- Matriz Origem-Destino 20:00-1:00



(Fonte: Elaboração própria)

Anexo A6- Tabelas de Coeficiente de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output

Tabela 19- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 2ª feira

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	29%	29%
3-6%	26%	55%
6-9%	16%	71%
9-12%	12%	83%
12-15%	2%	85%
15-18%	8%	94%
18-21%	3%	96%
21-23%	1%	97%
>23%	2,6%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 20- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 3ª feira

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	30%	30%
3-6%	21%	51%
6-9%	20%	71%
9-12%	14%	84%
12-15%	5%	90%
15-18%	3%	93%
18-21%	3%	96%
21-23%	1%	97%
>23%	3,2%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 21- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 4ª feira

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	21%	21%
3-6%	23%	44%
6-9%	20%	64%
9-12%	14%	78%
12-15%	5%	83%
15-18%	5%	88%
18-21%	5%	92%
21-23%	1%	93%
>23%	7,1%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 22- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 5ª feira

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	30%	30%
3-6%	23%	53%
6-9%	15%	68%
9-12%	8%	76%
12-15%	6%	82%
15-18%	6%	88%
18-21%	5%	92%
21-23%	3%	95%
>23%	5,2%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 23- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output na 6ª feira

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	27%	27%
3-6%	19%	46%
6-9%	18%	64%
9-12%	10%	75%
12-15%	12%	87%
15-18%	3%	90%
18-21%	2%	92%
21-23%	3%	94%
>23%	5,8%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 24- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output no sábado

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	31%	31%
3-6%	23%	53%
6-9%	17%	70%
9-12%	11%	81%
12-15%	6%	87%
15-18%	2%	89%
18-21%	6%	95%
21-23%	1%	96%
>23%	3,9%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

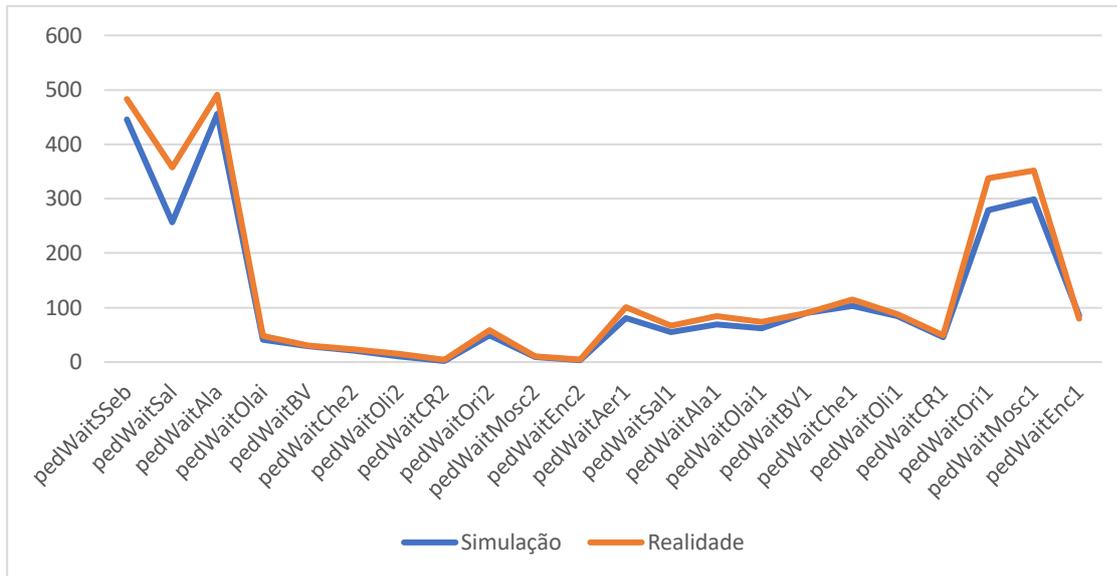
Tabela 25- Coeficientes de variação entre a amostra fornecida pelo Metro e do output no domingo

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	29%	29%
3-6%	22%	51%
6-9%	15%	66%
9-12%	9%	75%
12-15%	8%	82%
15-18%	6%	89%
18-21%	5%	94%
21-23%	3%	96%
>23%	3,9%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

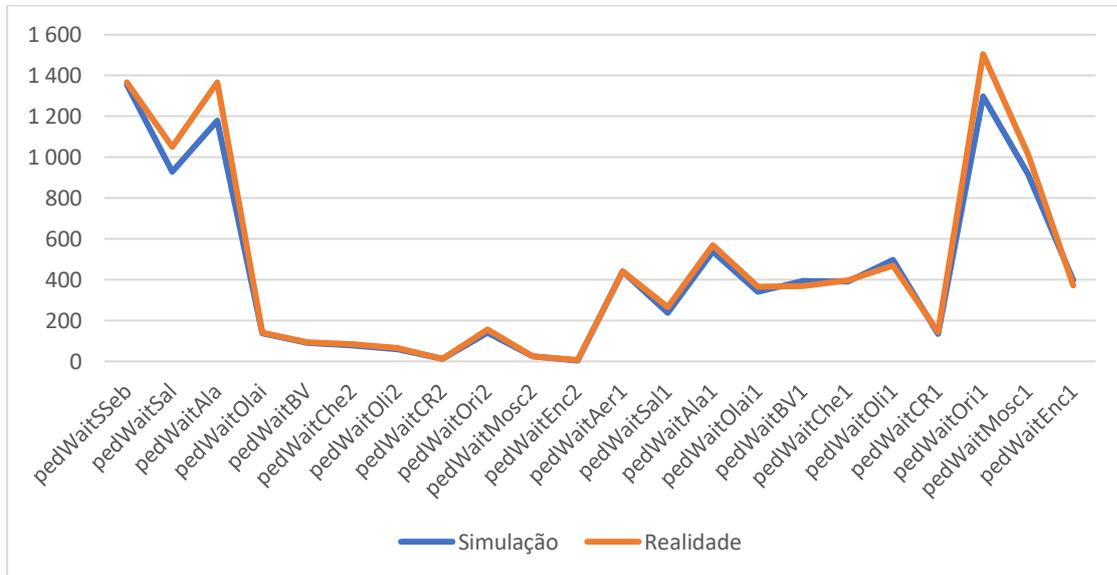
Anexo A7- Gráficos da procura por hora por plataforma obtidos através da Simulação e Realidade

Gráfico 36- Passageiros por plataforma 2ª feira 6:00-7:30



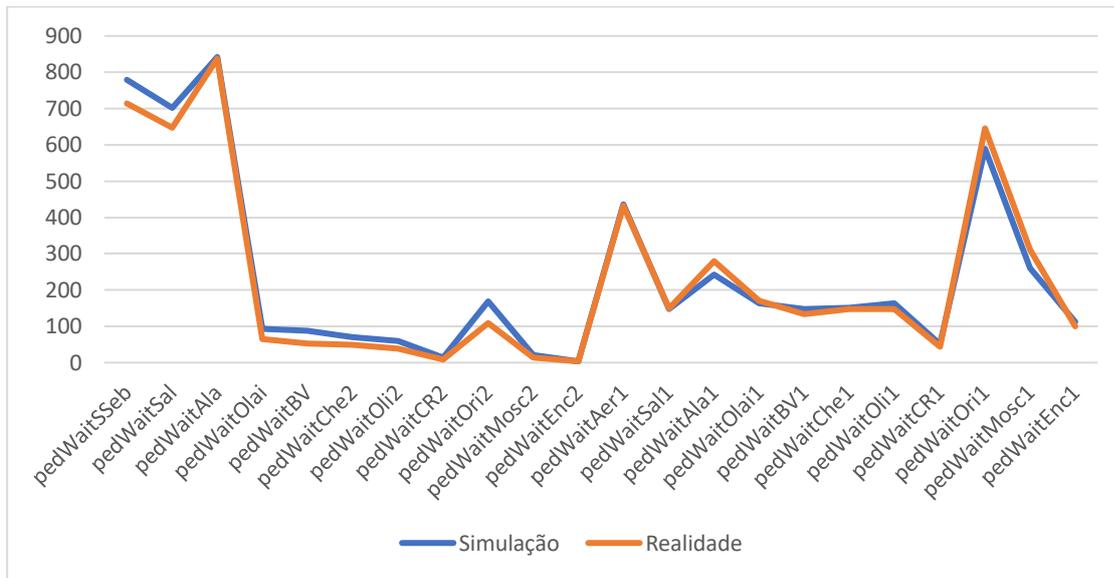
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 37- Passageiros por plataforma 2ª feira 7:30-9:30



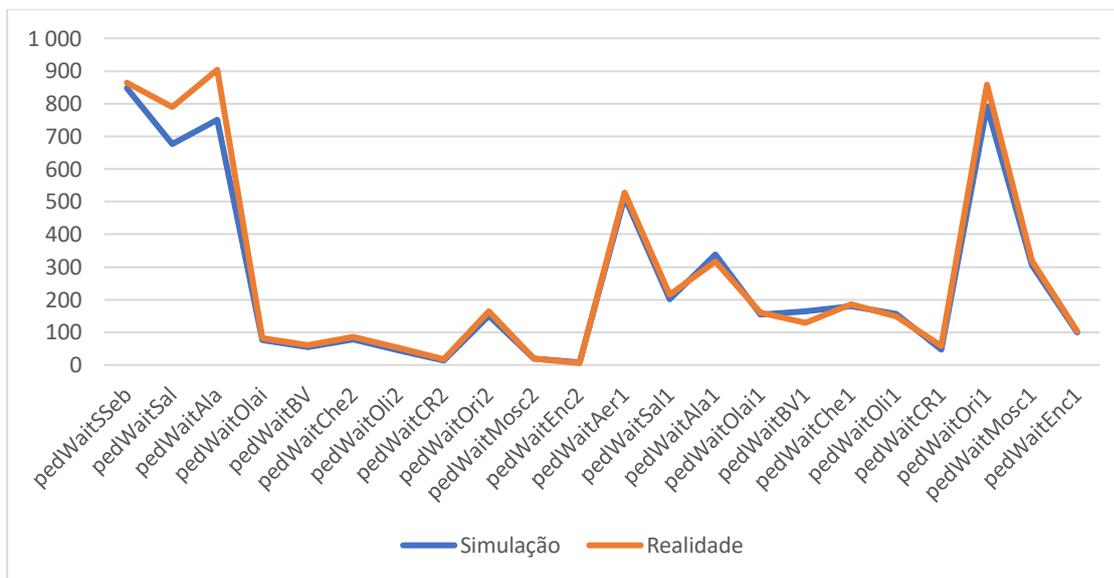
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 38- Passageiros por plataforma 2ª feira 9:30-12:00



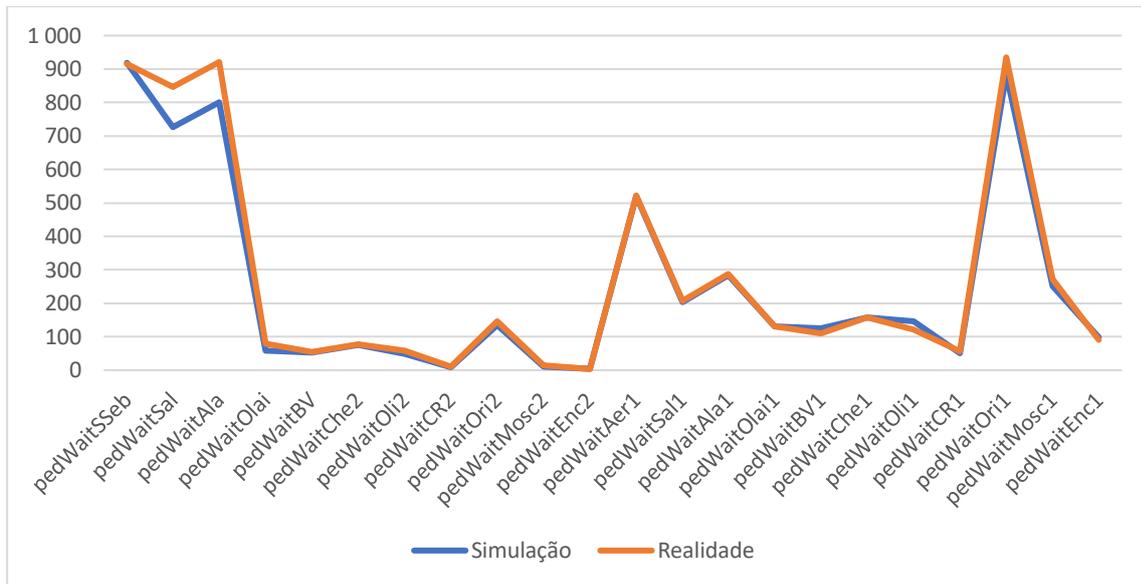
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 39- Passageiros por plataforma 2ª feira 12:00-14:30



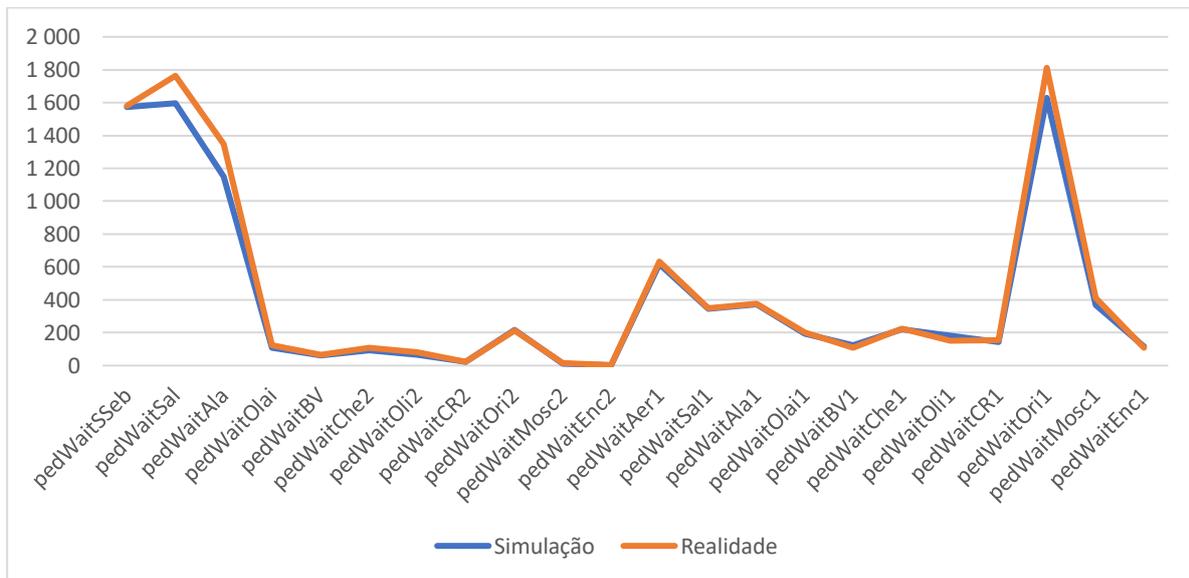
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 40- Passageiros por plataforma 2ª feira 14:30-17:00



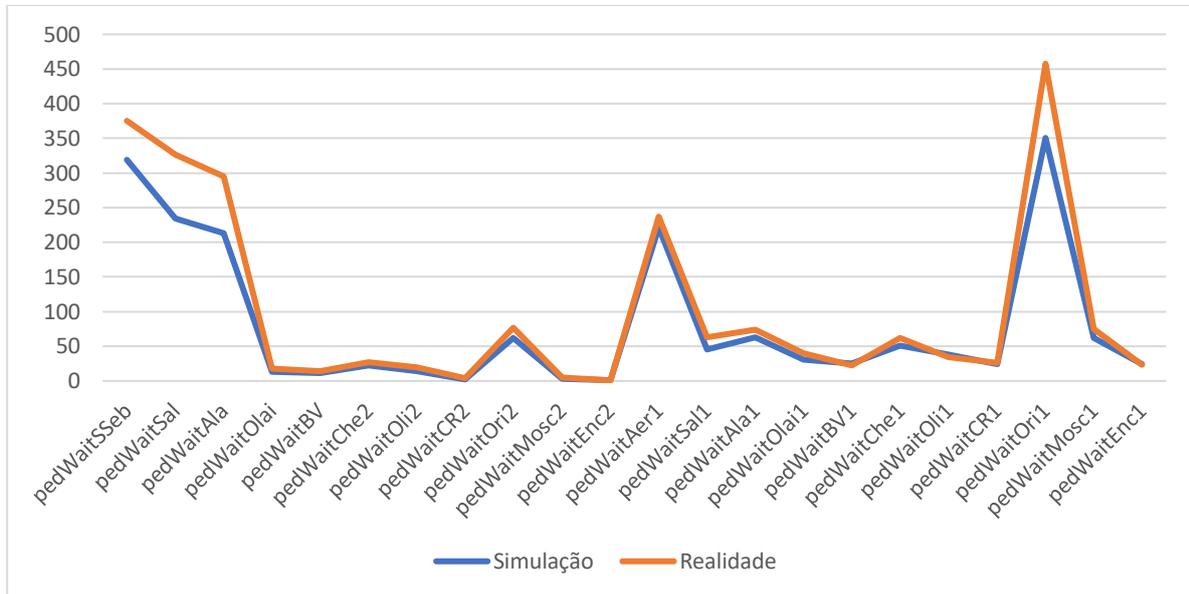
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 41- Passageiros por plataforma 2ª feira 17:00-20:00



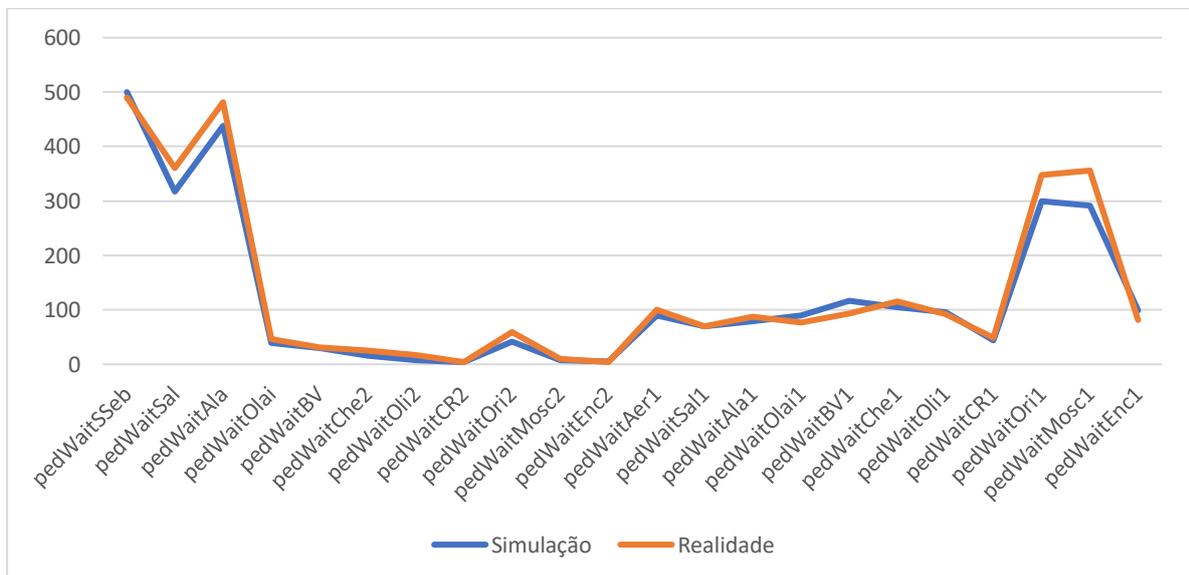
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 42- Passageiros por plataforma 2ª feira 20:00-01:30



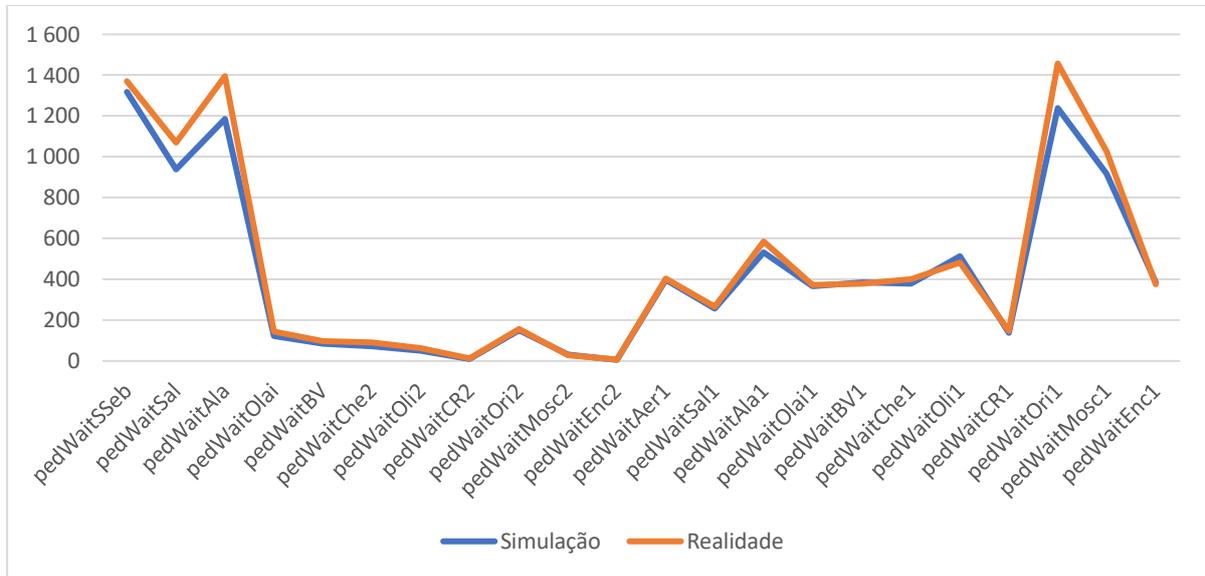
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 43- Passageiros por plataforma 3ª feira 6:00-7:30



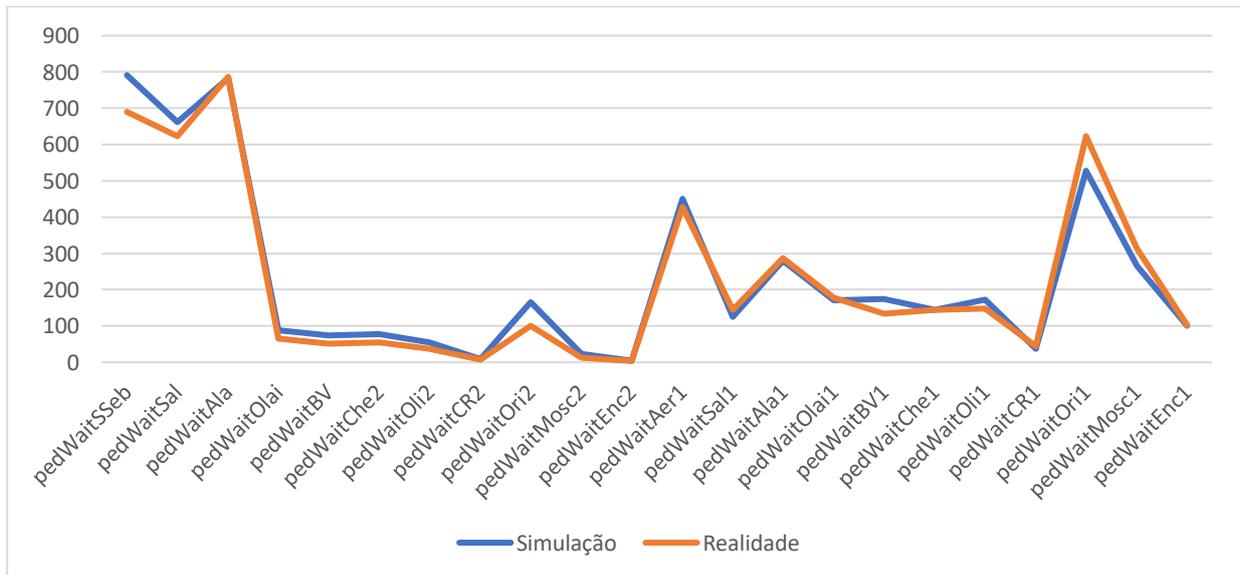
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 44- Passageiros por plataforma 3ª feira 7:30-9:30



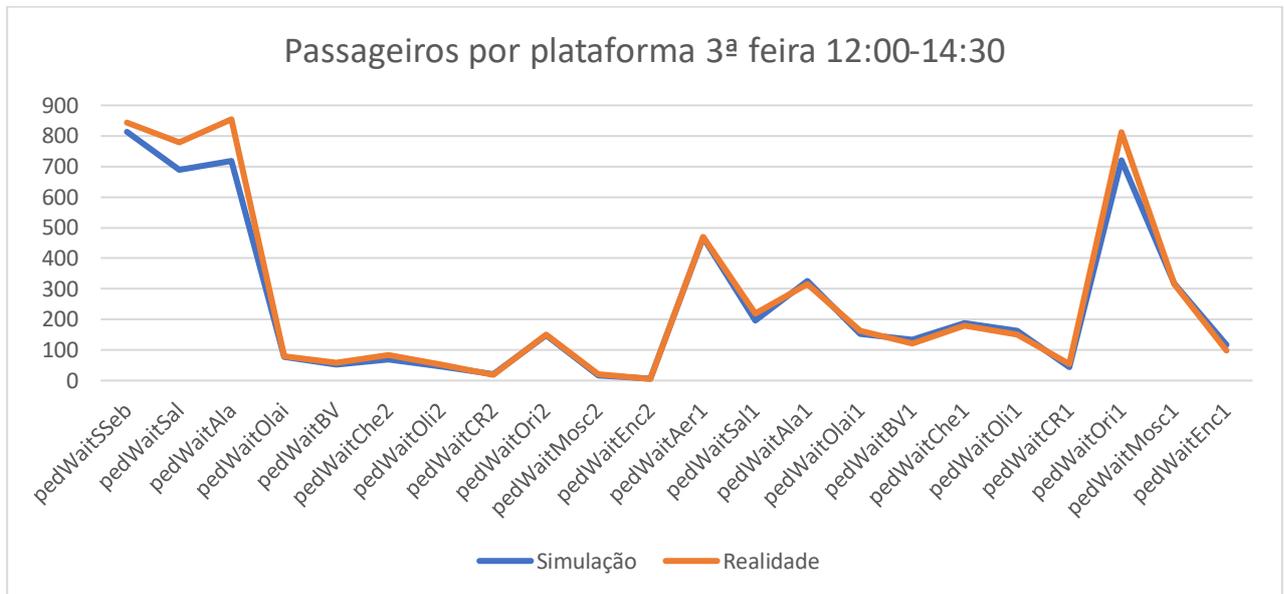
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 45- Passageiros por plataforma 3ª feira 9:30-12:00



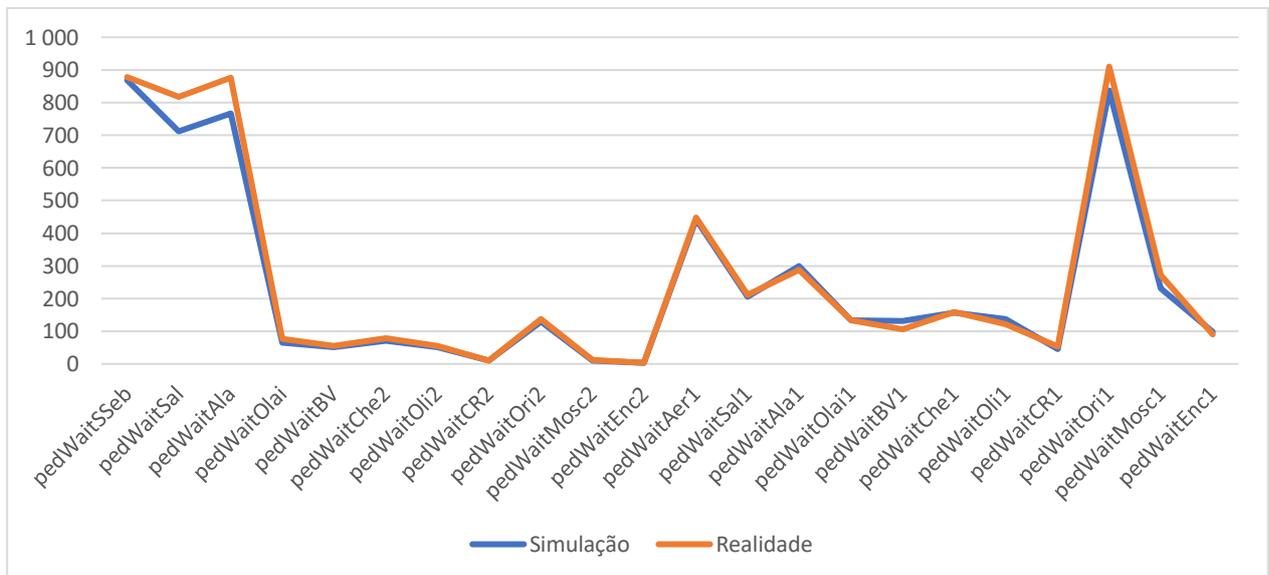
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 46- Passageiros por plataforma 3ª feira 12:00-14:30



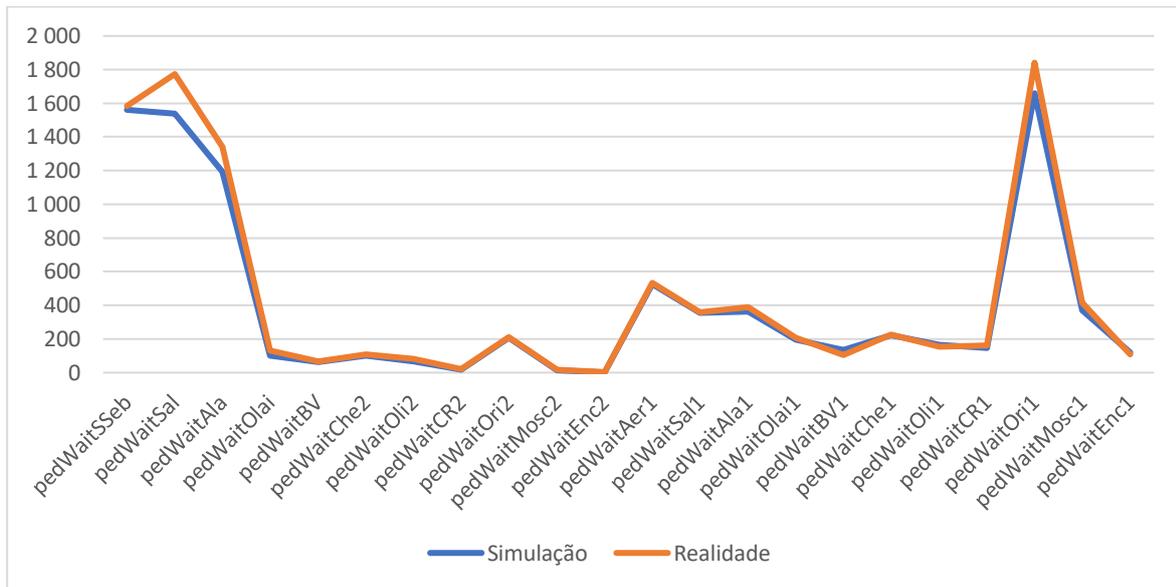
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 47- Passageiros por plataforma 3ª feira 14:30-17:00



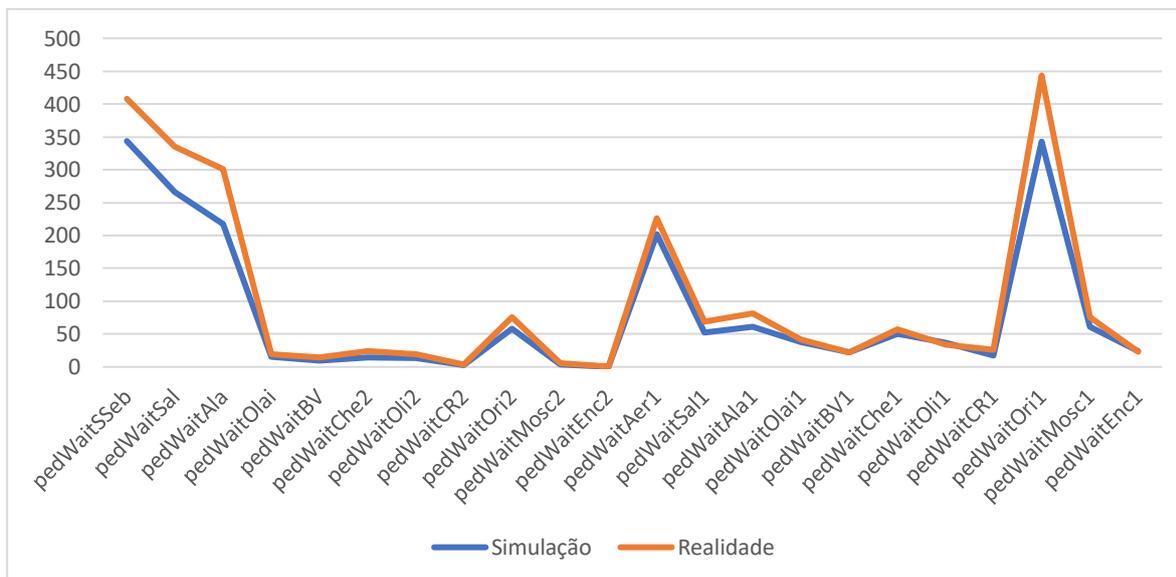
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 48- Passageiros por plataforma 3ª feira 17:00-20:00



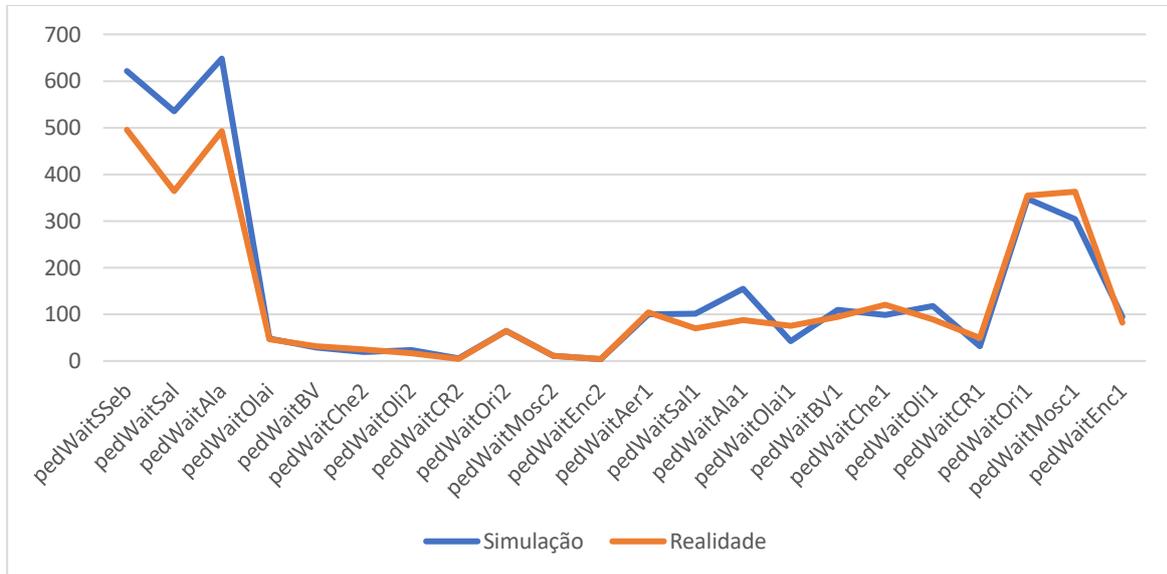
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 49- Passageiros por plataforma 3ª feira 20:00-01:30



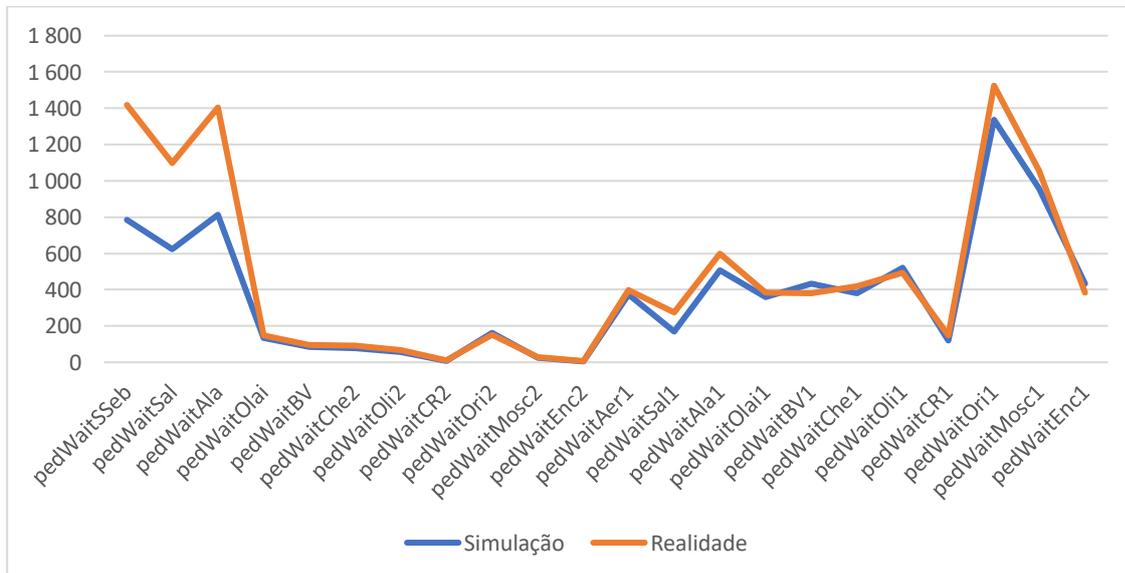
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 50- Passageiros por plataforma 4ª feira 6:00-7:30



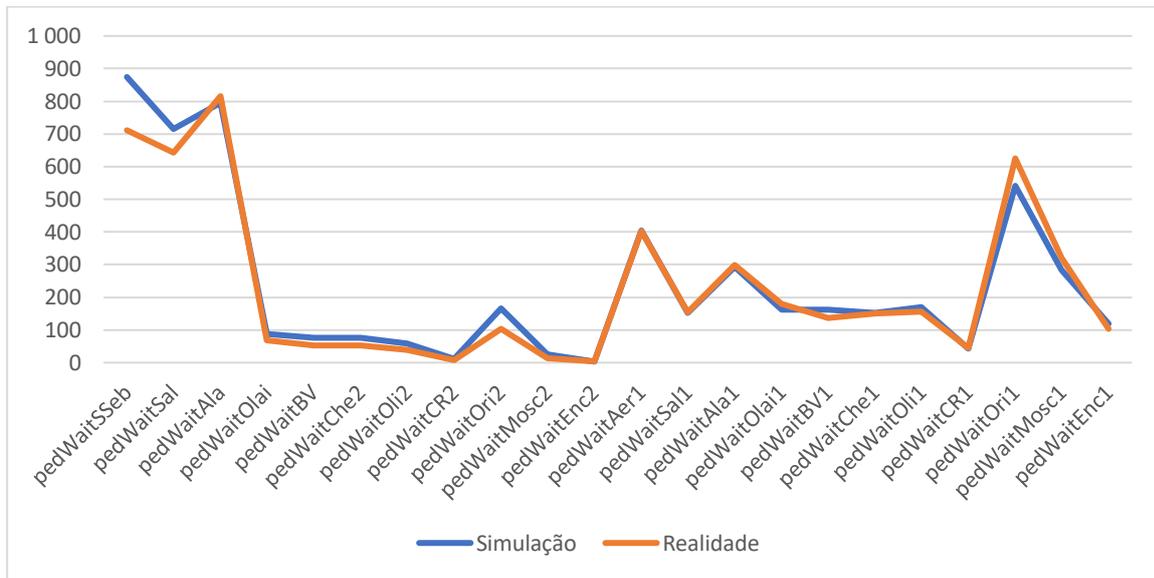
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 51- Passageiros por plataforma 4ª feira 7:30-9:30



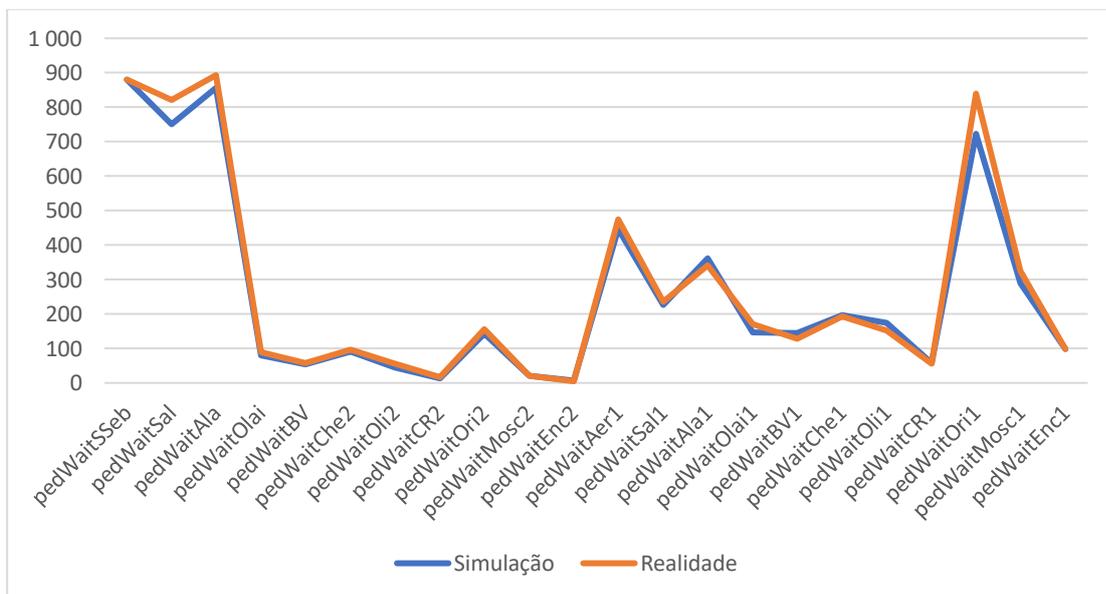
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 52- Passageiros por plataforma 4ª feira 9:30-12:00



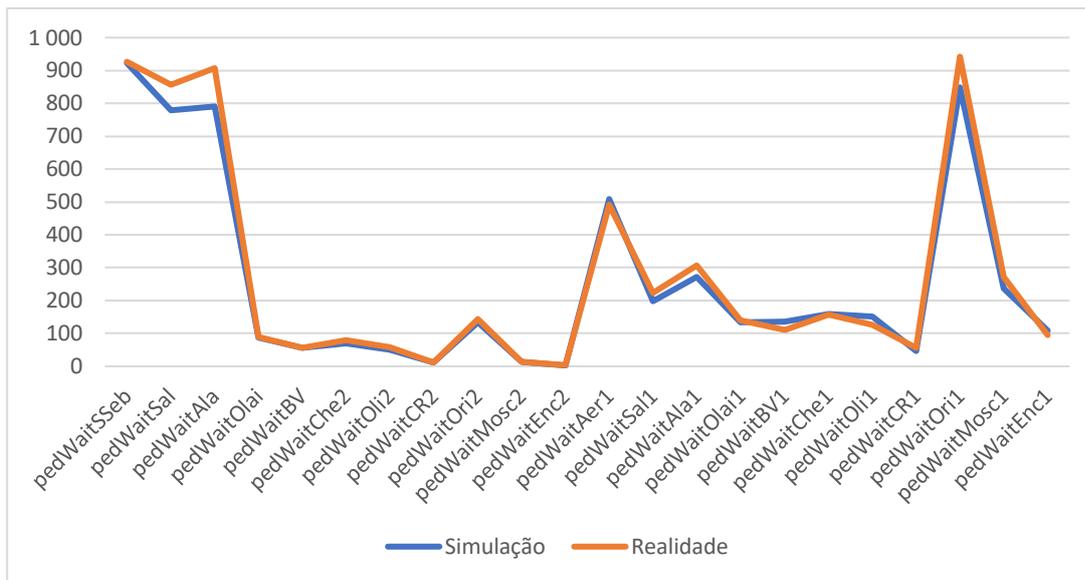
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 53- Passageiros por plataforma 4ª feira 12:00-14:30



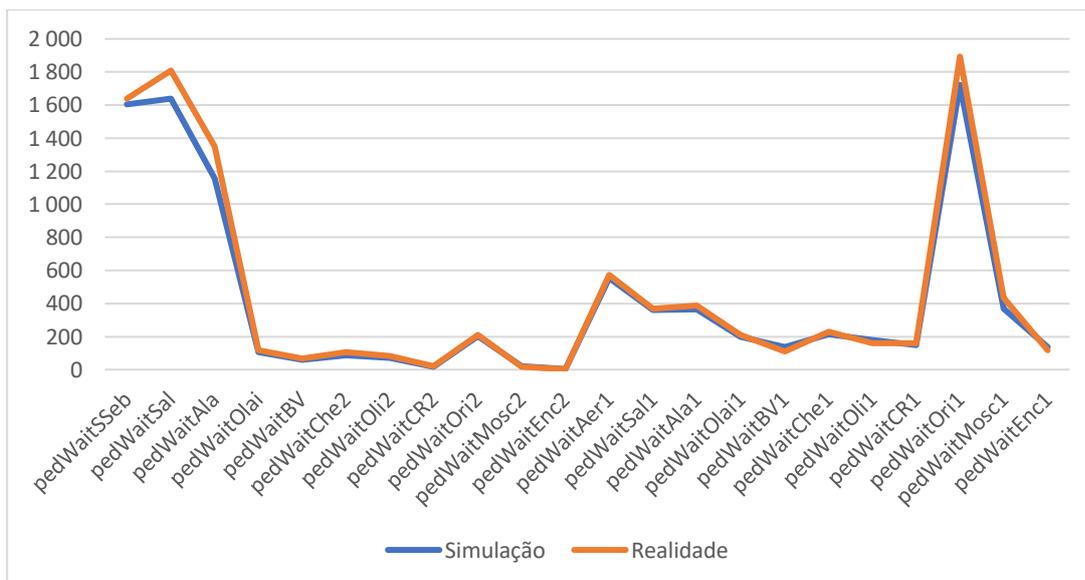
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 54- Passageiros por plataforma 4ª feira 14:30-17:00



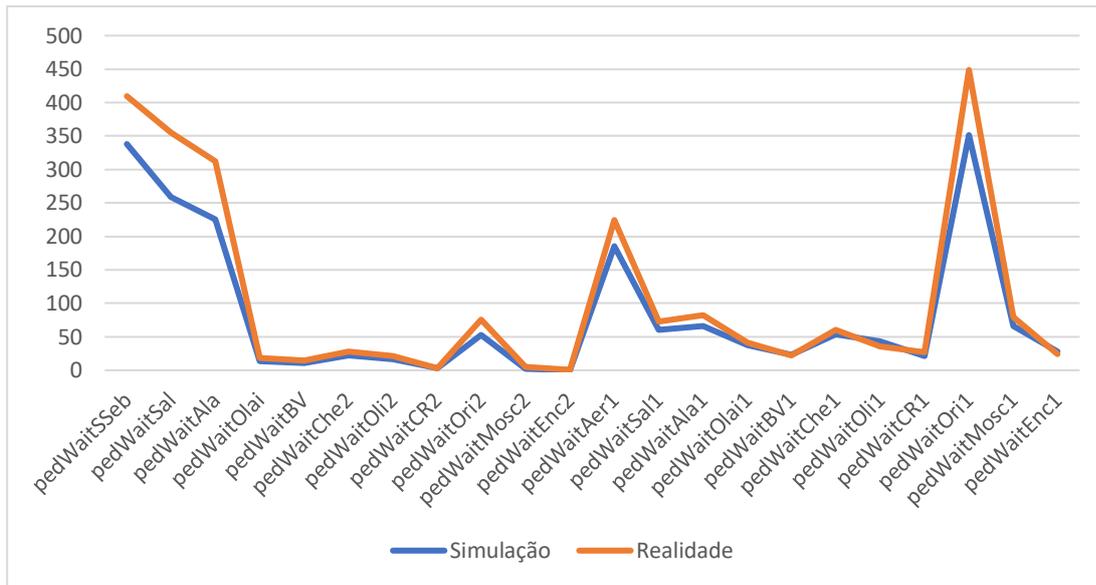
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 55- Passageiros por plataforma 4ª feira 17:00-20:00



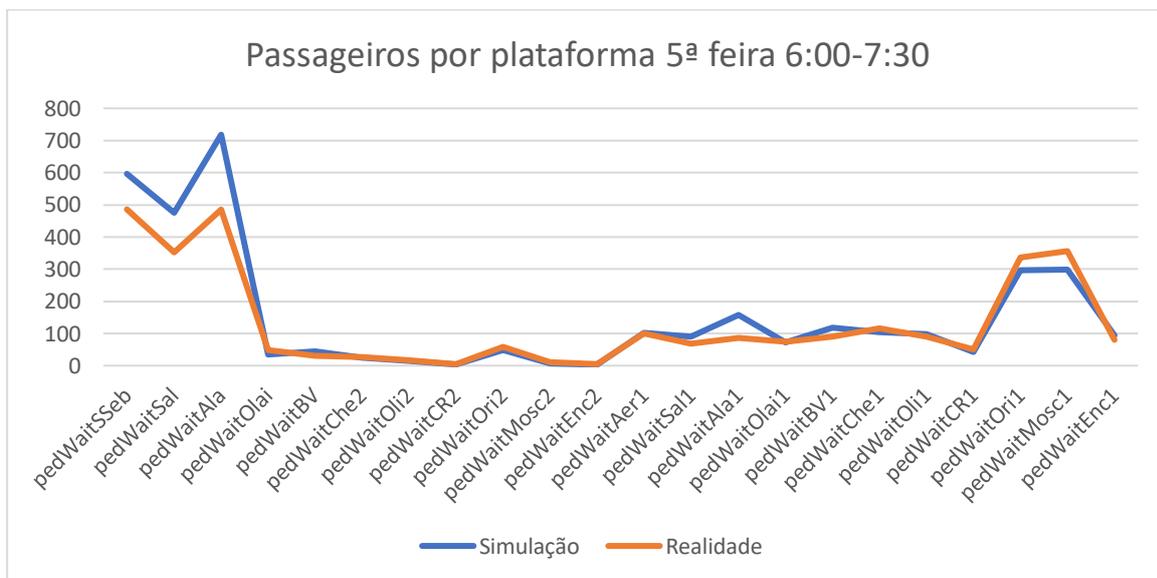
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 56- Passageiros por plataforma 4ª feira 20:00-01:30



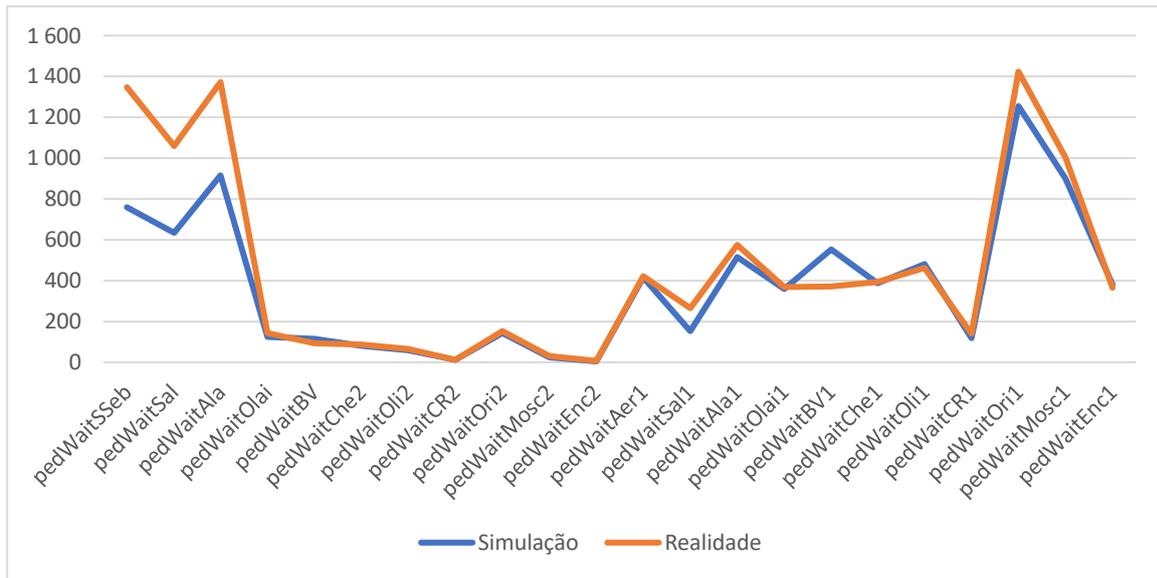
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 57- Passageiros por plataforma 5ª feira 6:00-7:30



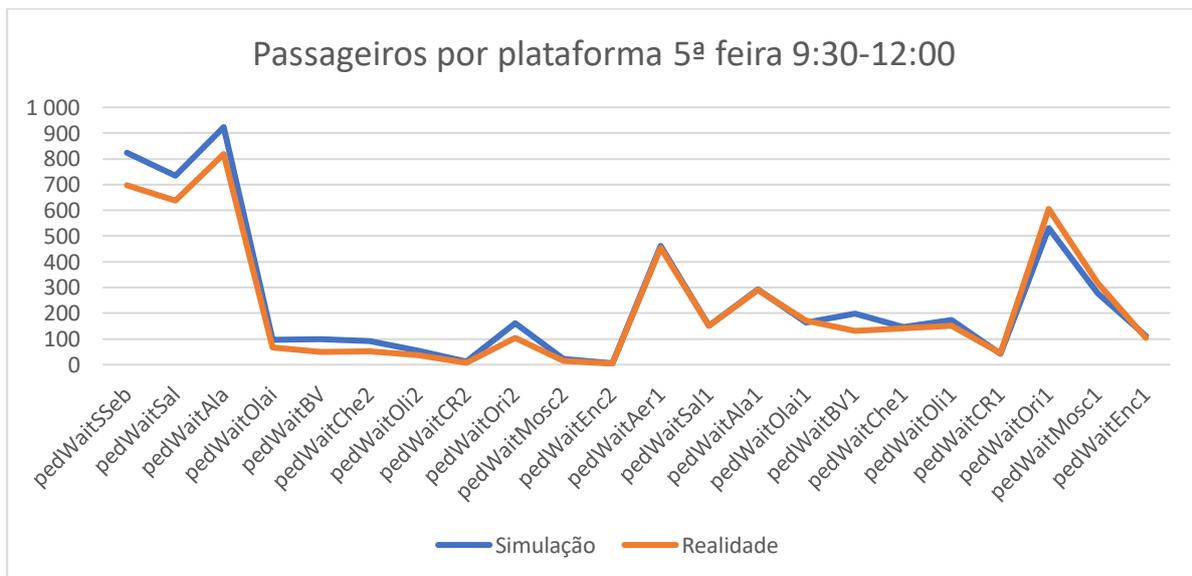
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 58- Passageiros por plataforma 5ª feira 7:30-9:30



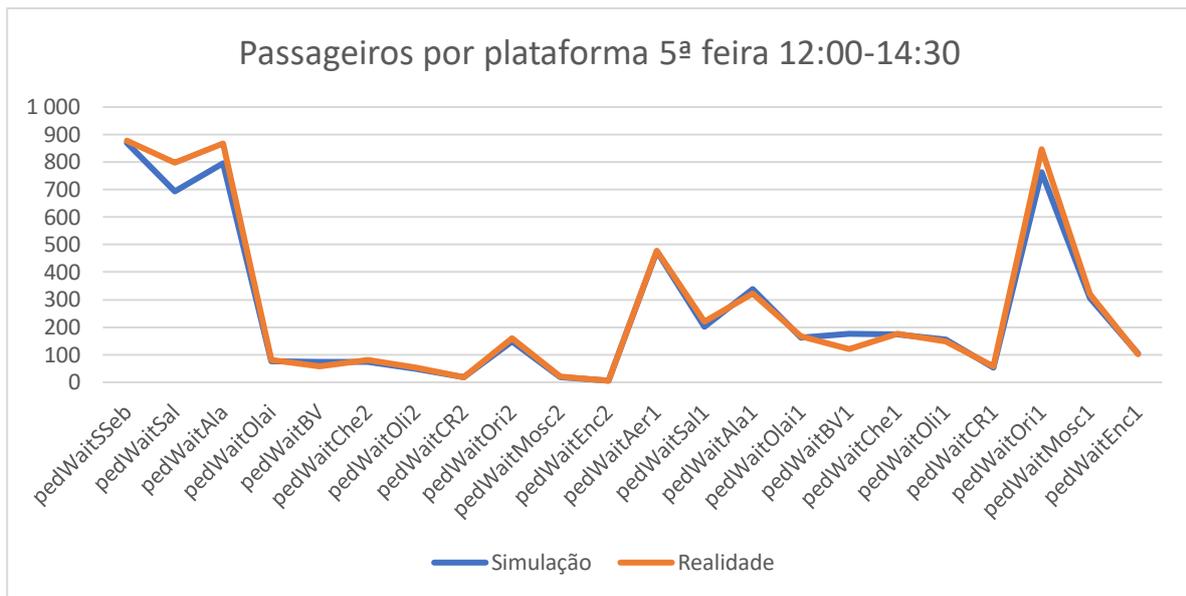
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 59- Passageiros por plataforma 5ª feira 9:30-12:00



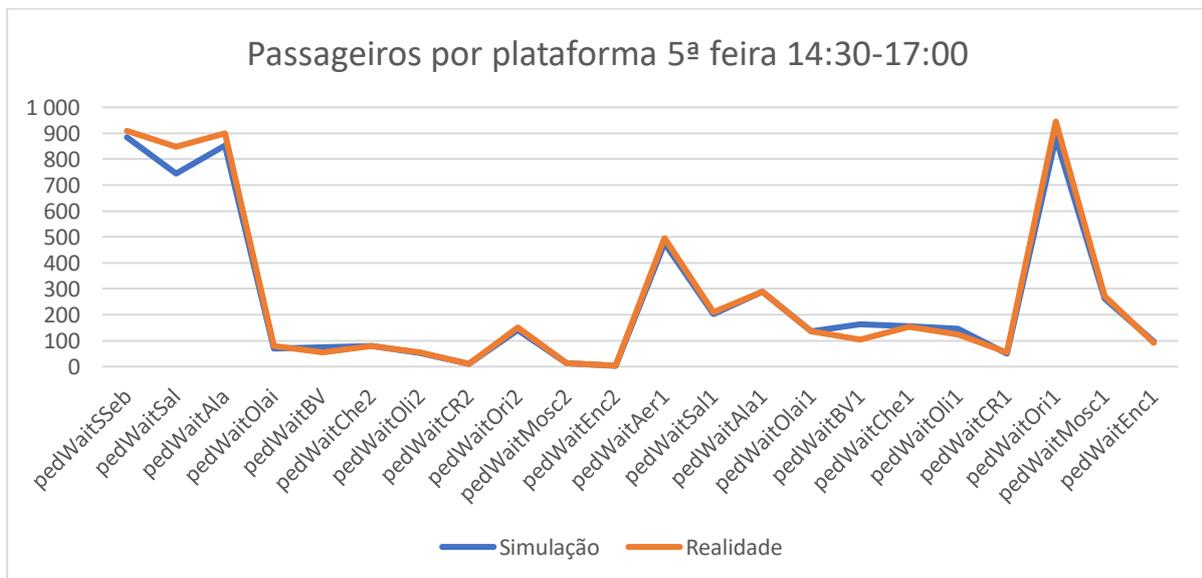
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 60- Passageiros por plataforma 5ª feira 12:00-14:30



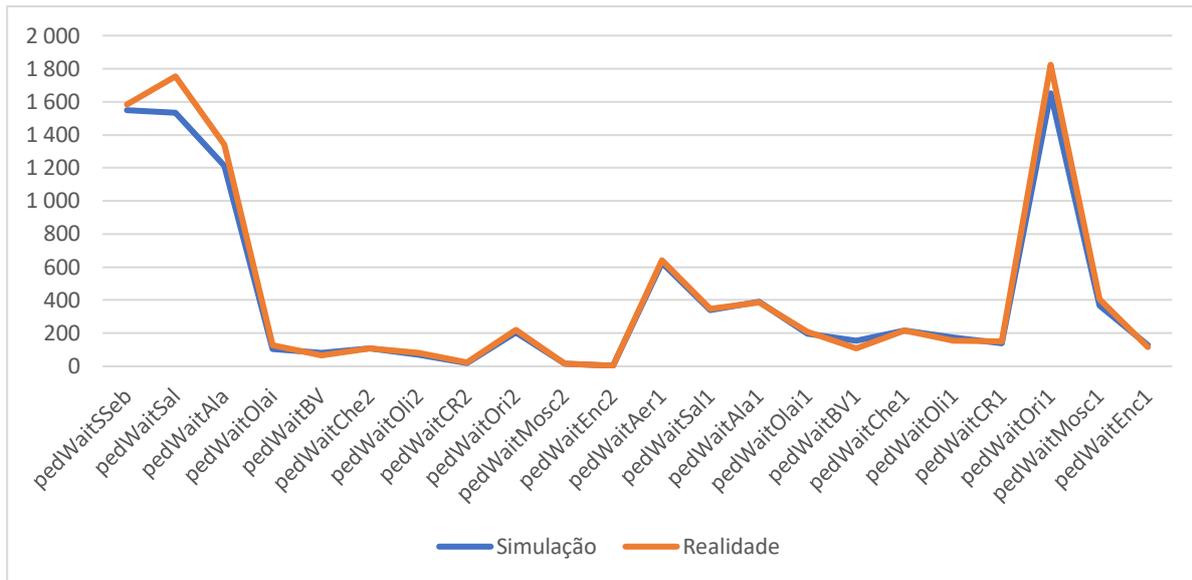
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 61- Passageiros por plataforma 5ª feira 14:30-17:00



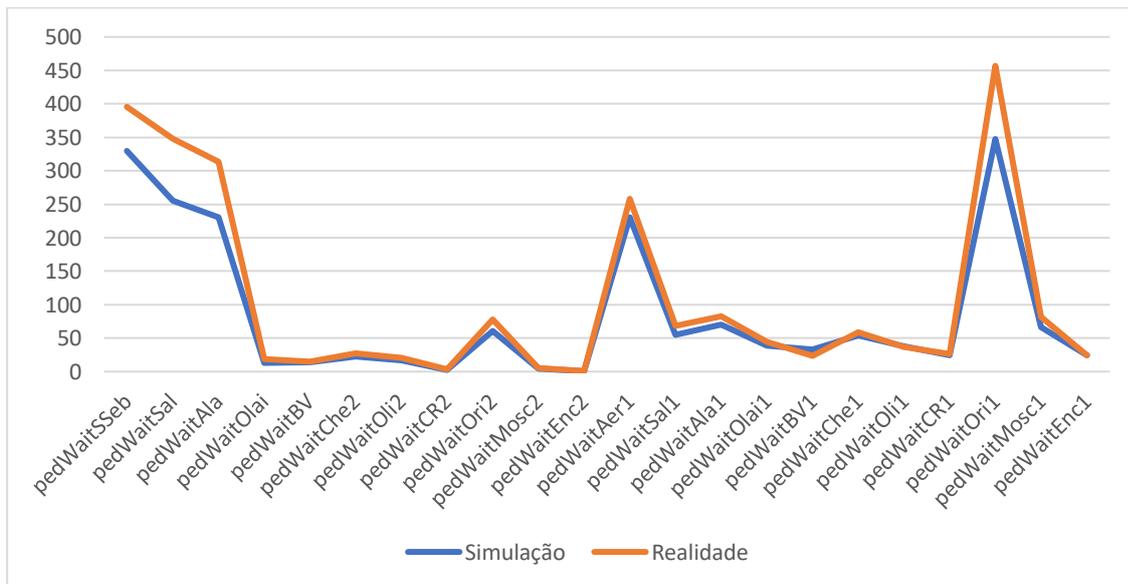
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 62- Passageiros por plataforma 5ª feira 17:00-20:00



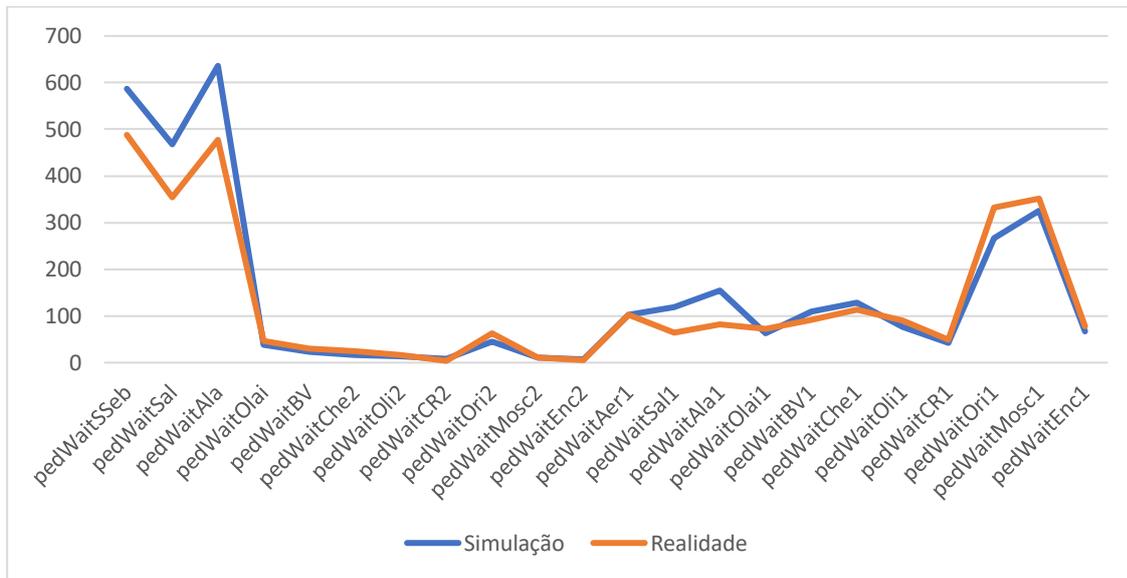
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 63- Passageiros por plataforma 5ª feira 20:00-01:30



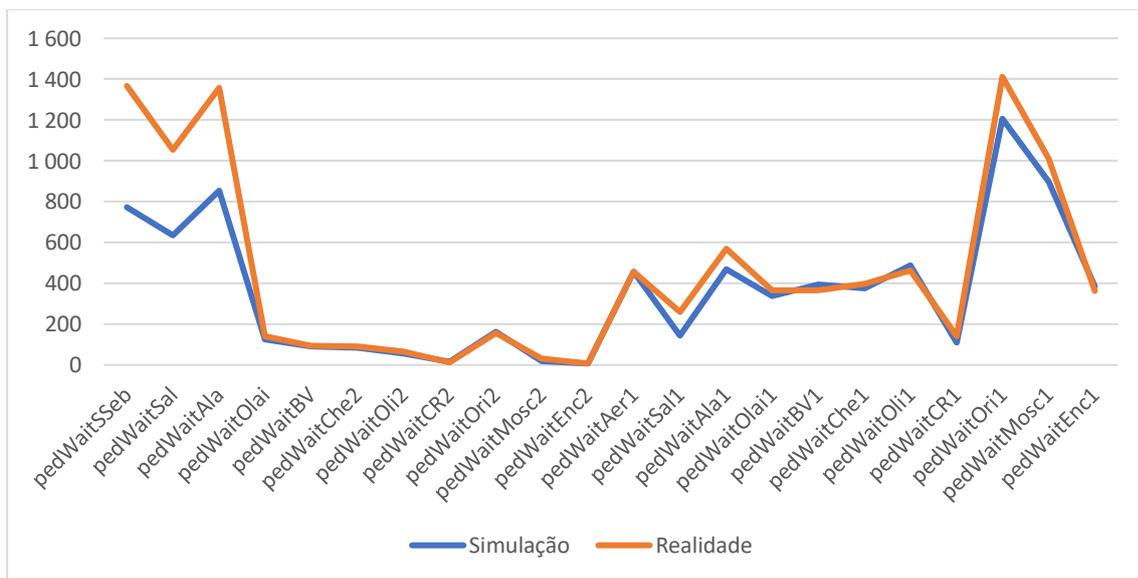
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 64- Passageiros por plataforma 6ª feira 6:00-7:30



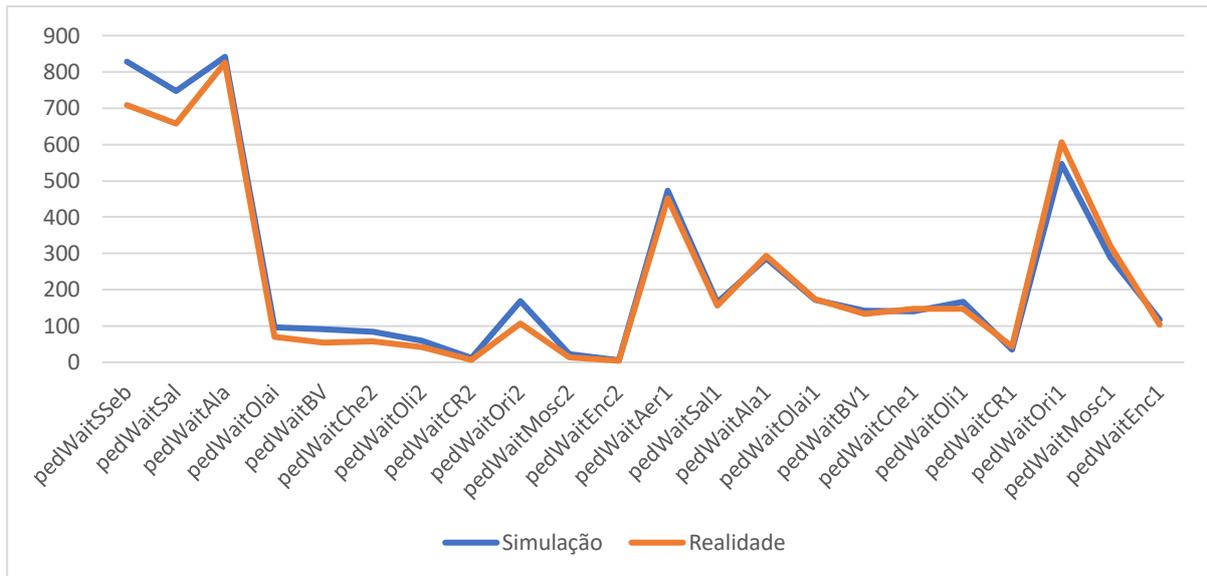
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 65- Passageiros por plataforma 6ª feira 7:30-9:30



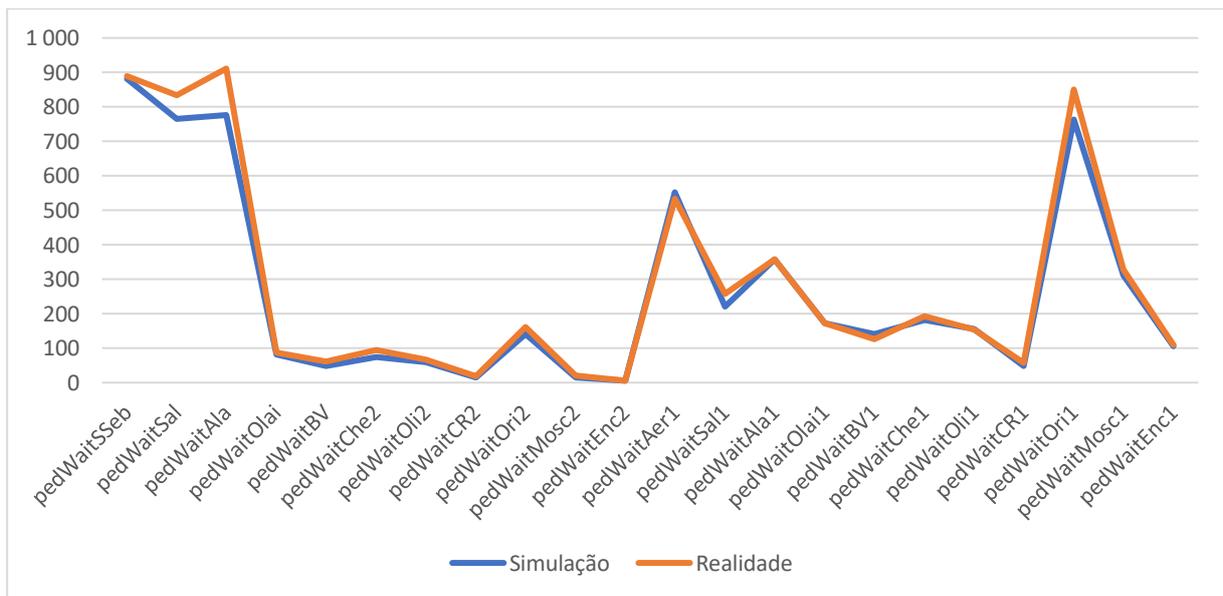
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 66- Passageiros por plataforma 6ª feira 9:30-12:00



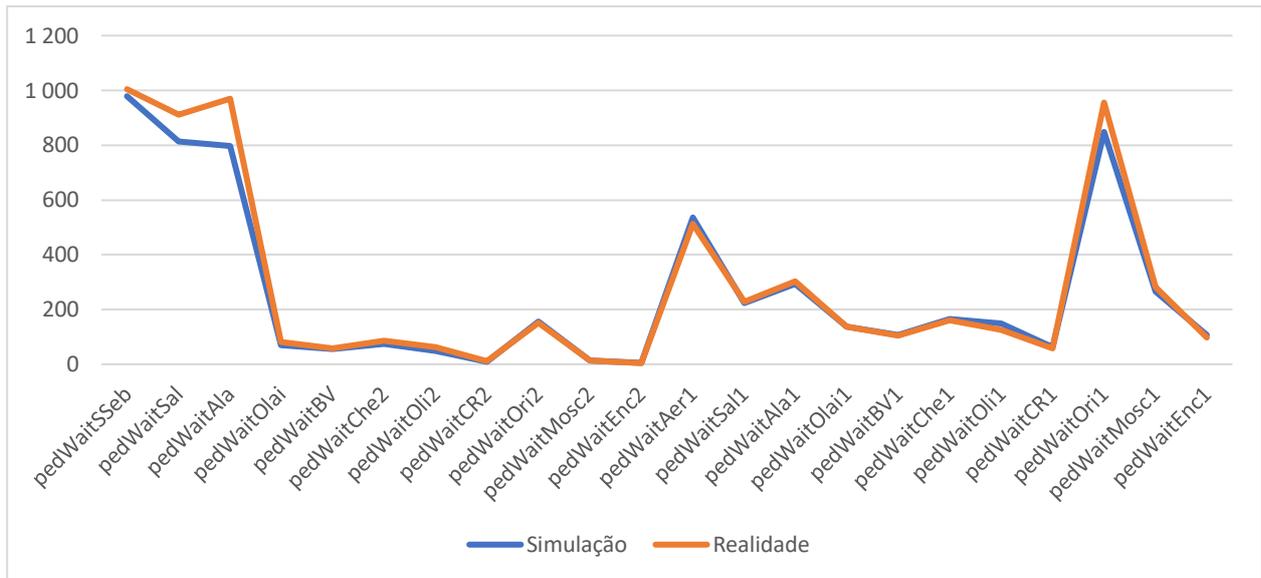
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 67- Passageiros por plataforma 6ª feira 12:00-14:30



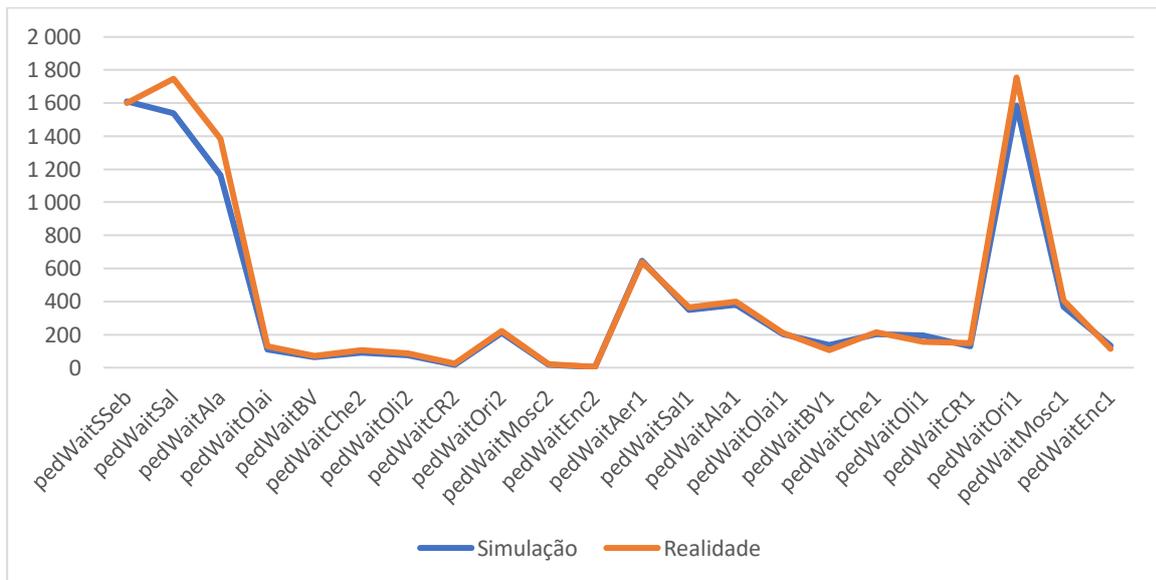
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 68- Passageiros por plataforma 6ª feira 14:30-17:00



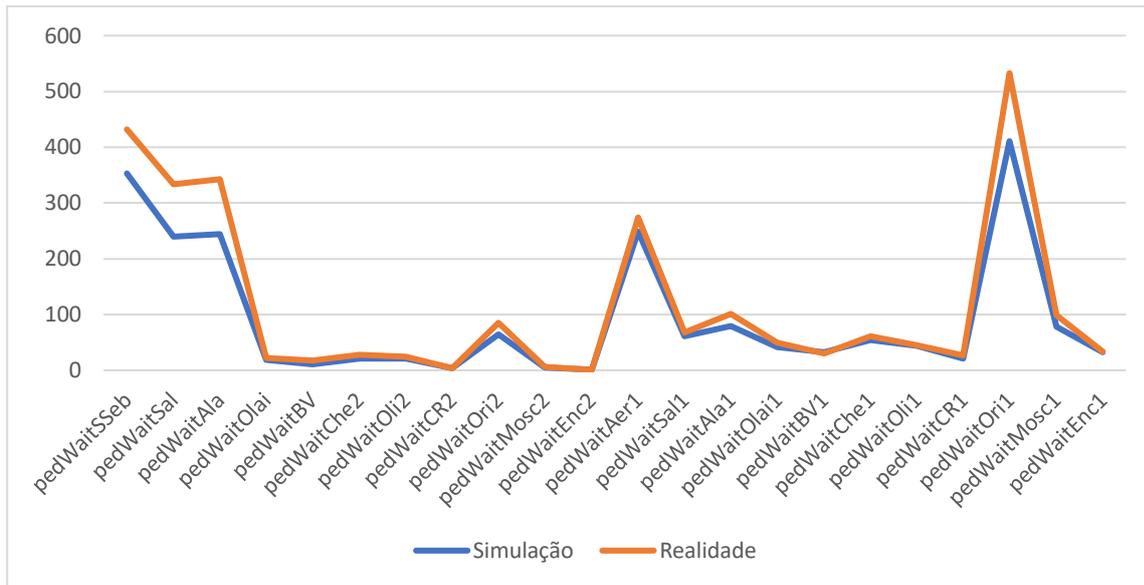
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 69- Passageiros por plataforma 6ª feira 17:00-20:00



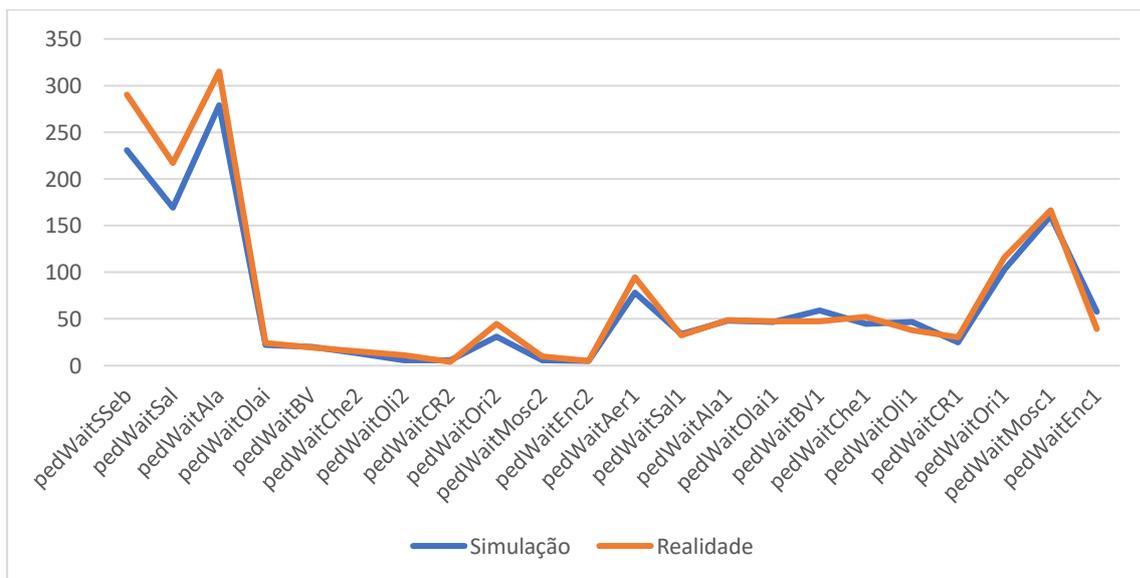
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 70- Passageiros por plataforma 6ª feira 20:00-01:30



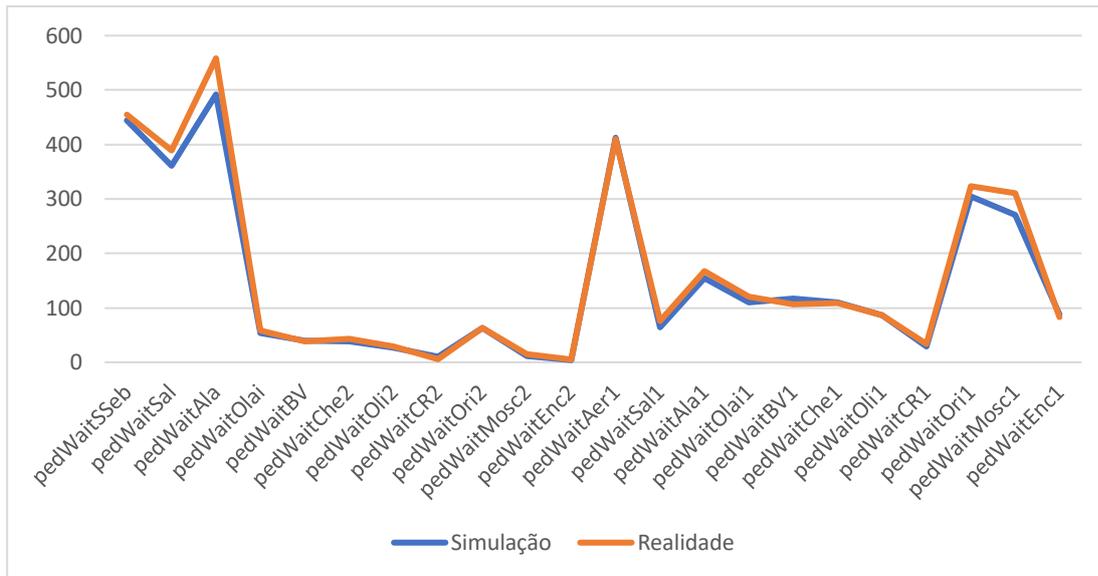
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 71- Passageiros por plataforma Sábado 6:00-7:30



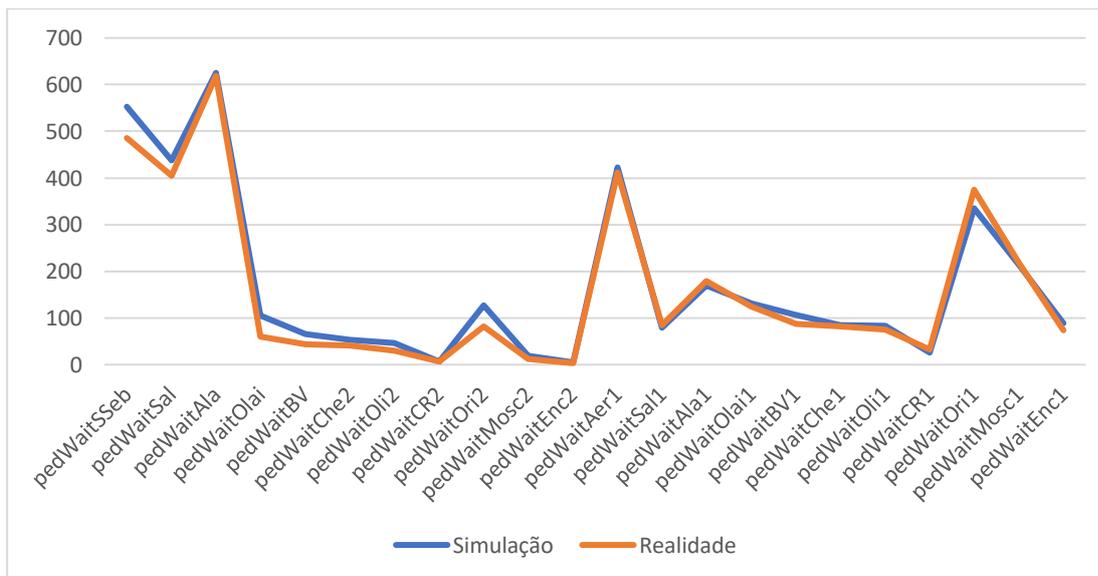
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 72- Passageiros por plataforma Sábado 7:30-9:30



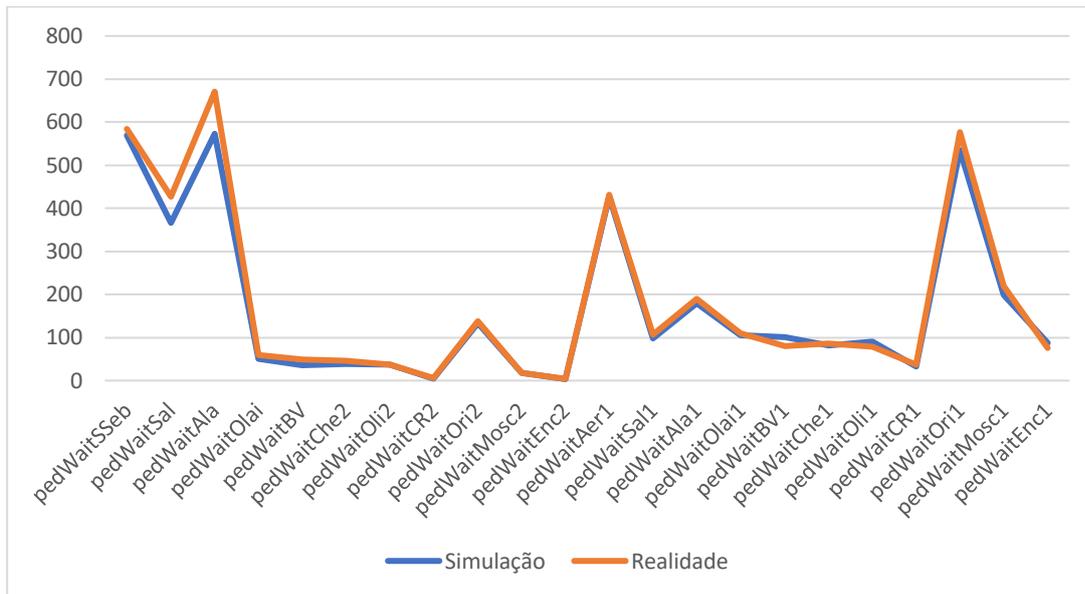
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 73- Passageiros por plataforma Sábado 9:30-12:00



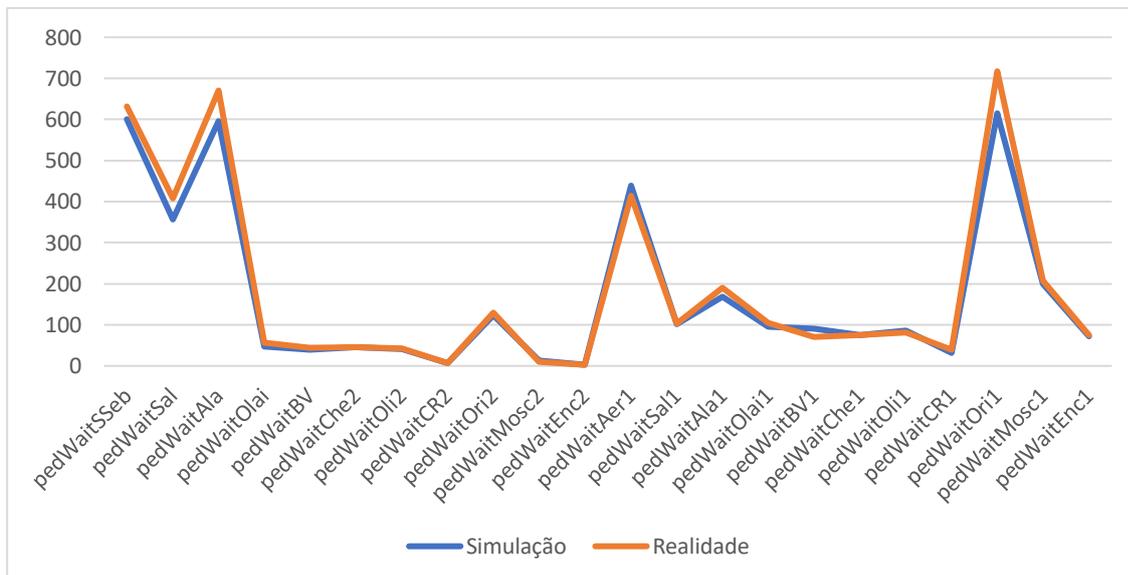
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 74- Passageiros por plataforma Sábado 12:00-14:30



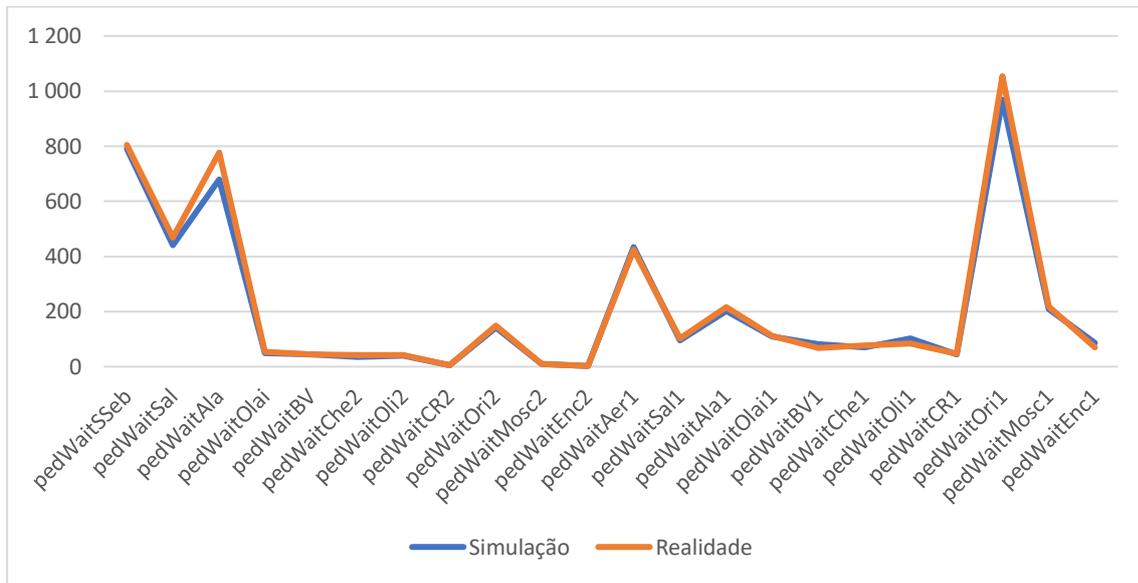
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 75- Passageiros por plataforma Sábado 14:30-17:00



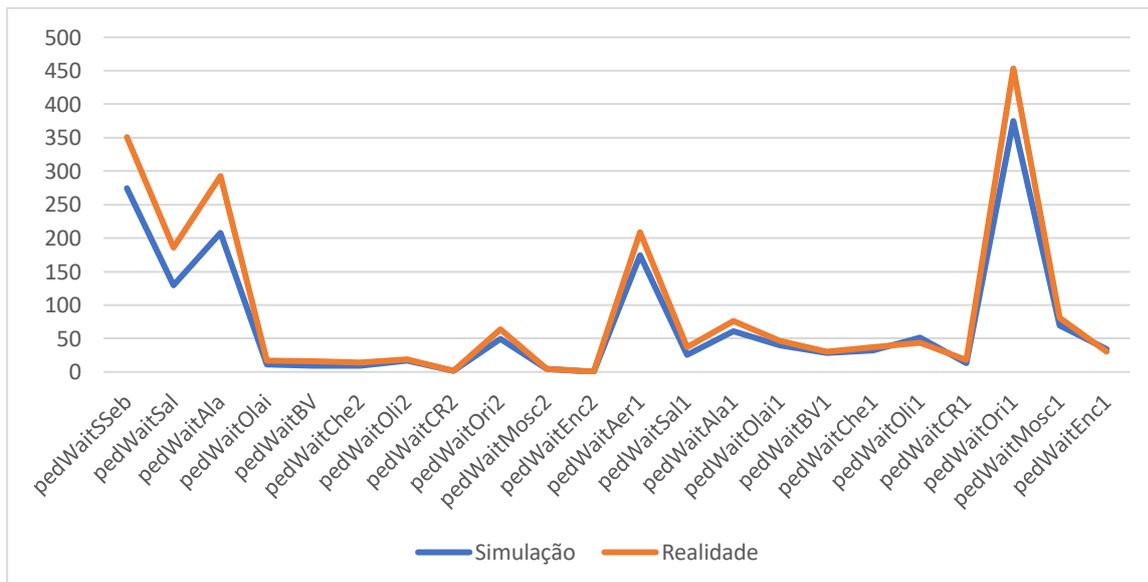
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 76- Passageiros por plataforma Sábado 17:00-20:00



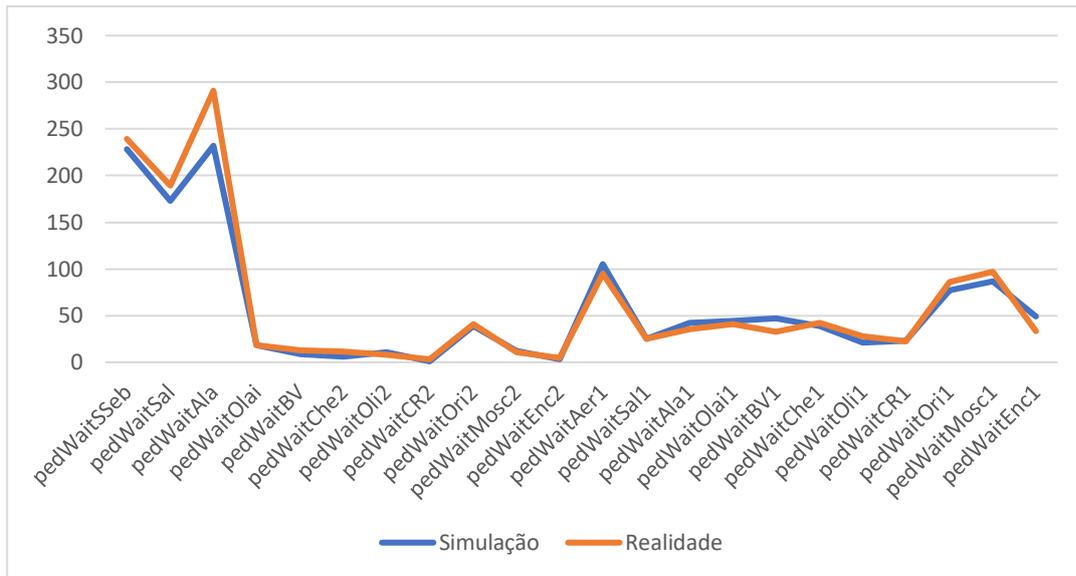
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 77- Passageiros por plataforma Sábado 20:00-01:30



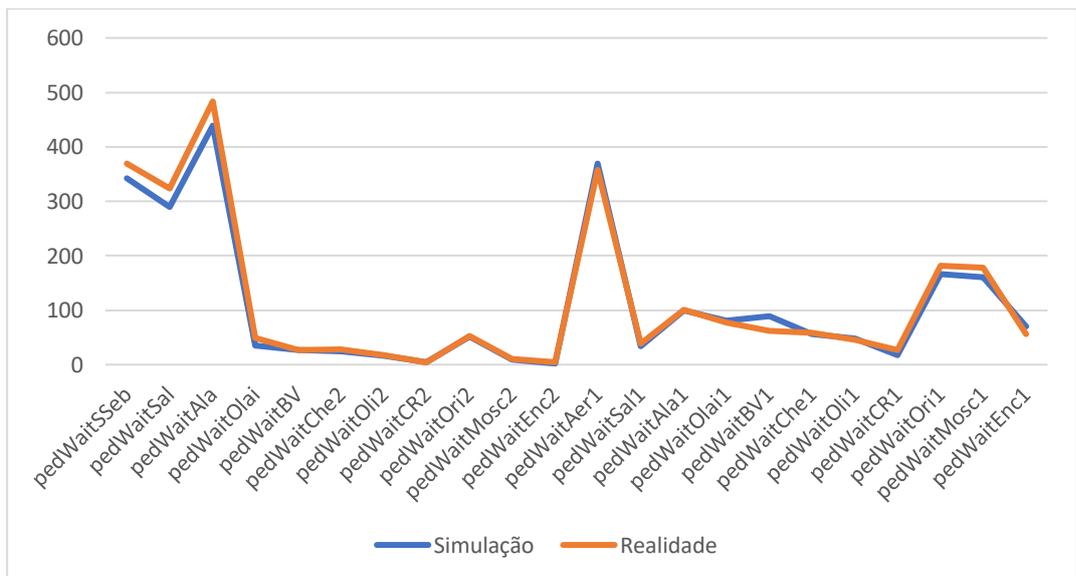
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 78- Passageiros por plataforma Domingo 6:00-7:30



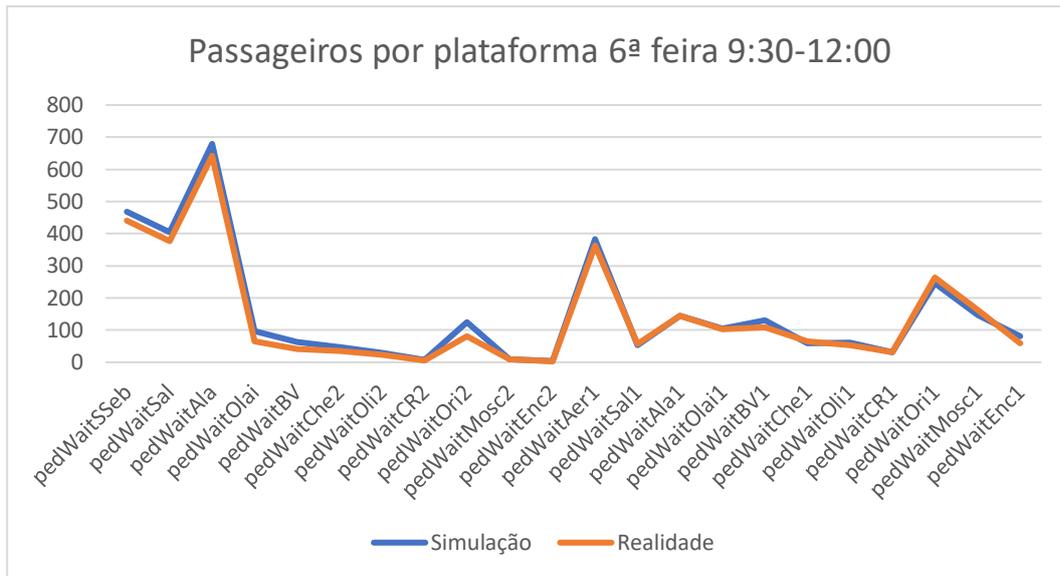
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 79- Passageiros por plataforma Domingo 7:30-9:30



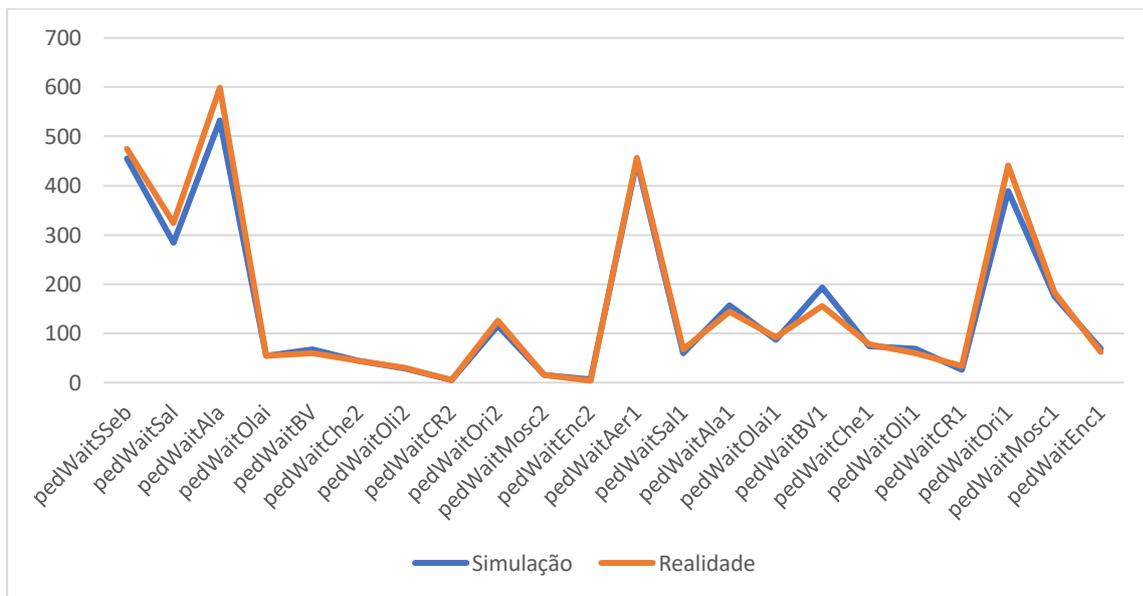
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 80- Passageiros por plataforma Domingo 9:30-12:00



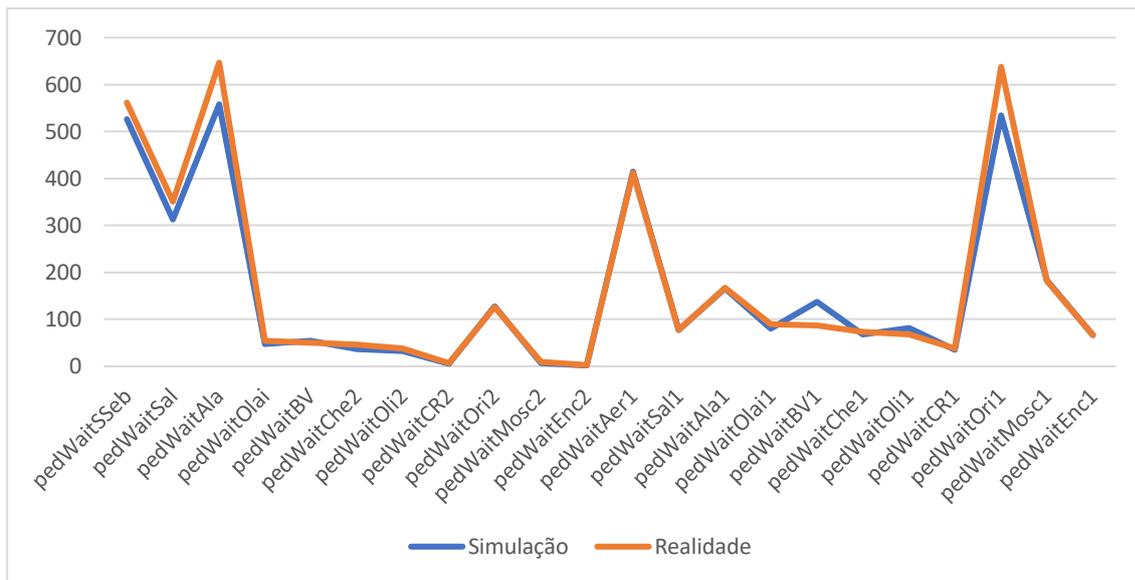
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 81- Passageiros por plataforma Domingo 12:00-14:30



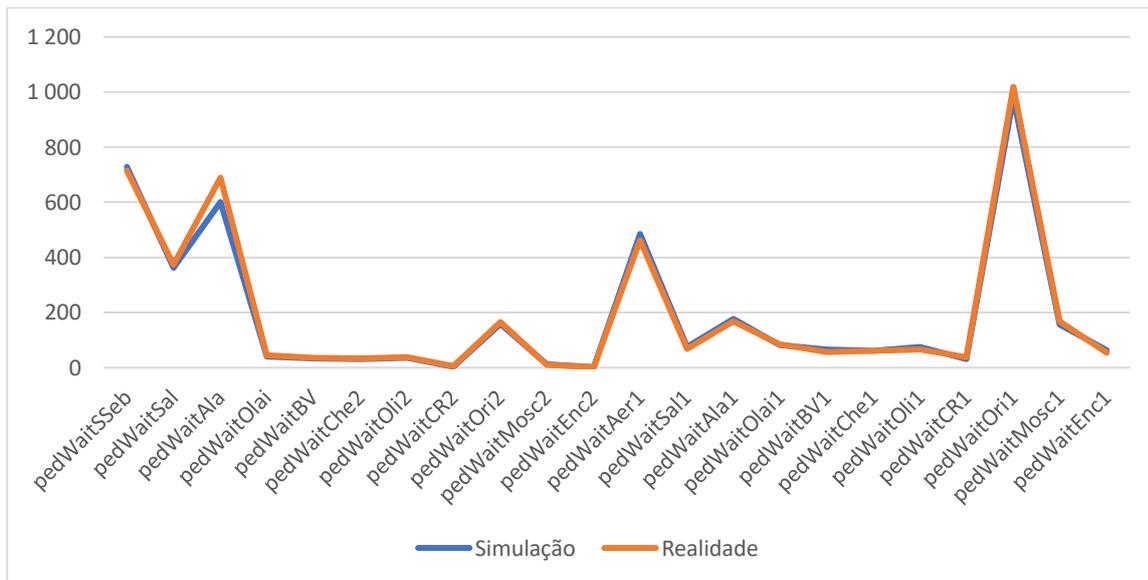
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 82- Passageiros por plataforma Domingo 14:30-17:00



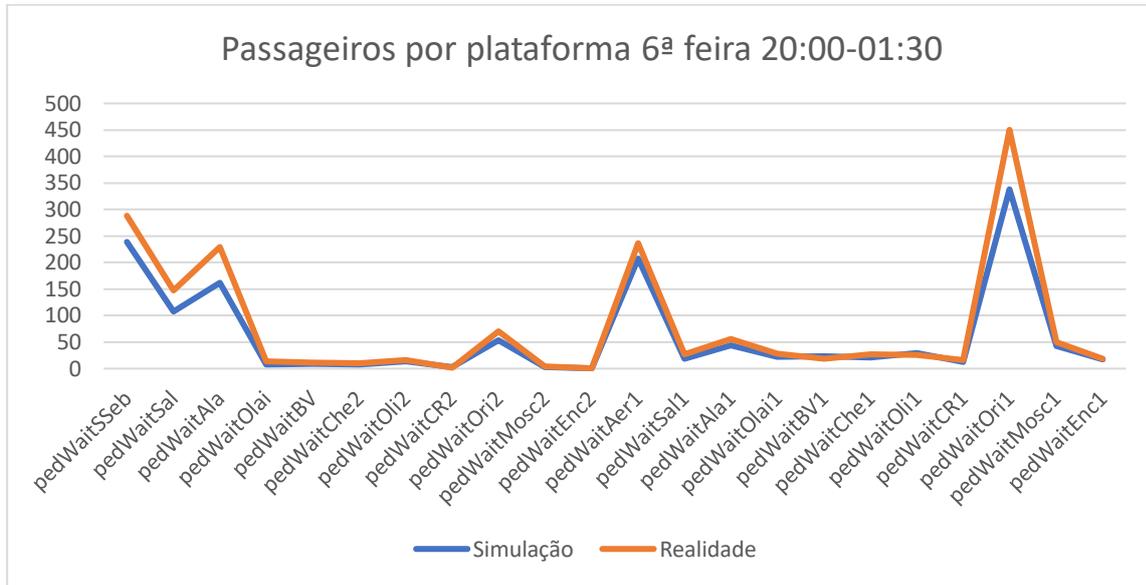
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 83- Passageiros por plataforma Domingo 17:00-20:00



(Fonte: Elaboração própria)

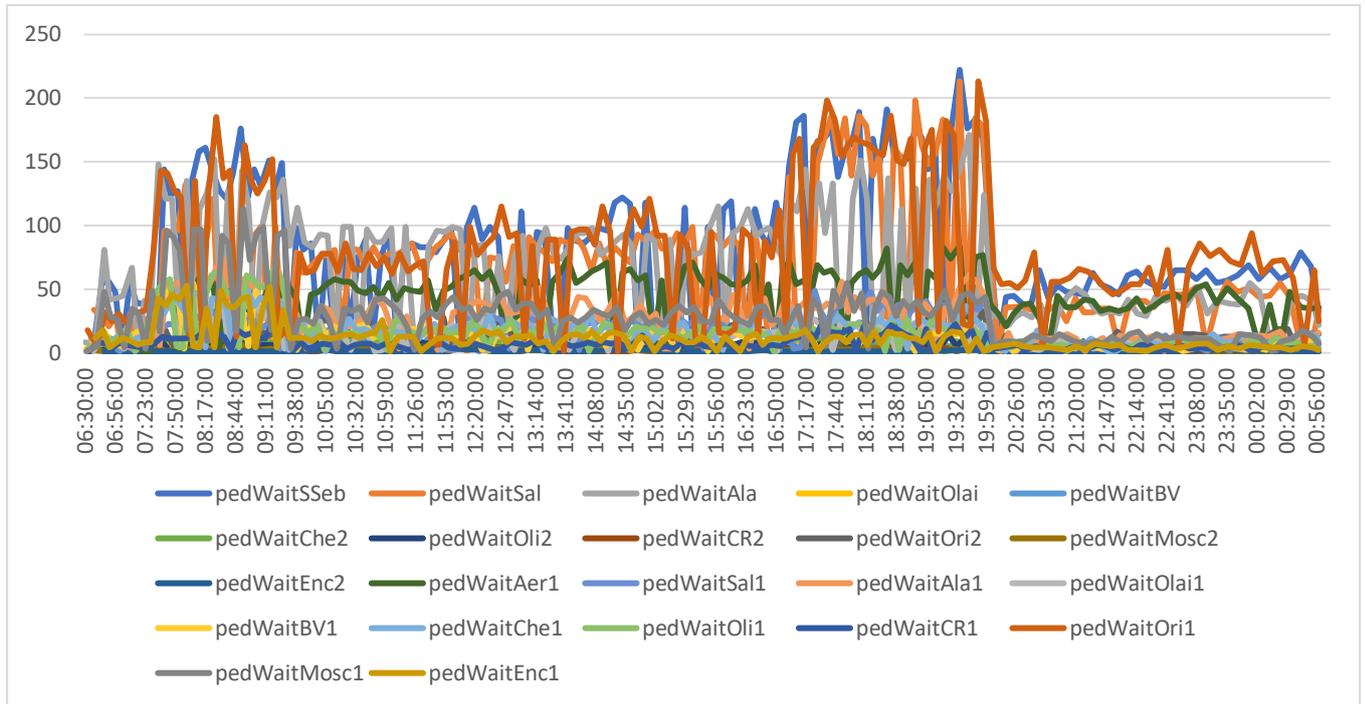
Gráfico 84- Passageiros por plataforma Domingo 20:00-01:30



(Fonte: Elaboração própria)

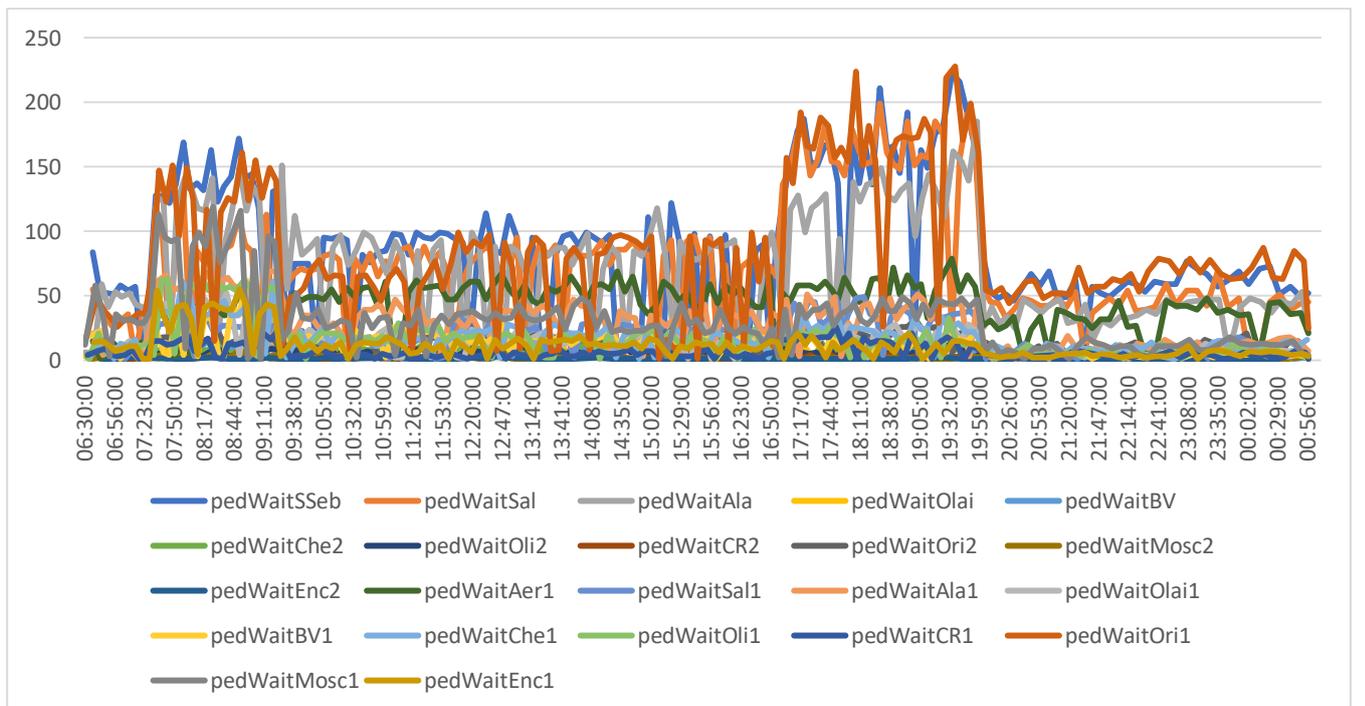
Anexo A8- Número de passageiros em espera

Gráfico 85- Número de passageiros em espera na 2ª feira



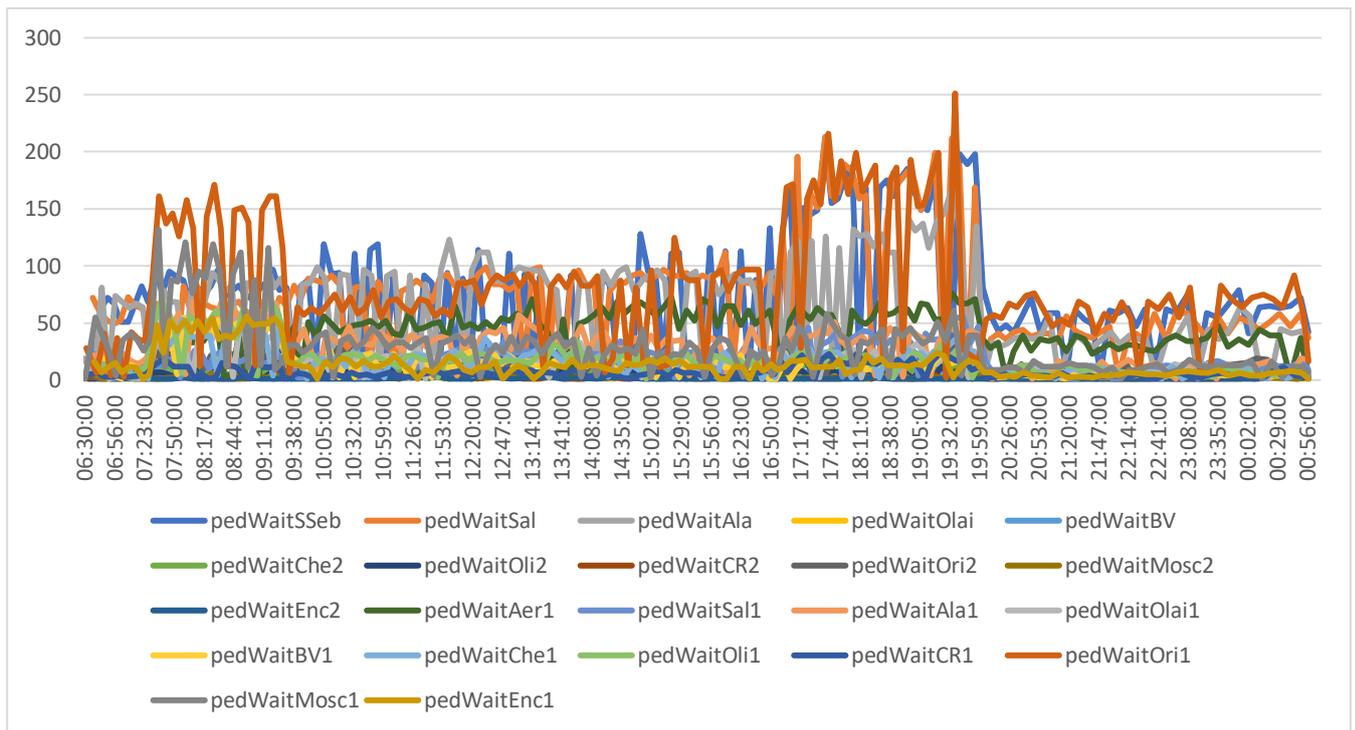
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 86- Número de passageiros em espera na 3ª feira



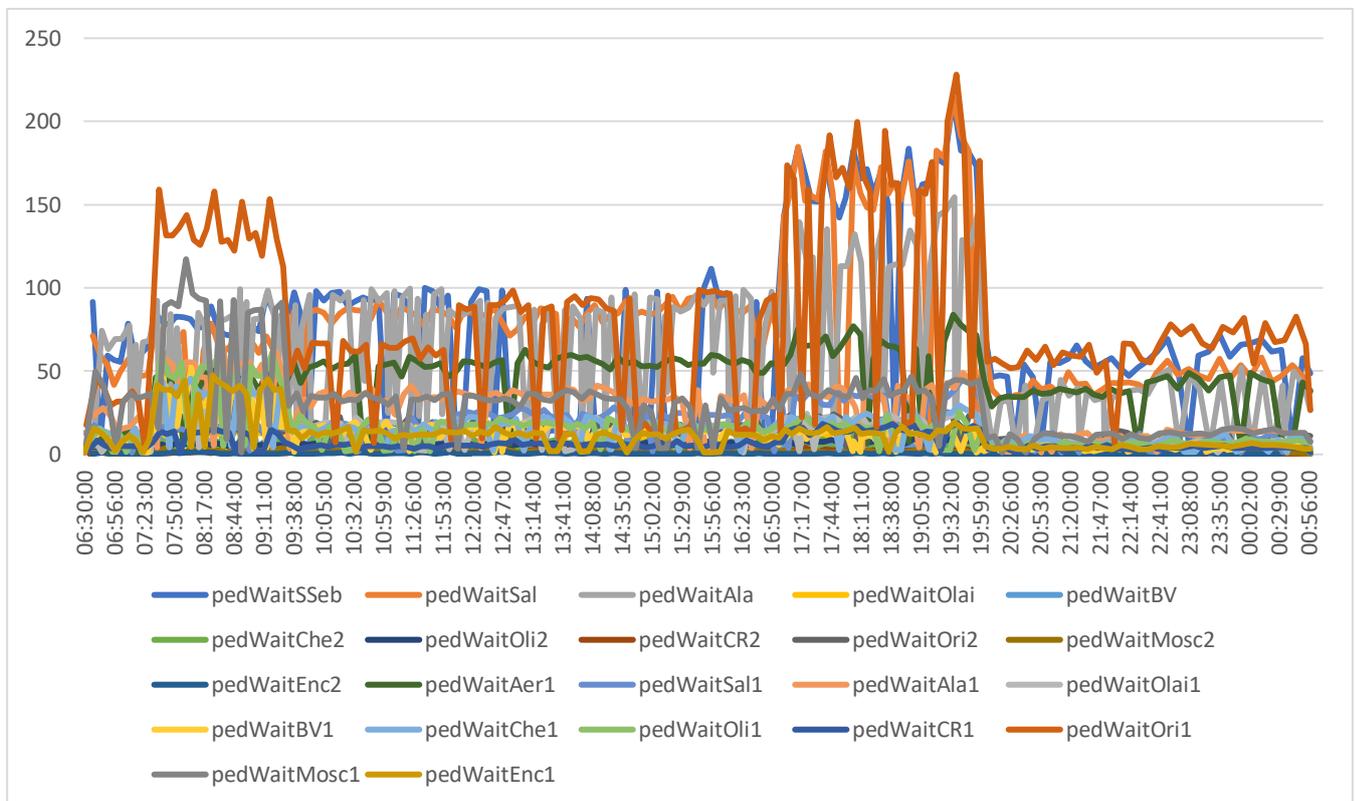
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 87- Número de passageiros em espera na 4ª feira



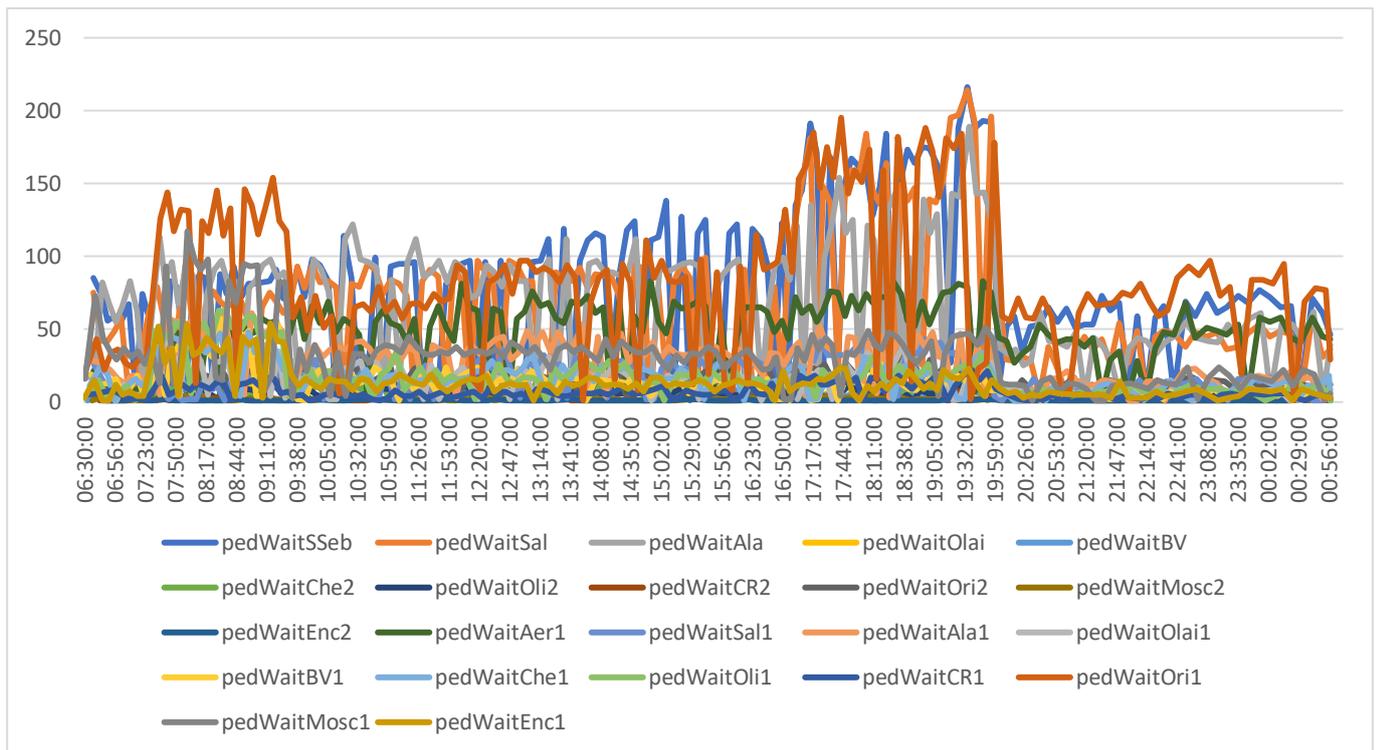
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 88- Número de passageiros em espera na 5ª feira



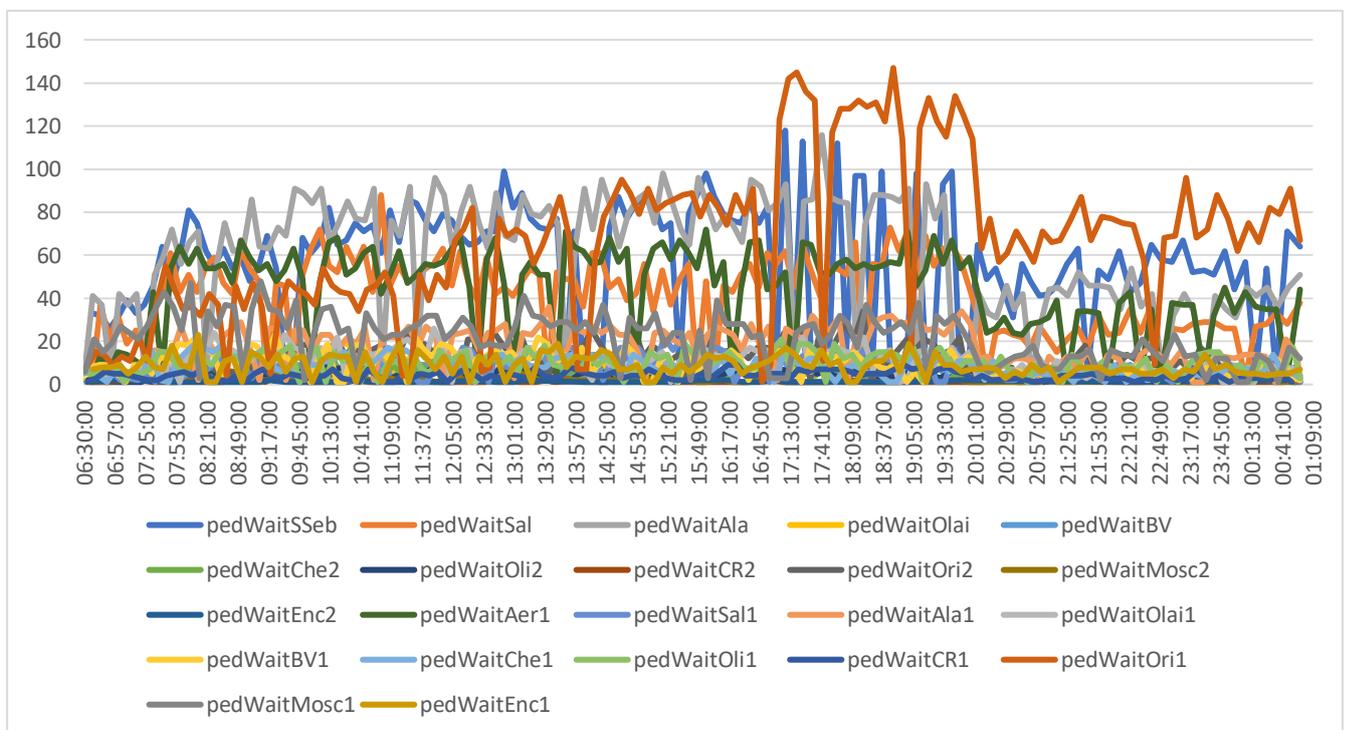
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 89- Número de passageiros em espera na 6ª feira



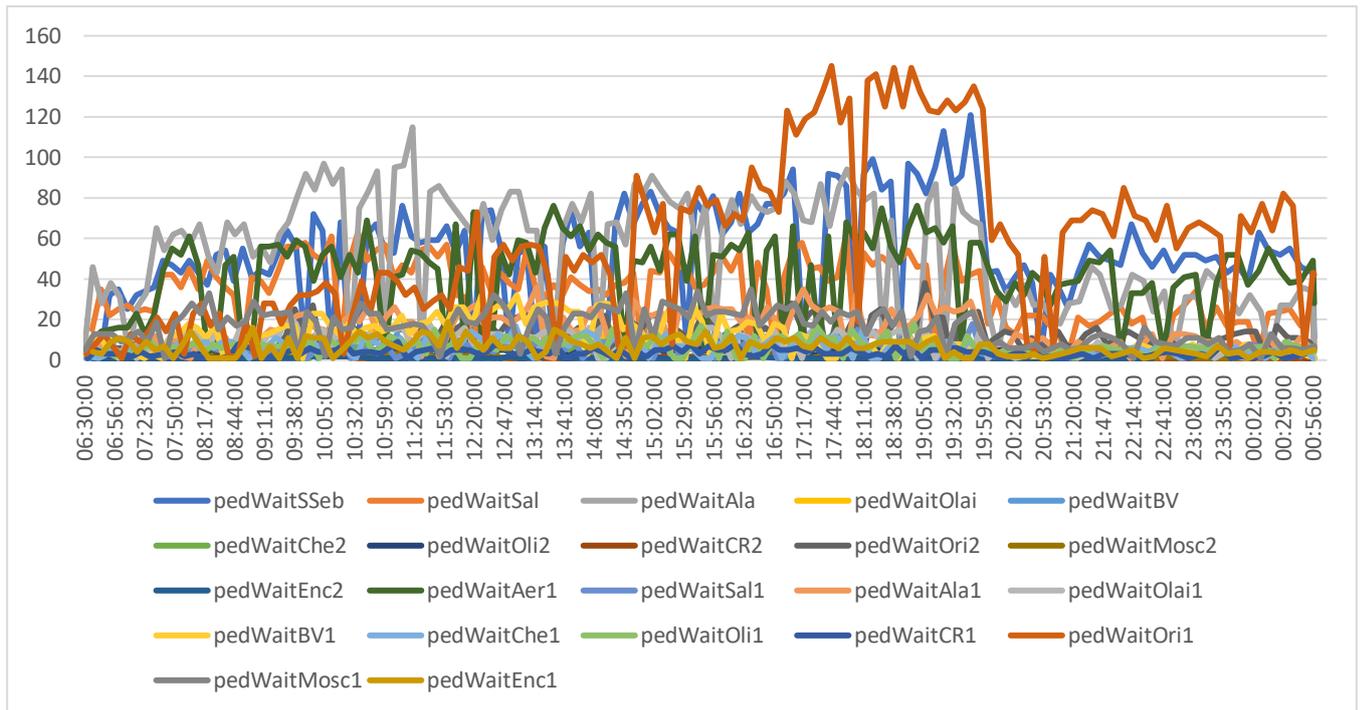
(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 90- Número de passageiros em espera no Sábado



(Fonte: Elaboração própria)

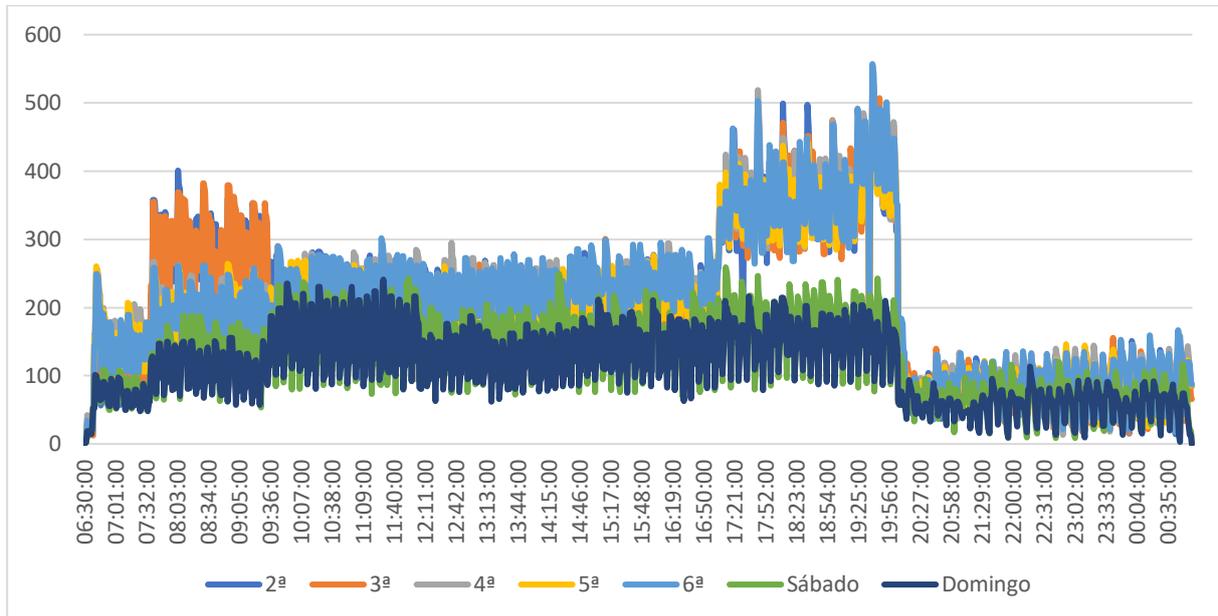
Gráfico 91- Número de passageiros em espera no Domingo



(Fonte: Elaboração própria)

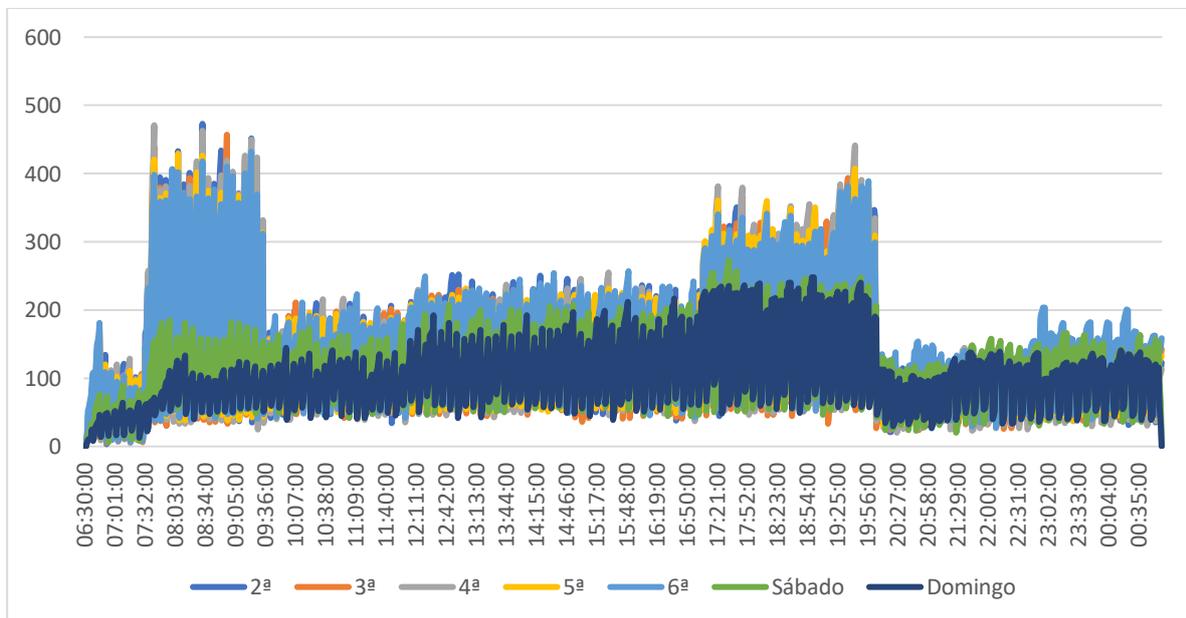
Anexo A9- Congestionamento dentro das Carruagens

Gráfico 92- Passageiros dentro do comboio com destino a Aeroporto



(Fonte: Elaboração própria)

Gráfico 93- Passageiros dentro do comboio com destino a S. Sebastião



(Fonte: Elaboração própria)

Anexo A12- Variação entre tempos de espera nos dias úteis

Tabela 26- Coeficientes de variação entre tempos de espera médios

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	52%	52%
3-6%	21%	73%
6-9%	11%	84%
9-12%	6%	90%
12-15%	5%	95%
15-18%	2%	97%
18-21%	2%	99%
21-23%	1%	99%
>23%	0,6%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 27- Coeficientes de variação entre tempos de espera máximos

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	9%	9%
3-6%	23%	32%
6-9%	28%	60%
9-12%	22%	81%
12-15%	8%	89%
15-18%	4%	93%
18-21%	2%	95%
21-23%	0%	95%
>23%	4,5%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Anexo A10- Amplitudes

Tabela 28- Coeficientes de variação dos períodos horários das plataformas nos dias úteis

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	0%	0%
9-12%	0%	0%
12-15%	0%	0%
15-18%	0%	0%
18-21%	0%	0%
21-23%	0%	0%
>23%	100%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 29- Coeficientes de variação dos períodos horários das plataformas nos sábados

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	0%	0%
9-12%	9%	9%
12-15%	23%	32%
15-18%	5%	36%
18-21%	23%	59%
21-23%	5%	64%
>23%	36%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 30- Coeficientes de variação dos períodos horários das plataformas nos domingos

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	5%	5%
9-12%	23%	27%
12-15%	5%	32%
15-18%	18%	50%
18-21%	9%	59%
21-23%	5%	64%
>23%	36%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 31- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em APM

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	0%	0%
9-12%	5%	5%
12-15%	0%	5%
15-18%	0%	5%
18-21%	0%	5%
21-23%	5%	9%
>23%	91%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 32- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em PM

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	5%	5%
9-12%	0%	5%
12-15%	0%	5%
15-18%	0%	5%
18-21%	0%	5%
21-23%	0%	5%
>23%	95%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 33- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em FM

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	5%	5%
6-9%	5%	9%
9-12%	5%	14%
12-15%	9%	23%
15-18%	9%	32%
18-21%	32%	64%
21-23%	9%	73%
>23%	27%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 34- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em PA

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	9%	9%
9-12%	5%	14%
12-15%	5%	18%
15-18%	9%	27%
18-21%	27%	55%
21-23%	14%	68%
>23%	32%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 35- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em IT

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	9%	9%
9-12%	0%	9%
12-15%	14%	23%
15-18%	23%	45%
18-21%	14%	59%
21-23%	18%	77%
>23%	23%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 36- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em PT

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	0%	0%
9-12%	0%	0%
12-15%	9%	9%
15-18%	0%	9%
18-21%	0%	9%
21-23%	9%	18%
>23%	82%	100%

Tabela 37- Coeficientes de variação dos dias da semana das plataformas em N

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	9%	9%
9-12%	9%	18%
12-15%	5%	23%
15-18%	36%	59%
18-21%	5%	64%
21-23%	0%	64%
>23%	36%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 38- Coeficientes de variação do tempo médio de espera de cada plataforma nos dias úteis

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	0%	0%
6-9%	27%	27%
9-12%	9%	36%
12-15%	18%	55%
15-18%	14%	68%
18-21%	23%	91%
21-23%	0%	91%
>23%	9%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 39- Coeficientes de variação do tempo médio de espera de cada plataforma nos sábados

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	9%	9%
6-9%	45%	55%
9-12%	27%	82%
12-15%	14%	95%
15-18%	0%	95%
18-21%	0%	95%
21-23%	0%	95%

>23%	5%	100%
------	----	------

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 40- Coeficientes de variação do tempo médio de espera de cada plataforma nos domingos

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	0%	0%
3-6%	14%	14%
6-9%	55%	68%
9-12%	18%	86%
12-15%	5%	91%
15-18%	5%	95%
18-21%	0%	95%
21-23%	0%	95%
>23%	5%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 41- Coeficientes de variação entre as frequências nos dias úteis e fins de semana

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	44%	44%
3-6%	0%	44%
6-9%	41%	85%
9-12%	1%	87%
12-15%	0%	87%
15-18%	13%	100%
18-21%	0%	100%
21-23%	0%	100%
>23%	0%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 42- Coeficientes de variação entre os tempos de espera médios entre os dias úteis e fins de semana

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	6%	6%
3-6%	20%	26%
6-9%	33%	59%
9-12%	26%	85%
12-15%	9%	95%
15-18%	3%	98%
18-21%	1%	99%
21-23%	1%	100%

>23%	0%	100%
------	----	------

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 43- Coeficientes de variação da procura da estação de chegada entre os vários períodos horários de cada dia da semana

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	7%	7%
3-6%	0%	7%
6-9%	0%	7%
9-12%	0%	7%
12-15%	0%	7%
15-18%	0%	7%
18-21%	0%	7%
21-23%	0%	7%
>23%	93%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 44- Coeficientes de variação da procura da estação de chegada entre os vários dias da semana de cada período horário

Classe	Percentagem	Percentagem Acumulada
<3%	5%	5%
3-6%	1%	6%
6-9%	0%	6%
9-12%	6%	12%
12-15%	7%	18%
15-18%	0%	18%
18-21%	1%	19%
21-23%	1%	20%
>23%	80%	100%

(Fonte: Elaboração própria)

Anexo A11- Comparação de Médias e Testes Post-hoc

Tabela 45- Teste Post-hoc entre as variáveis Tempos de Espera Médio e Dia da Semana

Comparação de pares de Dia da semana

Amostra 1-Amostra 2	Teste Estatístico	Erro Padrão	Teste Estatístico Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
5ª feira-6ª feira	-4,532	35,480	-,128	,898	1,000
5ª feira-2ª feira	14,461	35,480	,408	,684	1,000
5ª feira-4ª feira	26,649	35,480	,751	,453	1,000
5ª feira-3ª feira	29,922	35,480	,843	,399	1,000
5ª feira-Domingo	-401,494	35,480	-11,316	,000	,000
5ª feira-Sábado	-406,169	35,480	-11,448	,000	,000
6ª feira-2ª feira	9,929	35,480	,280	,780	1,000
6ª feira-4ª feira	22,117	35,480	,623	,533	1,000
6ª feira-3ª feira	25,390	35,480	,716	,474	1,000
6ª feira-Domingo	-396,961	35,480	-11,188	,000	,000
6ª feira-Sábado	-401,636	35,480	-11,320	,000	,000
2ª feira-4ª feira	-12,188	35,480	-,344	,731	1,000
2ª feira-3ª feira	-15,461	35,480	-,436	,663	1,000
2ª feira-Domingo	-387,032	35,480	-10,908	,000	,000
2ª feira-Sábado	-391,708	35,480	-11,040	,000	,000
4ª feira-3ª feira	3,273	35,480	,092	,927	1,000
4ª feira-Domingo	-374,844	35,480	-10,565	,000	,000
4ª feira-Sábado	-379,519	35,480	-10,697	,000	,000
3ª feira-Domingo	-371,571	35,480	-10,473	,000	,000
3ª feira-Sábado	-376,247	35,480	-10,604	,000	,000
Domingo-Sábado	4,675	35,480	,132	,895	1,000

Cada linha testa a Hipótese Nula da Amostra 1 e Amostra 2 serem a mesma.

O grau de significância é de 0,05.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni dos testes múltiplos.

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 46- Teste Post-hoc entre as variáveis Tempos de Espera Máximo e Dia da Semana

Comparação de pares de Dia da semana

Amostra 1-Amostra 2	Teste Estatístico	Erro Padrão	Teste Estatístico Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
5ª feira-6ª feira	-277,506	35,480	-7,821	,000	,000
5ª feira-2ª feira	279,396	35,480	7,875	,000	,000
5ª feira-4ª feira	285,662	35,480	8,051	,000	,000
5ª feira-3ª feira	285,851	35,480	8,057	,000	,000
5ª feira-Domingo	-496,851	35,480	-14,004	,000	,000
5ª feira-Sábado	-503,506	35,480	-14,191	,000	,000
6ª feira-2ª feira	1,890	35,480	,053	,958	1,000
6ª feira-4ª feira	8,156	35,480	,230	,818	1,000
6ª feira-3ª feira	8,344	35,480	,235	,814	1,000
6ª feira-Domingo	-219,344	35,480	-6,182	,000	,000
6ª feira-Sábado	-226,000	35,480	-6,370	,000	,000
2ª feira-4ª feira	-6,266	35,480	-,177	,860	1,000
2ª feira-3ª feira	-6,455	35,480	-,182	,856	1,000
2ª feira-Domingo	-217,455	35,480	-6,129	,000	,000
2ª feira-Sábado	-224,110	35,480	-6,317	,000	,000
4ª feira-3ª feira	,188	35,480	,005	,996	1,000
4ª feira-Domingo	-211,188	35,480	-5,952	,000	,000
4ª feira-Sábado	-217,844	35,480	-6,140	,000	,000
3ª feira-Domingo	-211,000	35,480	-5,947	,000	,000
3ª feira-Sábado	-217,656	35,480	-6,135	,000	,000
Domingo-Sábado	6,656	35,480	,188	,851	1,000

Cada linha testa a Hipótese Nula da Amostra 1 e Amostra 2 serem a mesma.

O grau de significância é de 0,05.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni dos testes múltiplos.

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 47- Teste Post-hoc entre as variáveis Tempos de Espera Médio e Período Horário

Comparação de pares de Hora					
Amostra 1-Amostra 2	Teste Estatístico	Erro Padrão	Teste Estatístico Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
Ponta da Manhã-Ponta da Tarde	-55,760	35,480	-1,572	,116	1,000
Ponta da Manhã-Antes da Ponta da Manhã	157,208	35,480	4,431	,000	,000
Ponta da Manhã-Fim da Manhã	-201,701	35,480	-5,685	,000	,000
Ponta da Manhã-Início da Tarde	-206,539	35,480	-5,821	,000	,000
Ponta da Manhã-Período de Almoço	-254,240	35,480	-7,166	,000	,000
Ponta da Manhã-Noite	-644,643	35,480	-18,169	,000	,000
Ponta da Tarde-Antes da Ponta da Manhã	101,448	35,480	2,859	,004	,089
Ponta da Tarde-Fim da Manhã	145,942	35,480	4,113	,000	,001
Ponta da Tarde-Início da Tarde	150,779	35,480	4,250	,000	,000
Ponta da Tarde-Período de Almoço	198,481	35,480	5,594	,000	,000
Ponta da Tarde-Noite	-588,883	35,480	-16,598	,000	,000
Antes da Ponta da Manhã-Fim da Manhã	-44,494	35,480	-1,254	,210	1,000
Antes da Ponta da Manhã-Início da Tarde	-49,331	35,480	-1,390	,164	1,000
Antes da Ponta da Manhã-Período de Almoço	-97,032	35,480	-2,735	,006	,131
Antes da Ponta da Manhã-Noite	-487,435	35,480	-13,738	,000	,000
Fim da Manhã-Início da Tarde	-4,838	35,480	-,136	,892	1,000

Fim da Manhã-Período de Almoço	-52,539	35,480	-1,481	,139	1,000
Fim da Manhã-Noite	-442,942	35,480	-12,484	,000	,000
Início da Tarde-Período de Almoço	47,701	35,480	1,344	,179	1,000
Início da Tarde-Noite	-438,104	35,480	-12,348	,000	,000
Período de Almoço-Noite	-390,403	35,480	-11,003	,000	,000

Cada linha testa a Hipótese Nula da Amostra 1 e Amostra 2 serem a mesma.

O grau de significância é de 0,05.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni dos testes múltiplos.

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 48- Teste Post-hoc entre as variáveis Tempos de Espera Máximo e Período Horário

Comparação de pares de Hora

Amostra 1-Amostra 2	Teste Estatístico	Erro Padrão	Teste Estatístico Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
Ponta da Manhã-Início da Tarde	-37,818	35,480	-1,066	,286	1,000
Ponta da Manhã-Fim da Manhã	-51,117	35,480	-1,441	,150	1,000
Ponta da Manhã-Período de Almoço	-63,532	35,480	-1,791	,073	1,000
Ponta da Manhã-Ponta da Tarde	-199,675	35,480	-5,628	,000	,000
Ponta da Manhã-Antes da Ponta da Manhã	285,383	35,480	8,043	,000	,000
Ponta da Manhã-Noite	-599,883	35,480	-16,908	,000	,000
Início da Tarde-Fim da Manhã	13,299	35,480	,375	,708	1,000
Início da Tarde-Período de Almoço	25,714	35,480	,725	,469	1,000
Início da Tarde-Ponta da Tarde	-161,857	35,480	-4,562	,000	,000
Início da Tarde-Antes da Ponta da Manhã	247,565	35,480	6,978	,000	,000
Início da Tarde-Noite	-562,065	35,480	-15,842	,000	,000

Estudo dos Congestionamentos e Tempos de Espera numa Empresa de Transportes Metropolitana

Fim da Manhã-Período de Almoço	-12,416	35,480	-,350	,726	1,000
Fim da Manhã-Ponta da Tarde	-148,558	35,480	-4,187	,000	,001
Fim da Manhã-Antes da Ponta da Manhã	234,266	35,480	6,603	,000	,000
Fim da Manhã-Noite	-548,766	35,480	-15,467	,000	,000
Período de Almoço-Ponta da Tarde	-136,143	35,480	-3,837	,000	,003
Período de Almoço-Antes da Ponta da Manhã	221,851	35,480	6,253	,000	,000
Período de Almoço-Noite	-536,351	35,480	-15,117	,000	,000
Ponta da Tarde-Antes da Ponta da Manhã	85,708	35,480	2,416	,016	,330
Ponta da Tarde-Noite	-400,208	35,480	-11,280	,000	,000
Antes da Ponta da Manhã-Noite	-314,500	35,480	-8,864	,000	,000

Cada linha testa a Hipótese Nula da Amostra 1 e Amostra 2 serem a mesma.

O grau de significância é de 0,05.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni dos testes múltiplos.

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 49- Teste Post-hoc entre as variáveis Número de Passageiros na Plataforma e Dia da Semana

Comparação de pares de Dia da semana					
Amostra 1-Amostra 2	Teste Estatístico	Erro Padrão	Teste Estatístico Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
Domingo-Sábado	35,938	35,480	1,013	,311	1,000
Domingo-3ª feira	140,886	35,480	3,971	,000	,002
Domingo-2ª feira	142,182	35,480	4,007	,000	,001
Domingo-4ª feira	150,494	35,480	4,242	,000	,000
Domingo-6ª feira	153,263	35,480	4,320	,000	,000
Domingo-5ª feira	155,214	35,480	4,375	,000	,000
Sábado-3ª feira	104,948	35,480	2,958	,003	,065
Sábado-2ª feira	106,244	35,480	2,994	,003	,058
Sábado-4ª feira	114,555	35,480	3,229	,001	,026
Sábado-6ª feira	117,325	35,480	3,307	,001	,020
Sábado-5ª feira	119,276	35,480	3,362	,001	,016
3ª feira-2ª feira	1,295	35,480	,037	,971	1,000
3ª feira-4ª feira	-9,607	35,480	-,271	,787	1,000
3ª feira-6ª feira	-12,377	35,480	-,349	,727	1,000
3ª feira-5ª feira	-14,328	35,480	-,404	,686	1,000
2ª feira-4ª feira	-8,312	35,480	-,234	,815	1,000
2ª feira-6ª feira	-11,081	35,480	-,312	,755	1,000
2ª feira-5ª feira	-13,032	35,480	-,367	,713	1,000
4ª feira-6ª feira	-2,769	35,480	-,078	,938	1,000
4ª feira-5ª feira	-4,721	35,480	-,133	,894	1,000
6ª feira-5ª feira	1,951	35,480	,055	,956	1,000

Cada linha testa a Hipótese Nula da Amostra 1 e Amostra 2 serem a mesma.

O grau de significância é de 0,05.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni dos testes múltiplos.

(Fonte: Elaboração própria)

Tabela 45- Teste Post-hoc entre as variáveis Número de Passageiros na Plataforma e Período Horário

Comparação de pares de Hora					
Amostra 1-Amostra 2	Teste Estatístico	Erro Padrão	Teste Estatístico Padrão	Sig.	Adj. Sig. ^a
Noite-Antes da Ponta da Manhã	81,825	35,480	2,306	,021	,443
Noite-Início da Tarde	235,023	35,480	6,624	,000	,000
Noite-Período de Almoço	248,847	35,480	7,014	,000	,000
Noite-Fim da Manhã	250,708	35,480	7,066	,000	,000
Noite-Ponta da Tarde	290,058	35,480	8,175	,000	,000
Noite-Ponta da Manhã	302,266	35,480	8,519	,000	,000
Antes da Ponta da Manhã-Início da Tarde	-153,198	35,480	-4,318	,000	,000
Antes da Ponta da Manhã-Período de Almoço	-167,023	35,480	-4,708	,000	,000
Antes da Ponta da Manhã-Fim da Manhã	-168,883	35,480	-4,760	,000	,000
Antes da Ponta da Manhã-Ponta da Tarde	-208,234	35,480	-5,869	,000	,000
Antes da Ponta da Manhã-Ponta da Manhã	-220,442	35,480	-6,213	,000	,000
Início da Tarde-Período de Almoço	13,825	35,480	,390	,697	1,000
Início da Tarde-Fim da Manhã	15,685	35,480	,442	,658	1,000
Início da Tarde-Ponta da Tarde	-55,036	35,480	-1,551	,121	1,000
Início da Tarde-Ponta da Manhã	67,244	35,480	1,895	,058	1,000
Período de Almoço-Fim da Manhã	1,860	35,480	,052	,958	1,000
Período de Almoço-Ponta da Tarde	-41,211	35,480	-1,162	,245	1,000

Estudo dos Congestionamentos e Tempos de Espera numa Empresa de Transportes Metropolitana

Período de Almoço-Ponta da Manhã	53,419	35,480	1,506	,132	1,000
Fim da Manhã-Ponta da Tarde	-39,351	35,480	-1,109	,267	1,000
Fim da Manhã-Ponta da Manhã	51,558	35,480	1,453	,146	1,000
Ponta da Tarde-Ponta da Manhã	12,208	35,480	,344	,731	1,000

Cada linha testa a Hipótese Nula da Amostra 1 e Amostra 2 serem a mesma.

O grau de significância é de 0,05.

a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni dos testes múltiplos.

(Fonte: Elaboração própria)

Anexos B – Código

Anexo B1- Função de criação de pedestres

Parâmetros:

startWeek- Semana de início

startDayOfWeek – Dia da Semana de início

endWeek - Semana final do intervalo

endDayOfWeek – Dia da Semana final do intervalo

Função addInterval

```
void addInterval(int startWeek, int startDayOfWeek, int startHour, int startMinute, int startSecond, int endWeek, int endDayOfWeek, int endHour, int endMinute, int endSecond, V value)
```

Exemplo de criação pedestre dos passageiros que realizaram a viagem S. Sebastião- Saldanha

```
scheduleSãoSebastião2Saldanha2 = new Schedule<Double>();  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.setOwner(this);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.setCalendarType(true);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.setFirstDayOfWeek(MONDAY);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.setPeriod(4);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.setGlueIntervals(true);  
  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 1, 6, 0, 0, 1, 1, 7, 30, 0, 0.0216049382666667);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 2, 6, 0, 0, 1, 2, 7, 30, 0, 0.0201201201222222);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 3, 6, 0, 0, 1, 3, 7, 30, 0, 0.0268518518555556);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 4, 6, 0, 0, 1, 4, 7, 30, 0, 0.0238095238111111);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 5, 6, 0, 0, 1, 5, 7, 30, 0, 0.0222222222222222);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 6, 6, 0, 0, 1, 6, 7, 30, 0, 0.0152046783666667);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 7, 6, 0, 0, 1, 7, 7, 30, 0, 0.0146666666666667);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 1, 7, 30, 0, 1, 1, 9, 30, 0, 0.203365384616667);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 2, 7, 30, 0, 1, 2, 9, 30, 0, 0.223557692308333);  
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 3, 7, 30, 0, 1, 3, 9, 30, 0, 0.216185897433333);
```

Estudo dos Congestionamentos e Tempos de Espera numa Empresa de Transportes Metropolitana

```
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 4, 7, 30, 0, 1, 4, 9, 30, 0, 0.202358490566667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 5, 7, 30, 0, 1, 5, 9, 30, 0, 0.210576923075);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 6, 7, 30, 0, 1, 6, 9, 30, 0, 0.0318027210916667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 7, 7, 30, 0, 1, 7, 9, 30, 0, 0.0216666666666667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 1, 9, 30, 0, 1, 1, 12, 00, 0, 0.394017094022222);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 2, 9, 30, 0, 1, 2, 12, 00, 0, 0.397008547011111);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 3, 9, 30, 0, 1, 3, 12, 00, 0, 0.394871794866667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 4, 9, 30, 0, 1, 4, 12, 00, 0, 0.434381551366667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 5, 9, 30, 0, 1, 5, 12, 00, 0, 0.414957264955556);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 6, 9, 30, 0, 1, 6, 12, 00, 0, 0.188675213677778);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 7, 9, 30, 0, 1, 7, 12, 00, 0, 0.0961538461555556);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 1, 12, 00, 0, 1, 1, 14, 30, 0, 0.512307692306667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 2, 12, 00, 0, 1, 2, 14, 30, 0, 0.565);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 3, 12, 00, 0, 1, 3, 14, 30, 0, 0.581025641026667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 4, 12, 00, 0, 1, 4, 14, 30, 0, 0.555345911946667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 5, 12, 00, 0, 1, 5, 14, 30, 0, 0.565769230766667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 6, 12, 00, 0, 1, 6, 14, 30, 0, 0.212692307693333);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 7, 12, 00, 0, 1, 7, 14, 30, 0, 0.115);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 1, 14, 30, 0, 1, 1, 17, 00, 0, 0.40807692308);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 2, 14, 30, 0, 1, 2, 17, 00, 0, 0.41807692308);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 3, 14, 30, 0, 1, 3, 17, 00, 0, 0.455512820513333);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 4, 14, 30, 0, 1, 4, 17, 00, 0, 0.4372327044);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 5, 14, 30, 0, 1, 5, 17, 00, 0, 0.48307692308);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 6, 14, 30, 0, 1, 6, 17, 00, 0, 0.232692307693333);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 7, 14, 30, 0, 1, 7, 17, 00, 0, 0.182948717946667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 1, 17, 00, 0, 1, 1, 20, 00, 0, 0.636217948716667);
```

Estudo dos Congestionamentos e Tempos de Espera numa Empresa de Transportes Metropolitana

```
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 2, 17, 00, 0, 1, 2, 20, 00,
0, 0.629914529916667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 3, 17, 00, 0, 1, 3, 20, 00,
0, 0.693055555555556);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 4, 17, 00, 0, 1, 4, 20, 00,
0, 0.656184486372222);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 5, 17, 00, 0, 1, 5, 20, 00,
0, 0.606730769233333);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 6, 17, 00, 0, 1, 6, 20, 00,
0, 0.307905982905556);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 7, 17, 00, 0, 1, 7, 20, 00,
0, 0.259615384616667);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 1, 20, 00, 0, 1, 2, 1, 00, 0,
0.147086247084848);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 2, 20, 00, 0, 1, 3, 1, 00, 0,
0.175349650348485);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 3, 20, 00, 0, 1, 4, 1, 00, 0,
0.169638694639394);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 4, 20, 00, 0, 1, 5, 1, 00, 0,
0.17089765580303);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 5, 20, 00, 0, 1, 6, 1, 00, 0,
0.164335664336364);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 6, 20, 00, 0, 1, 7, 1, 00, 0,
0.129428904430303);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 7, 20, 00, 0, 1, 1, 1, 00, 0,
0.0894522144515151);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 6, 00, 0,
0.0);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 2, 1, 0, 0, 1, 2, 6, 00, 0,
0.0);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 3, 1, 00, 0, 1, 3, 6, 00, 0,
0.0);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 4, 1, 00, 0, 1, 4, 6, 00, 0,
0.0);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 5, 1, 00, 0, 1, 5, 6, 00, 0,
0.0);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 6, 1, 00, 0, 1, 6, 6, 00, 0,
0.0);
scheduleSãoSebastião2Saldanha2.addInterval(1, 7, 1, 00, 0, 1, 7, 6, 00, 0,
0.0);

scheduleSãoSebastião2Saldanha2.initialize();

pedSourceSãoSebastião2Saldanha2.set_rateSchedule(scheduleSãoSebastião2Salda
nha2);
pedSourceSãoSebastião2Saldanha2.set_arrivalType(pedSourceSãoSebastião2Salda
nha2.RATE_SCHEDULE);
```

Exportação dos dados de um dataset para o ficheiro Excel

Função

int **writeDataSet**(DataSet dataset, int Folha, int Linha, int Coluna)

Exemplo da Exportação dos dados de sábado

```
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitSSeb2, 6, 1, 1);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitSal2, 6, 1, 3);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitAla2, 6, 1, 5);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitOlai2, 6, 1, 7);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitBV2, 6, 1, 9);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitChe2, 6, 1, 11);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitOli2, 6, 1, 13);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitCR2, 6, 1, 15);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitOri2, 6, 1, 17);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitMosc2, 6, 1, 19);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitEnc2, 6, 1, 21);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitAer1, 6, 1, 23);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitSal1, 6, 1, 25);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitAla1, 6, 1, 27);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitOlai1, 6, 1, 29);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitBV1, 6, 1, 31);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitChe1, 6, 1, 33);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitOli1, 6, 1, 35);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitCR1, 6, 1, 37);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitOri1, 6, 1, 39);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitMosc1, 6, 1, 41);
excelFile.writeDataSet(datasetpedWaitEnc1, 6, 1, 43);
excelFile.writeDataSet(PeopleInTrain1, 6, 1, 45);
excelFile.writeDataSet(PeopleInTrain2, 6, 1, 47);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitSSeb2.dataset, 6, 1, 51);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitSal2.dataset, 6, 1, 53);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitAla2.dataset, 6, 1, 55);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitOlai2.dataset, 6, 1, 57);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitBV2.dataset, 6, 1, 59);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitChe2.dataset, 6, 1, 61);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitOli2.dataset, 6, 1, 63);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitCR2.dataset, 6, 1, 65);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitOri2.dataset, 6, 1, 67);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitMosc2.dataset, 6, 1, 69);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitEnc2.dataset, 6, 1, 71);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitAer1.dataset, 6, 1, 73);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitSal1.dataset, 6, 1, 75);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitAla1.dataset, 6, 1, 77);
```

```
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitOlai1.dataset, 6, 1, 79);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitBV1.dataset, 6, 1, 81);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitChe1.dataset, 6, 1, 83);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitOli1.dataset, 6, 1, 85);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitCR1.dataset, 6, 1, 87);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitOri1.dataset, 6, 1, 89);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitMoscl.dataset, 6, 1, 91);
excelFile.writeDataSet(timeMeasureEndpedWaitEnc1.dataset, 6, 1, 93);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueSSeb2, 6, 1, 95);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueSal2, 6, 1, 97);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueAla2, 6, 1, 99);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueOlai2, 6, 1, 101);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueBV2, 6, 1, 103);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueChe2, 6, 1, 105);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueOli2, 6, 1, 107);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueCR2, 6, 1, 109);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueOri2, 6, 1, 111);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueMosc2, 6, 1, 113);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueEnc2, 6, 1, 115);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueAer1, 6, 1, 117);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueSall1, 6, 1, 119);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueAla1, 6, 1, 121);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueOlai1, 6, 1, 123);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueBV1, 6, 1, 125);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueChe1, 6, 1, 127);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueOli1, 6, 1, 129);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueCR1, 6, 1, 131);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueOri1, 6, 1, 133);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueMoscl, 6, 1, 135);
excelFile.writeDataSet(datasetqueueEnc1, 6, 1, 137);
```