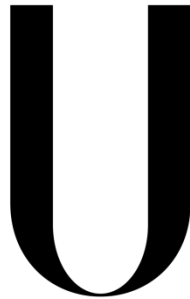


Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA

**Modelo Combinado Teoria dos Grafos e Localização-Alocação: Para
uma Análise Espaciotemporal da Rede de Transportes Públicos da
Cidade de Lisboa**

José Pereira Rico Apóstolo

Dissertação orientada pelo Professor Doutor Nuno Marques da Costa e
Professor Doutor Paulo Morgado

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial
Aplicados ao Ordenamento

2022

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Modelo Combinado Teoria dos Grafos e Localização-Alocação: Para
uma Análise Espaciotemporal da Rede de Transporte Públicos da
Cidade de Lisboa**

José Pereira Rico Apóstolo

Dissertação orientado pelo Professor Doutor Nuno Marques da Costa e
Professor Doutor Paulo Morgado

Júri:

Presidente: Professora Doutora Patrícia Catarina dos Reis Macedo Abrantes
do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de
Lisboa

Vogais:

- Professor Doutor João Figueira de Sousa da Faculdade de Ciências
Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa
- Professor Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa do Instituto
de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2022

ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABELAS	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS	12
LISTA DE ABREVIATURAS	15
1. INTRODUÇÃO	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.3 METODOLOGIA	21
2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA (ESTADO DA ARTE)	27
2.1 <i>Transportes e SIG</i>	27
2.2 <i>Geografia dos Transportes</i>	30
2.3 <i>Redes de Transporte</i>	32
2.4 <i>Acessibilidade e Mobilidade</i>	36
2.5 <i>Desenvolvimento Sustentável e Transportes</i>	39
3. BREVE HISTÓRIA DA GEOGRAFIA DAS REDES DE TRANSPORTES PÚBLICOS DA CIDADE DE LISBOA	40
3.1 <i>Introdução</i>	40
3.2 <i>Breve história da geografia da rede de transportes públicos da cidade de Lisboa</i> 41	
3.3 <i>Evolução da rede do Metropolitano</i>	45
3.4 <i>Evolução da rede Carris</i>	59
4 TEORIA DOS GRAFOS	90
4.1 <i>Breve resumo histórico</i>	90
4.2 <i>Medidas de centralidade</i>	97
4.3 <i>Medida de centralidade betweenness</i>	98
4.4 <i>Medida de centralidade degree</i>	98
4.5 <i>Medida de centralidade closeness</i>	99
4.6 <i>Medida de centralidade eigenvector</i>	99
5 MODELO LOCATION-ALLOCATION	100
5.1 <i>Breve histórico dos modelos de localização</i>	100
5.2 <i>O que é a localização-alocação</i>	102
5.3 <i>Os modelos de localização</i>	103
5.4 <i>Classificação do problema de localização-alocação</i>	106
6. APLICAÇÃO DA TEORIA DOS GRAFOS (MODELO GEO_GRAPH)	107

7. APLICAÇÃO DO MODELO LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO	119
7.1 <i>Estudo da rede de Metropolitano da cidade de Lisboa com o modelo Localização-Alocação: análise dos problemas tipo</i>	119
7.2 <i>Estudo da rede da Carris da cidade de Lisboa com o modelo Localização-Alocação: análise dos problemas tipo</i>	156
7.3 <i>Comparação da rede de Metropolitano modelo Localização-Alocação</i>	174
7.4 <i>Comparação rede da Carris modelo Localização-Alocação</i>	175
8. CARATERIZAÇÃO DAS REDES DE TRANSPORTE DE METROPOLITANO E DA CARRIS QUANTO À POPULAÇÃO E ATIVIDADES ECONÓMICAS SERVIDAS	176
8.1 <i>Área de influência da rede Metropolitano e carris: quantidade de população</i>	176
8.2 <i>Área de influência da rede Metropolitano</i>	176
8.3 <i>Área de influência da rede Carris</i>	182
8.4 <i>Comparação das variáveis, da área de influência da rede da Carris</i>	187
8.5 <i>Área de influência da rede Metropolitano e carris: quantidade de atividades económicas</i>	188
8.5.1 <i>Área de influência rede Metropolitano</i>	188
8.5.2 <i>Área de influência da rede carris</i>	188
9. ANÁLISE DOS RESULTADOS	190
10. CONCLUSÕES	194
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	196
ANEXOS	203
ANEXO 1: METODOLOGIA	203
ANEXO 2: TEORIA DOS GRAFOS	213
<i>O que é um grafo</i>	213
<i>Tipos de grafos</i>	214
<i>Representação matricial de um grafo</i>	220
<i>Propriedades de ordem superior de um grafo</i>	221
<i>Medidas topológicas e propriedades dos grafos</i>	224
<i>Medidas de conectividade e de ligação</i>	224
<i>Medidas de centralidade e acessibilidade: análise de redes pelo cálculo de matrizes</i>	226
<i>Problemas e limitações dos grafos</i>	229
ANEXO 3: EXTENSÃO ESPACIAL DA REDE DA CARRIS DE AUTOCARROS E DE ELÉTRICOS EM 1999	231

GLOSSÁRIO 233

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Paragens e percursos da rede da Carris	23
Figura 2 – Estações e percursos da rede do Metropolitano	24
Figura 3 – Problema-tipo Minimize Impedance para a rede da Carris, com a variável Indivíduos residentes empregados.....	24
Figura 4 - Problema-tipo Minimize Impedance para a rede do Metropolitano, com a variável Indivíduos residentes empregados.....	25
Figura 5 – Área de influência das paragens da Rede da Carris	25
Figura 6 – Área de influência das estações da Rede do Metropolitano	26
Figura 7: Representação básica do modelo de dados arco-nó	29
Figura 8: Companhias de transporte público da cidade de Lisboa no século XIX	42
Figura 9: Rede de americanos em 1887 (esquerda); Rede de elétricos 1906 (direita).....	43
Figura 10: Plano de traçado da rede de Metropolitano proposta à CML em Outubro de 1922	47
Figura 11: Plano de traçado da rede de Metropolitano proposta à CML em Março de 1923	47
Figura 12: Trajeto da rede de Metropolitano projetada e proponente a concessão da CML em 1945	48
Figura 13: Trajeto da rede de Metropolitano projetada em 1945.	49
Figura 14: Rede do Metropolitano em Exploração entre 1959 e 1963	51
Figura 15: Rede do Metropolitano de Lisboa em exploração entre 1972 e 1988	52
Figura 16: Rede do Metropolitano de Lisboa em exploração entre 1988 e 1993	53
Figura 17: Rede do Metropolitano de Lisboa em 1999	55
Figura 18: Traçado do Metropolitano da cidade de Lisboa - Esquema em 2017	57
Figura 19 : Rede de elétricos após a primeira fase de eletrificação em 1903	62
Figura 20: Carreiras de autocarros na cidade de Lisboa em 1915	66
Figura 21: Rede de Autocarros em 1945	70
Figura 22: Rede de Autocarros em 1950	73
Figura 23: Rede de Autocarros em 1955	76
Figura 24: Rede de autocarros em 1970	81
Figura 25: As 7 pontes sobre o rio Pregel.....	92
Figura 26: Grafo Euleriano.....	93
Figura 27: Grafo para o problema viagem à volta do mundo	94

Figura 28: Grafo para o problema viagem à volta do mundo	94
Figura 29: Grafo para o problema de Kenneth Appel e Wolfgang Hanke	95
Figura 30: fórmula da medida de centralidade betweenness	98
Figura 31: Classificação dos modelos de localização.....	104
Figura 32: Classificação dos modelos de localização discreta	105
Figura 33: Grafo planar da rede do Metropolitano, medida de centralidade degree centrality.....	109
Figura 34: Shell graph medida de centralidade Degree	109
Figura 35: Grafo planar da rede do Metropolitano, medida de centralidade Closeness centrality	112
Figura 36: Medida de centralidade Closeness	112
Figura 37: Grafo planar da rede do Metropolitano, medida de centralidade betweenness	115
Figura 38: Medida de centralidade Betweenness	115
Figura 39: Grafo planar da rede do Metropolitano, medida de centralidade eigenvector.....	118
Figura 40: Medida de centralidade Eigenvector.....	118
Figura 41: Seleção espacial da área de estudo.....	203
Figura 42: <i>join</i> da tabela csv das variáveis em estudo com a shapefile de Lisboa	204
Figura 43: feature to point da shapefile indivíduos residentes empregados em Lisboa.....	205
Figura 44: Criação do Network dataset	207
Figura 45: Definições do Network dataset	207
Figura 46: Criação do campo time para calcular a distância tempo em minutos.....	208
Figura 47: Criação do campo time para calcular a distância tempo em minutos.....	208
Figura 48: Criação do Network dataset	209
Figura 49: Carregamento dos <i>facilities</i> e dos <i>demand points</i> para poder calcular os 4 problemas tipo....	210
Figura 50: Definições do network dataset rede metro e carris.....	210
Figura 51: Definições do network dataset rede metro e carris.....	211
Figura 52: Definições do network dataset para a criação da área de serviço.....	211
Figura 53: Desvio da interseção das linhas da rede metro	212
Figura 54: Carregamento dos nós e das linhas da rede metro e Escolha das medidas de centralidade a calcular	212
Figura 55: Grafo Plano	215
Figura 56: Grafo Planar	216

Figura 57: Grafo Não Planar	216
Figura 58: Grafo Simples	217
Figura 59: Grau de Um Ponto	218
Figura 60: Grafo Completo	218
Figura 61: Sub-grafo	219
Figura 62: Um passeio e um circuito.....	221
Figura 63: Caminhos	222
Figura 64: Uma árvore.....	223

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Passageiros de autocarros entre 1940 e 1946.....	45
Tabela 2 – Estações da rede do Metropolitano de Lisboa, entre 1959 e 1963.....	50
Tabela 3: Rede do Metropolitano de Lisboa entre 1963 e 1972.....	51
Tabela 4: Evolução da Extensão da rede metro (em Km).....	59
Tabela 5: Extensão (em km) da rede de autocarros 1947-1955.....	77
Tabela 6: Linhas de elétricos em 1958.....	78
Tabela 7: Carreiras da Carris a suspender e a estabelecer em 1960 com a construção do Metropolitano ..	80
Tabela 8: Evolução da rede de Elétricos por décadas, entre 1901 e 2020.....	88
Tabela 9: Evolução da rede de autocarros entre 1945 e 2020.....	89
Tabela 10: Degree centrality da rede Metropolitano.....	108
Tabela 11: Medida de centralidade Closeness centrality.....	111
Tabela 12: Medida de centralidade Betweenness.....	114
Tabela 13: Medida de centralidade eigenvector.....	117
Tabela 14: Quantidade de I.R.T.R.M.R abrangidos pela rede Metropolitano e por linha.....	120
Tabela 15: Quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha.....	121
Tabela 16: M. Impedance - Quantidade de I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano e por linha.....	122
Tabela 17: M. Impedance: I. Residentes que são abrangidos pela rede Metropolitano.....	125
Tabela 18: M. Impedance quantidade de i. residentes por faixa etária abrangidos por linha.....	125
Tabela 19: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário abrangidos pela rede.....	126
Tabela 20: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário abrangidos por linha de Metropolitano.....	127
Tabela 21: Quantidade de I.R.T.R.M.R abrangidos pela rede Metropolitano e por linha.....	128
Tabela 22 Quantidade de Indivíduos residentes empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha.....	130
Tabela 23: Quantidade de I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano e por linha.....	131
Tabela 24: M. Facilities: Quantidade de Indivíduos Residentes abrangidos pela rede Metropolitano.....	134
Tabela 25: M. Facilities quantidade de i. residentes por faixa etária abrangidos por linha de Metropolitano.....	134

Tabela 26: M. Facilities: I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário abrangidos pela rede Metropolitano	135
Tabela 27: M. Impedance: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário por linha de Metropolitano	136
Tabela 28: M. Coverage - I.R.T.R.M.R abrangidos pela rede Metropolitano e por linha	137
Tabela 29: Mazimize Coverage - Quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha.....	139
Tabela 30: Mazimize Coverage - Quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha.....	140
Tabela 31: M. Coverage - quantidade de I.r. faixa etária abrangidos pela rede Metropolitano	143
Tabela 32: M. Coverage: I. r. por faixa etária abrangidos por linha de Metropolitano	143
Tabela 33: M. Coverage - quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário que são cobertas pela rede de Metropolitano	144
Tabela 34: M. Coverage: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário abrangidos por linha de	145
Tabela 35: I.R.T.R.M.R abrangidos pela rede Metropolitano e por linha	146
Tabela 36: M. Attendance - I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha.....	148
Tabela 37: I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano e por linha	149
Tabela 38: M. Attendance - I. Residentes por faixa etária que se cobertos pela rede de Metropolitano ..	151
Tabela 39: M. Attendance - I. Residentes por faixa etária que se cobertos por linha de Metropolitano ..	152
Tabela 40: M. Attendance: Indivíduos residentes empregados por sector cobertos pela rede Metropolitano	154
Tabela 41: M. Attendance: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário cobertos por linha de Metropolitano	155
Tabela 42: Localização-Alocação (M. Impedance): Indivíduos residentes por faixa etária.....	159
Tabela 43: Localização-Alocação (M.Impedance): I. Residentes Empregados por sector.....	160
Tabela 44: Localização-Alocação (M. Coverage): Indivíduos residentes por faixa etária	163
Tabela 45: Localização-Alocação (M.Coverage): I. Residentes Empregados por setor.....	164
Tabela 46: Localização-Alocação (M. Coverage): Indivíduos residentes por faixa etária	168
Tabela 47: Localização-Alocação (M. Facilities): I. Residentes Empregados por sector.....	169
Tabela 48: Localização-Alocação (M. Attendance): I. Residentes por faixa etária.....	173
Tabela 49: área de Serviço da rede Metropolitano com a variável indivíduos residentes que trabalham e residem no município de residência	176

Tabela 50 área de serviço: I. Residentes.....	177
Tabela 51: Área de influência da rede de Metropolitano: I. Residentes por faixa etária.....	179
Tabela 52: Área de influência: I. Residentes Empregados.....	180
Tabela 53: S.A rede Metropolitano: I. R. Setor.....	181
Tabela 54: Área de influência Rede Carris: I.R. Empregados.....	182
Tabela 55: Área de influência Rede Carris: I.R.T.R.M.R.....	183
Tabela 56: Área de influência Rede Carris: I.R. por faixa etária.....	184
Tabela 57: Área de influência Rede Carris: I.R.E.S.	185
Tabela 58: Área de influência rede Carris: A. Económicas.....	189

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução da Extensão da rede do Metropolitano (em Km).....	58
Gráfico 2: Evolução da extensão da rede de Elétricos por décadas, entre 1901 e 2020	88
Gráfico 3: Evolução da extensão da rede de autocarros entre 1945 e 2020.....	89
Gráfico 4: M. Impedance: I.R.T.M.R abrangidos pela rede Metropolitano.....	120
Gráfico 5: M. Impedance: Quantidade de I.R.T.M.R por linha de Metropolitano	120
Gráfico 6: M. Impedance - Quantidade I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano	121
Gráfico 7: M. Impedance: Quantidade de I.R.E por linha de Metropolitano.....	122
Gráfico 8: M. Impedance - Quantidade I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano	123
Gráfico 9: M. Impedance quantidade de I. Residentes abrangidos por linha de Metropolitano	123
Gráfico 10: M. Impedance: I.R.E.S. abrangidos pela rede Metropolitano	127
Gráfico 11: M. Facilities Quantidade de I.R.T.R.M.R. abrangidos pela rede Metropolitano	129
Gráfico 12: M. Facilities: Quantidade de I.R.T.R.M.R por linha de Metropolitano.....	129
Gráfico 13: M. Facilities: Quantidade de I.R Empregados abrangidos pela rede Metropolitano	130
Gráfico 14: M. Facilities: Quantidade de I.R.E. por linha de Metropolitano	131
Gráfico 15: M. Facilities: Quantidade de Indivíduos Residentes que são cobertos pela rede de Metropolitano	132
Gráfico 16: M. Facilities: Quantidade de I. residentes abrangidos por linha de Metropolitano	132
Gráfico 17: M. Facilities: I.r.e. sector abrangidos pela rede Metropolitano	136
Gráfico 18: M. Coverage: I.R.T.R.M.R que se cobertos pela rede de Metropolitano	138
Gráfico 19: M. Coverage: I.R.T.R.M.R abrangidos por linha de Metropolitano.....	138
Gráfico 20: M. Coverage - quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano	139
Gráfico 21: M. Coverage - I.R Empregados abrangidos por linha de Metropolitano.....	140
Gráfico 22: M. Coverage - quantidade de Indivíduos residentes abrangidos pela rede Metropolitano	141
Gráfico 23: M. Coverage - quantidade de I. residentes abrangidos por linha de Metropolitano	141
Gráfico 24: M. Coverage – quantidade de I.R.E. por sector abrangidos pela rede Metropolitano	145
Gráfico 25: M. Attendance - Quantidade de I.R.T.R.M.R. abrangidos pela rede Metropolitano	147
Gráfico 26: M. Attendance - I.R.T.R.M.R. abrangidos por linha de Metropolitano.....	147

Gráfico 27: M. Attendance - quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano	148
Gráfico 28: M. Attendance: quantidade de I.R. Empregados abrangidos por linha	148
Gráfico 29: M. Attendance - quantidade de I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano.....	150
Gráfico 30: M. Attendance - quantidade de I. residentes abrangidos por linha de Metropolitano	150
Gráfico 31: M. Attendance: Indivíduos residentes empregados por sector cobertos pela rede de Metropolitano	154
Gráfico 32: Localização-Alocação (M. Impendance): I.R.T.R.M.R	156
Gráfico 33: Localização-Alocação (M. Impendance): I. R. Empregados.....	157
Gráfico 34: Localização-Alocação (M. Impendance): I. Residentes	158
Gráfico 35: Localização-Alocação (M. Coverage): I.R.T.R.M.R	161
Gráfico 36: Localização-Alocação (M. Coverage): I. R. Empregados	161
Gráfico 37: Localização-Alocação (M. Coverage): I. Residentes	162
Gráfico 38: Localização-Alocação (M. Facilities): I.R.T.R.M.R	165
Gráfico 39: Localização-Alocação (M. Facilities): I. R. Empregados.....	166
Gráfico 40: Localização-Alocação (M. Coverage): I. Residentes	167
Gráfico 41: Localização-Alocação (M. Attendance): I. R. Trabalham no Município de Residência	170
Gráfico 42: Localização-Alocação (M. Attendance): I. R. Empregados	171
Gráfico 43: Localização-Alocação (M. Attendance): I. Residentes	171
Gráfico 44: L-A (M.I.) Metropolitano: Comparação I.R.T.M.R com os I. Residentes	174
Gráfico 45: L-A (M.A.) Metropolitano: Comparação I.R.T.M.R com os I. Residentes	174
Gráfico 46: L-A (M.I.) Carris: Comparação IRTMR com os I. Residentes	175
Gráfico 47: L-A (M.A.) Carris: Comparação IRTMR com os I. Residentes	175
Gráfico 48: Área de Serviço da rede Metropolitano com a variável indivíduos residentes que trabalham e residem no município de residência	177
Gráfico 49: Área de influência da rede de Metropolitano: I. Residentes.....	177
Gráfico 50: Área de influência da rede de Metropolitano: I. Residentes por faixa etária.....	179
Gráfico 51: Área de influência da Rede de Metropolitano: I. Residentes Empregados.....	180
Gráfico 52: Área de influência da rede de Metropolitano: I.R.E.Setor	181
Gráfico 53: Área de influência Rede Carris: I.R. Empregados.....	182
Gráfico 54: Área de influência Rede Carris: I.R.T.R.M.R.	183

Gráfico 55: Área de influência Rede Carris: I.R. por faixa etária	185
Gráfico 56: Área de influência Rede Carris: I.R.E.S.	186
Gráfico 57: Área de Serviço: Comparação I.R.T.R.M.R.; I.R.E.Sector e I.R.E.	187
Gráfico 58: Quantidade de A. Económicas S.A. da Rede Metropolitano.....	188
Gráfico 59: Área de influência rede Carris: A. Económicas	189

LISTA DE ABREVIATURAS

CCFL – Companhia Carris de Ferro de Lisboa

CIG: Ciência da Informação Geográfica

CML: Câmara Municipal de Lisboa

SIG: Sistemas de Informação Geográfica

SIG-T: Sistemas de Informação Geográfica e Transportes

SGBDE: Sistema de Gestão de Base de Dados Espaciais

SSD: Sistema de Suporte à Decisão

RESUMO

A modelação da rede (redes da Carris e do Metropolitano), com base na Teoria dos grafos e no modelo localização-alocação, têm sido prática comum para: caracterizar a evolução das redes de transportes desde a década de 1960. No entanto, a ação combinada de ambos os métodos vem permitir a análise de evolução espácio-temporal das redes e, conseqüentemente, dando prova de evidência da sua capacidade enquanto sistema de suporte à decisão. O presente estudo consiste no desenvolvimento e implementação de um modelo combinado Teoria dos grafos e localização-alocação para análise espácio-temporal da rede de transportes públicos da cidade de Lisboa. Mais precisamente, o estudo recorre às métricas da teoria dos grafos, para uma caracterização das redes do Metropolitano e da Carris relativamente ao contingente populacional residente, considerando as variáveis (faixa etária, número de indivíduos residentes, número de indivíduos que residem e trabalham no município, número de indivíduos residentes empregados e o número de indivíduos residentes empregados por setor primário, secundário e terciário); ao modelo localização-alocação, para análise das redes em função das atividades económicas, considerando as variáveis em estudo e analisar a distância tempo da área de serviço. Os resultados obtidos demonstraram que, de acordo com o modelo Localização-alocação, para ambas as redes, verifica-se que à medida que aumenta a distância-tempo, aumenta o potencial de utilizadores. A Teoria dos Grafos para a rede do Metropolitano, conclui que existem três estações mais centrais: Alameda, São Sebastião e Saldanha. Nesta rede à medida que há o afastamento dos nós, menor é a centralidade.

Palavras-chave: centralidade, conectividade, redes de transporte, teoria dos grafos, modelo Localização-Alocação.

ABSTRACT

Network modelling (Carris and Metropolitano networks), based on Graph Theory and the Localização-Alocação model, has been common practice to: characterise the evolution of transport networks since the 1960s. However, the combined action of both methods allows the analysis of spatial-temporal evolution of networks and, consequently, giving evidence of its capacity as a decision support system. The present study consists in the development and implementation of a combined graph theory and Localização-Alocação model for the spatio-temporal analysis of the public transportation network of the city of Lisbon. More precisely, the study resorts to the metrics of graph theory, for a characterization of the Metropolitano and Carris networks regarding the resident population contingent, considering the variables (age group, number of resident individuals, number of individuals living and working in the municipality, number of resident individuals employed and the number of resident individuals employed by primary, secondary and tertiary sector); to the Localização-Alocação model, for the analysis of the networks as a function of the economic activities, considering the variables under study and analyzing the distance-time of the Área de influência. The results obtained showed that, according to the Localização-Alocação model, for both networks, it is verified that as the distance-time increases, the potential of users increases. The Graph Theory for the Metropolitano network concludes that there are three more central stations: Alameda, São Sebastião and Saldanha. In this network, as the distance between the nodes increases, the centrality decreases.

Keywords: centrality, connectivity, transport network, graph theory, Localização-Alocação model

1. INTRODUÇÃO

É no quadro da importância geográfica, social e económica das redes de transportes que se inscreve esta dissertação. O principal objetivo deste estudo consiste em criar evidência científica acerca da utilidade, e adequabilidade, do modelo combinado Teoria dos grafos e modelo localização-alocação, para a análise espaciotemporal da rede de transportes públicos da cidade de Lisboa.

O trabalho organiza-se por uma parte teórica e uma parte prática. Na parte teórica apresenta-se uma breve evolução espacial e temporal das redes da Carris e do Metropolitano na cidade de Lisboa, um breve esboço teórico sobre os modelos de localização e sobre a Teoria dos Grafos. Numa parte prática analisa-se a rede da Carris com os modelos de localização e do Metropolitano com a Teoria dos Grafos e com os modelos de localização.

Com os modelos de localização estudou-se a rede da Carris e do Metropolitano com os problemas-tipo: Minimize Impedance, Minimize Facilities, Maximize Coverage e Maximize Attendance, para as seguintes variáveis: indivíduos residentes que trabalham e residem no município, indivíduos residentes empregados, indivíduos residentes, indivíduos residentes por faixa etária (10-13; 14-19; 15-19; 20-24; 20-64; +65), indivíduos residentes empregados por setor (primário, secundário e terciário) e atividades económicas (feiras, mercados e centros comerciais). Para as duas redes foram também executadas áreas de serviço para determinar a quantidade de indivíduos e atividades económicas abrangidas pelas estações/paragens da rede.

Para efeito de cálculos da Teoria dos grafos usou-se a aplicação web do programa *Geo_graph*¹, para estudar a rede do Metropolitano com as medidas de centralidade, Betweenness, Closeness, Degree e Eigenvector.

A dissertação está organizada em 10 capítulos sendo que o capítulo 1 e 10 correspondem à Introdução e às Conclusões respetivamente. Os restantes capitulos dividem-se em duas partes uma parte teórica, que é composta pelos capitulos 2 (estado da arte acerca de

¹ Inicialmente desenvolvido como um plugin para correr no ArcMap da Esri e disponível em <http://www.mopt.org.pt/scripts.html>

Geografia, SIG e Transportes), capítulo 3 (enquadramento histórico da rede de transportes públicos da cidade de Lisboa), capítulo 4 (Teoria dos grafos) e capítulo 5 (Modelo localização-alocação), e uma parte prática. Esta é por sua vez constituída com base nos restantes capítulos, a saber, o capítulo 6 (Aplicação das medidas de Teoria dos grafos via o programa Geo_graph, para uma caracterização da rede em termos de acessibilidade e centralidades), e o capítulo 7 (Aplicação do modelo localização-alocação, para análise das redes de transportes em função das actividades económicas e o cálculo de 4 problemas-tipo: Minimize Impedance, Minimize Facilities, Maximize Coverage, Maximize Attendance). O capítulo 8 (relato das características-chave das redes de transportes de metropolitano e de carris em função da população e das actividades económicas existentes), e o 9 (Análise de resultados).

O estudo justifica-se na medida em que o conhecimento gerado acerca da rede de transportes da cidade de Lisboa, contém uma evidência científica que pode informar técnicos e decisores, para melhorar a mobilidade e diminuir disparidades nas acessibilidades. Acrescenta também conhecimentos sobre a aplicação dos modelos de localização e da Teoria dos Grafos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral da investigação é analisar a rede de transportes públicos da cidade de Lisboa (redes da Carris e do Metropolitano), de acordo com a Teoria dos Grafos (Metropolitano) e o modelo Localização-Alocação (Carris e Metropolitano).

Os objetivos específicos são:

- caracterizar as redes do Metropolitano e da Carris quanto à população potencial para as seguintes variáveis: residentes (faixa etária, número de indivíduos residentes...) e às atividades económicas com os modelos de Localização-Alocação;
- calcular e analisar a distância tempo (área de serviço; Localização-Alocação) da rede de Metropolitano e da Carris a partir dos indicadores definidos;
- calcular as métricas betweenness, closeness, degree e eigenvector com a Teoria dos Grafos para a rede do Metropolitano.

1.3 METODOLOGIA

A Teoria dos Grafos e o modelo Localização-Alocação, a desenvolver e implementar em ambiente SIG, constituem os métodos selecionados, que compõem a parte operativa desta dissertação.

Antes da criação do network dataset efetuámos uma seleção por atributos para remover todos os 0 (zero) das variáveis em estudo. Após este passo criamos o network dataset com as vias de Lisboa selecionadas, criou-se um campo que inclui a seguinte fórmula

$$([\text{Shape_Length}] * 60) / 3600$$

para calcular a área de serviço e a localização-alocação.

Para o modelo Localização-Alocação para as duas redes de transporte público foram aplicadas distâncias-tempo diferentes: 5 a 9 minutos para a rede Metropolitano e 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 20 minutos e 25 minutos para a rede da Carris. De seguida procedemos à criação do modelo Localização-Alocação com 4 problemas-tipo:

- Minimize impedance (M.I);
- Maximize coverage (M.C);
- Minimize facilities (M.F);
- Maximize attendance (M.A).

Para a distância-tempo da área de serviço da rede da Carris utilizou-se a distância-tempo de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos. Para a área de serviço da rede do Metropolitano usou-se uma área de serviço de 5 a 9 minutos. Para a rede da Carris foram usados todos os nós das paragens de autocarros e elétricos, para a rede do Metropolitano usamos os nós das estações.

Com o modelo Localização-Alocação irão ser criados modelos de bacias de influência das estações e paragens das redes de transportes públicos (Carris e Metropolitano). Com

a Teoria dos Grafos serão calculadas 4 métricas (Betweness, Closeness, Degree e Eigenvector) para avaliar a centralidade da rede do Metropolitano.

No tratamento dos dados foi usado software informático. Para o modelo Localização-Alocação, a área de serviço e a Teoria dos Grafos (edição dos dados) usou-se o programa *Arcmap*. Com o *MS Access* fizeram-se consultas dos dados trabalhados com o *Arcmap*. O *MS Excel* serviu para a organização dos dados (gráficos, tabelas e alguns cálculos).

Seguidamente, iremos expor a metodologia utilizada com o programa *arcmap* para a análise dos modelos de localização, e a metodologia utilizada com o programa *geograph* para analisar as medidas de centralidade da teoria dos grafos.

Para seleccionar a área de estudo executamos uma seleção espacial para identificar os polígonos da *layer BGRI_AE* que intersectam a *layer Stops_carris*, para depois ser exportada como uma nova shapefile. No ficheiro csv da BGRI criamos um csv para cada variável em estudo:

- indivíduos residentes que trabalham e residem no município;
- Indivíduos residentes empregados;
- Indivíduos residentes;
- indivíduos empregados por setor (primário; secundário e terciário);
- indivíduos residentes por faixa etária (10-13; 14-19; 15-19; 20-24; 20-64 e 65+).

De seguida, com os dados trabalhados anteriormente prosseguimos com a execução dos modelos de localização e da área de serviço, e com o cálculo das métricas com a teoria dos grafos, como vamos expor seguidamente (Cf. Anexo 1):

1. Seleção dos polígonos da *BGRI11_171* que intersectam as paragens da rede da Carris;
2. Conversão dos polígonos em pontos com a ferramenta *feature to point*;
3. Criação de duas *personal geodatabase* para a criação do Network Dataset para calcularmos os modelos de localização e a Área de Serviço;

4. Edição das linhas da rede do Metropolitano para não haver interseções (grafo planar);
5. Uso do programa *Geo-graph* das 4 medidas de centralidade para a rede do Metropolitano.

A figura 1 representa as paragens e percursos da rede da Carris, a figura 2 apresenta as estações e percursos da rede do Metropolitano.

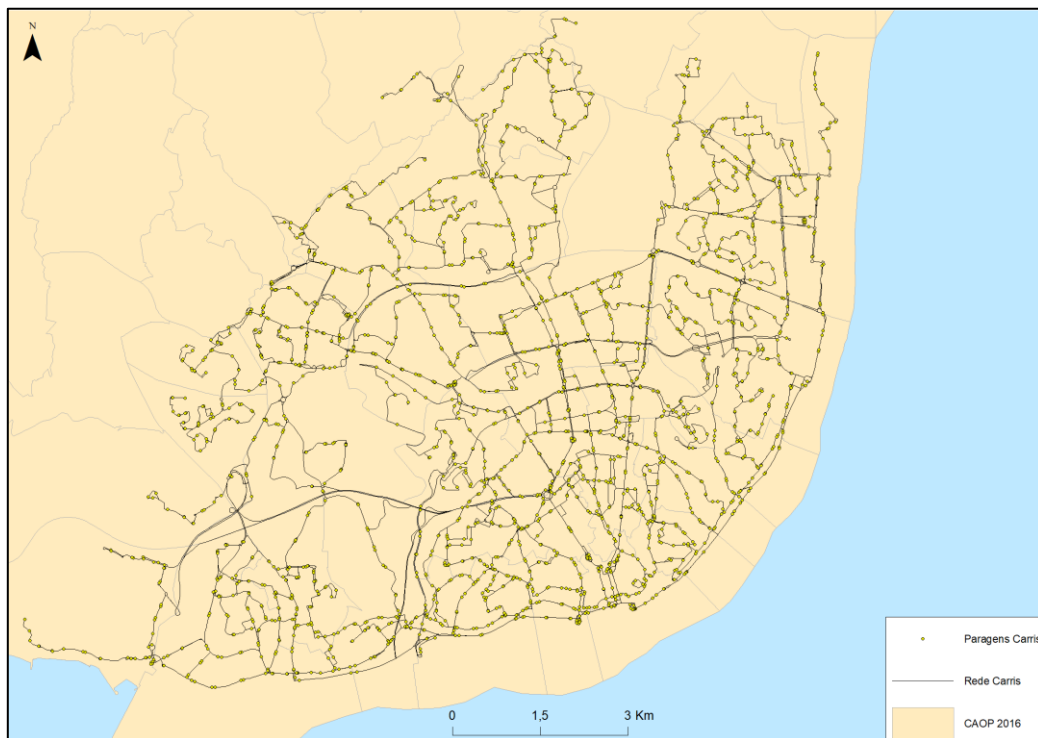


Figura 1 – Paragens e percursos da rede da Carris

Fonte: Carris (2019)



Figura 2 – Estações e percursos da rede do Metropolitano

Fonte: Metropolitano (2019) e INE (bgri 2011)

A figura 3 apresenta o resultado do problema-tipo minimize impedance para a rede da Carris com a variável indivíduos residentes empregados. A figura 4 representa o resultado do problema-tipo minimize impedance para a rede do Metropolitano com a variável indivíduos residentes empregados

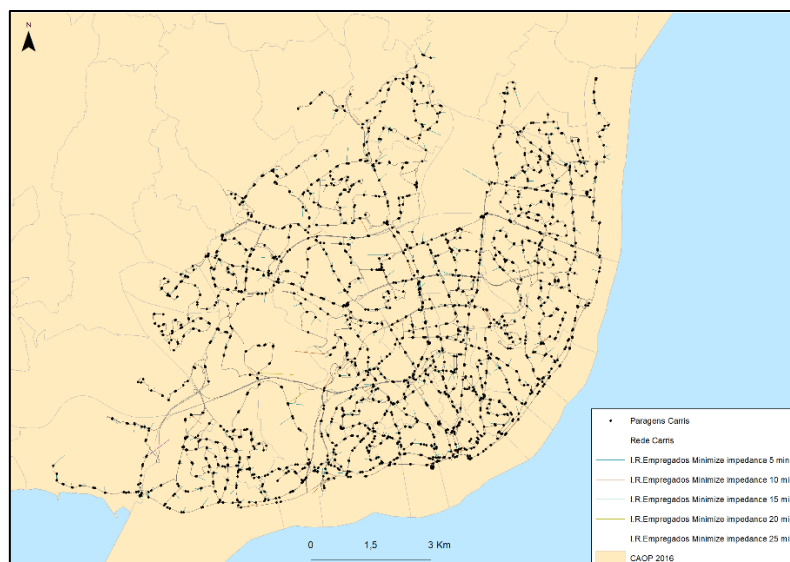


Figura 3 – Problema-tipo Minimize Impedance para a rede da Carris, com a variável Indivíduos residentes empregados

Fonte: Elaboração própria

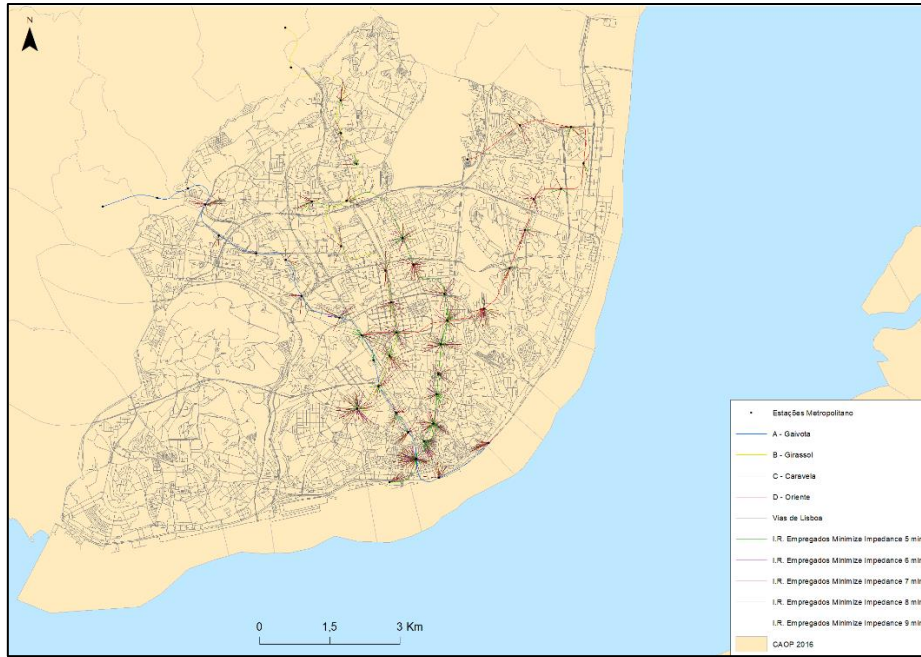


Figura 4 - Problema-tipo Minimize Impedance para a rede do Metropolitan, com a variável Indivíduos residentes empregados

Fonte: Elaboração própria

A figura 5 apresenta o resultado da área de influência da rede da Carris. A figura 6 apresenta o resultado da área de influência da rede do Metropolitan.

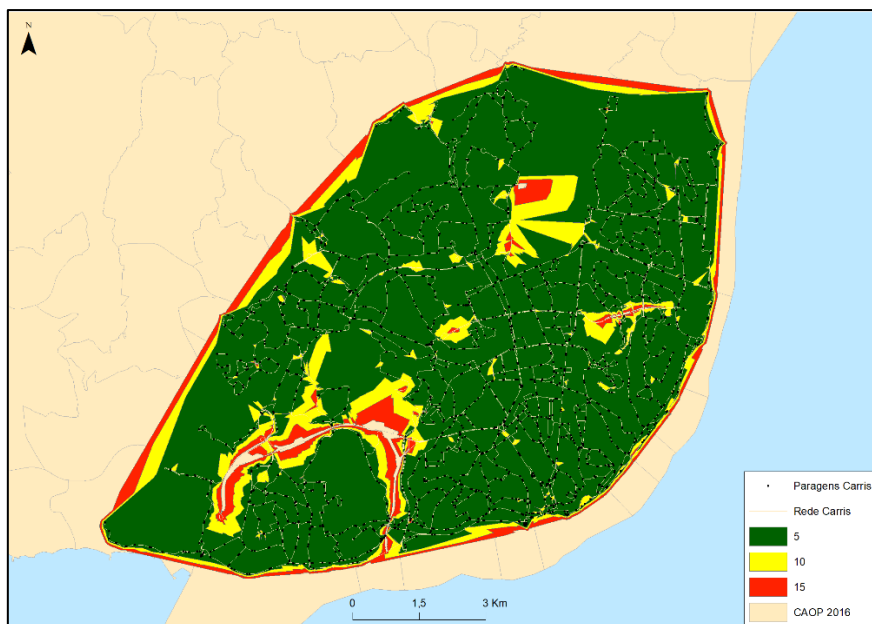


Figura 5 – Área de influência das paragens da Rede da Carris

Fonte: Elaboração própria

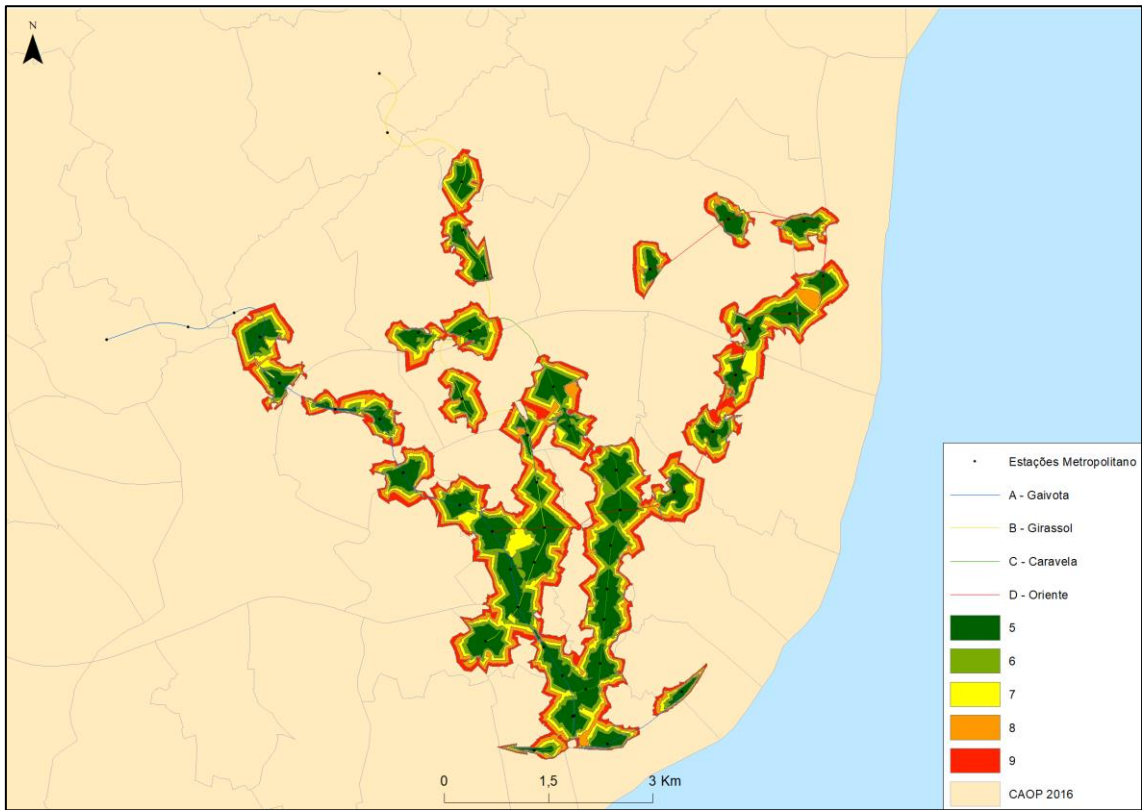


Figura 6 – Área de influência das estações da Rede do Metropolitano

Fonte: Elaboração própria

2. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA (ESTADO DA ARTE)

2.1 Transportes e SIG

De acordo com Domingos (2006), nas últimas décadas tem sido crescente a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica no planeamento e gestão de sistemas de transporte, obrigando ao aperfeiçoamento das capacidades destas técnicas, incluindo algoritmos de análises de redes e desenvolvendo as suas capacidades de modelação de elementos lineares.

O uso de métodos e técnicas analíticas na geografia, permitiram definir e determinar medidas para os fenómenos espaciais. No caso do estudo das redes estas medidas servem para descrever quantitativamente a rede e comparar exatamente uma rede com outra. (Dalton *et al.*, 1973, cit in Morgado, 2010). Na metodologia geográfica a modelação e a geocomputação permitiram o desenvolvimento de novas teorias e a compreensão das realidades territoriais (Wilson, 2000, cit in Morgado, 2010). Existem vários modelos: informais (verbais) ou formais (matemáticos e estatísticos), conceptuais (descritivos) e físicos (analíticos e de simulação).

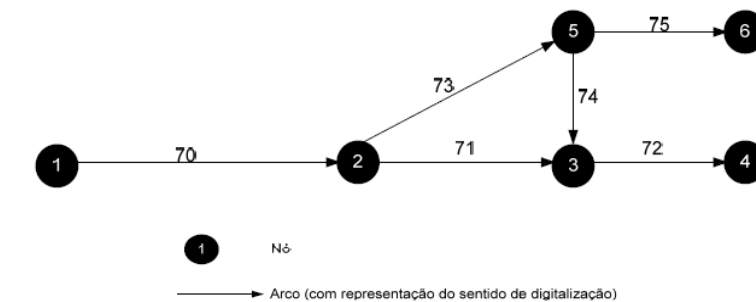
De acordo com Miller (1999, cit in Morgado, 2010) a convergência, transportes, SIG e análise espacial ocorreu nos finais da década de 90 do século XX, com novas ferramentas geocomputacionais da ciência da informação geográfica (GISc), um novo campo interdisciplinar que se centra na teoria e técnicas por detrás dos GIS e tecnologias relacionadas. Os transportes beneficiaram muito dos SIG, nas suas componentes Sistema de Gestão de Base de Dados Espaciais (SGBDE) e de Sistema de Suporte à Decisão (SSD). Em termos da Análise Espacial os modelos de transporte poderão ter mais valias ao nível do planeamento e ao nível teórico e do conhecimento.

Waters (1999, cit in Morgado, 2010) afirma que a tecnologia, proporcionou o desenvolvimento dos SIG, também possibilitou o desenvolvimento dos SIG-T, quanto ao desenvolvimento dos SGBD e também da criação de programas stand-alone, para a realização de tarefas orientadas para a resolução de problemas específicos.

Fisher (2003, cit in Morgado, 2010) realça a importância que a relação, transportes, SIG e CIG tem para aqueles que constroem os modelos. O autor pensa que os SIG-T são uma aplicação dos sistemas e das ciências de informação geográfica para a resolução de problemas dos transportes.

Domingos (2006) aponta o modelo arco-nó como o modelo de dados mais popular em GIS-T. O autor afirma que “Neste modelo, tal como na teoria de grafos, existem elementos pontuais, os nós, que são ligados por elementos lineares, os arcos. Cada um destes elementos terá uma codificação única (um identificador), sendo que os arcos serão ainda identificados pelos nós que estão nas suas extremidades”. Para o autor os GIS-T utilizam a modelação de elementos lineares para a representação de redes de transportes e os seus atributos. O autor também afirma que “No formato vetorial, o modelo de dados arco-nó é o mais vulgarmente utilizado, sendo os arcos partes da rede aos quais estão associados determinados atributos em tabelas relacionais. Os nós são os pontos de ligação entre os diferentes arcos, e podem igualmente armazenar atributos em tabelas relacionais, juntamente com os dados que a topologia do modelo exige”. Considera também este autor que “As infraestruturas de transporte, em concreto as redes de estradas, são constituídas por uma série de nós, que são elementos pontuais que ocorrem nas intersecções viárias, e pelos arcos, que representam os elementos lineares (rodovias, ferroviárias, cursos de água) pelo seu eixo, e que, num sistema de transporte, funcionam como os canais por onde o movimento da rede ocorre, podendo ser direcionais ou não”. Goodchild (1998, cit in Domingos, 2006) afirma que “neste modelo, todos estes objetos geográficos (nós e arcos) são codificados e armazenados em bases de dados pelo modelo relacional. Assim, a tabela dos nós contém, obrigatoriamente, um identificador (ID); por sua vez, a tabela dos arcos terá que possuir um identificador, e a codificação do nó de origem e do nó de destino (ID; FNode; TNode)”.

A Figura 7 apresenta a organização do modelo arco-nó (o sentido das setas refere-se ao sentido de digitalização dos arcos).



Node_ID	Atributos
1	...
2	...
3	...
4	...
5	...
6	...

Arc_ID	FNode	TNode	Atributos
70	1	2	...
71	2	3	...
72	3	4	...
73	2	5	...
74	5	3	...
75	5	6	...

Figura 7: Representação básica do modelo de dados arco-nó

Fonte: Goodchild (1998, cit in Domingos, 2006)

Para Fohl *et al.* (1996, cit in Domingos, 2006), o modelo arco-nó introduziu tabelas de direção (*turn tables*) para alguns *softwares* GIS-T. Estas tabelas permitem modelar a deslocação de um arco para o outro. Cada nó tem entrada na tabela de direção, identificando o arco de entrada e de saída e a informação sobre a impedância de circulação.

Para Goodchild (2000, cit in Domingos, 2006), o modelo arco-nó apresenta a dificuldade “em lidar com atributos que ocorrem num determinado ponto ao longo de um arco, ou num segmento que não se confine às fronteiras de dois nós”. Para o autor é possível “associar informação que ocorra ao longo da totalidade de um arco, mas não arbitrariamente nos arcos”. Para Ozbay e Noyan (2003, cit in Domingos, 2006), este

modelo é rígido para gerir informação de natureza dinâmica para o sistema de transportes, isto significa que os arcos são muito estáticos e a informação é demasiado dinâmica.

De acordo com Goodchild (2000, cit in Domingos, 2006) o modelo de dados arco-nó permite partir as ruas em vários segmentos de acordo com as interseções dessa via. Daqui surge redundância de dados porque tem que se repetir o nome dos atributos pelos diferentes segmentos. Ao mesmo tempo existe dificuldades ao definir interseções, por exemplo, interseções com vias que não são estradas. Outra limitação é representar veículos fora da rede, pois estes podem estar em parques de estacionamento ou em propriedade privada.

2.2 *Geografia dos Transportes*

Para Pereira (2009) os dias de hoje caracterizam-se pela existência de vários tipos de redes geográficas. Estas redes contribuem para a dinamização dos sistemas produtivos e para a redefinição do uso do território à escala mundial. Neste contexto surgem novas possibilidades para os “fluxos materiais (objetos, mercadorias, pessoas).” Para o autor a geografia estuda as várias redes dos territórios (urbanas, comércio, transportes, entre outras), cuja principal função é a circulação de “matérias-primas, objetos, pessoas”. O seu estudo é importante para compreender estes movimentos e a sua distribuição e extensão. Para Costa (2007), a geografia preocupa-se em determinar as influências que estas redes [de transporte] exercem sobre o território.

Pereira et al (2012) que “a Geografia estuda os meios de transportes, que organizam a estrutura espacial das redes e os fluxos de mercadorias, pessoas e informações, pelos territórios, em escala local, regional, nacional e internacional.” Em termos de objeto, a Geografia dos Transportes estuda a política de mobilidade urbana, descreve, analisa e explica, “as desigualdades socioeconómicas no processo de desenvolvimento das redes de infraestrutura e dos fluxos que viabilizam a política de mobilidade, principalmente nas áreas urbanas.”

Em meados do século XX, Max Sorre (1948, cit in Pereira, 2009) “referiu-se à geografia da circulação como uma verdadeira ‘luta contra o espaço’.” Defende que os sistemas de transporte são importantes para geógrafos, planeadores e para o poder público. A circulação é vital porque influencia o modo de produção, tanto como se estrutura e como funciona.

De acordo Pacheco (2004) a análise geográfica dos transportes andou a par com as investigações noutras áreas científicas, como por exemplo a economia, influenciando os objetos e a metodologia nas ciências sociais e humanas. Para este autor a Geografia da Circulação e dos Transportes não se limita ao estudo do “desenho da rede e da distribuição do uso do solo, da população e das atividades económicas”, mas também incide sobre a “acessibilidade que permita decidir sobre intervenções e efeitos futuros”.

Existe interdisciplinaridade entre a Geografia dos Transportes e outros ramos do saber: Engenharia, a História, a Economia, a Matemática, a Sociologia, o Planeamento, a Informática, o Meio Ambiente, entre outras (Hoyle; Knowles, 2001. Pons; Reynés, 2004. Rodrigue et al, 2006. cit in Pereira et al, 2012). De acordo com Kansky (1963, cit in Morgado, 2010) a partir da década de 60 do século XX, a geografia começa a estudar as redes de transporte a partir de uma base matemática.

Para Ascher (2001, cit in Morgado, 2010) a geografia procura compreender o efeito que as redes de transporte tem no território em relação à organização social e económica e também em relação à organização espacial e ambiental.

Para Pons; Reynes (2004, cit in Pereira et al, 2012) a Geografia interessa-se pela “infraestrutura dos meios de transportes, dos terminais, dos equipamentos e das redes que ocupam lugares estratégicos no espaço geográfico, constituindo, dessa forma, a base de um sistema espacial diversificado e complexo.”

2.3 Redes de Transporte

Abreu (2005, cit in Morgado, 2010) refere que desde as vias romanas, passando pelos caminhos-de-ferro do século XIX, às autoestradas e comboios de alta-velocidade do século XX e do século XXI, as redes de transporte organizam o território e as atividades económicas, ao mesmo tempo que influenciam a forma como as pessoas se deslocam e usam e ocupam o espaço.

Para Gaspar e Rodrigues (2005, cit in Morgado, 2010) a perceção de distância depende da funcionalidade da rede de transportes.

De acordo com Morgado (2010), o desenvolvimento das redes de transporte permite o aumento da difusão do conhecimento, e colabora no desenvolvimento das sociedades.

Costa (2007), considera que o transporte é importante nos sistemas de produção porque facilita as relações entre os diferentes territórios, diferencia esses territórios, promovendo diferenças de acessibilidade. Segundo o autor, a procura de transporte depende, entre outros fatores, de aspetos demográficos e sociais que se refletem numa relação entre o modelo de desenvolvimento urbano, o desenvolvimento dos sistemas de transportes e as alterações nos padrões de mobilidade.

Pacheco (2004) afirma que à evolução das sociedades está associado à redução do efeito das distâncias. A melhoria dos sistemas de transportes promove a qualidade de vida e a competitividade do território. A evolução dos transportes e comunicações trouxe mudanças no território, que mostram a luta do homem para alargar o seu espaço vital. O poder da velocidade desenha um conjunto de relações entre o individual e o global, que faz com que seja necessário repensar os conceitos de espaço e tempo. O aumento dos fluxos de trocas e a valorização da mobilidade e dos sistemas de comunicação é acompanhado pela redefinição de hierarquias e redes territoriais.

Tolley e Turton (1995, cit in Costa, 2010) afirmam que o movimento de pessoas e de bens é uma necessidade fundamental da sociedade e os contactos sociais ou as relações comerciais aumentaram devido ao desenvolvimento dos sistemas de transportes. Hoyle e

Knowles (1998, cit in Costa, 2010) também defendem que as atividades relacionadas com os transportes fazem parte do quotidiano, possibilitando a deslocação de pessoas e de bens, assim como a disponibilização de bens e de serviços.

Segundo Vigar (2002, cit in Costa, 2007) a construção de infraestruturas rodoviárias e o fácil acesso à aquisição do automóvel, a possibilidade de maiores oportunidades de localização da residência, do emprego, ou dos locais para a realização de atividades de lazer aumentaram as expectativas em relação à capacidade de nos deslocarmos.

Para Amartya Sen (cit in Brito 2015) “O transporte é parte fundamental do processo de crescimento económico”.

Segundo Vuchic (2005, cit in Vicente, 2017) e Costa (2008, cit in Vicente, 2017) as redes podem ter diferentes configurações: linhas radiais, linhas circulares, linhas diametrais, e linhas tangenciais. Seguidamente descreve-se cada uma delas:

- a) Linhas radiais: “conjunto de linhas radiais e transversais que se concentram numa zona específica no centro, onde geralmente se encontram polos de emprego ou zonas de comércio importantes da cidade. A existência deste tipo de linhas é vantajosa para as pessoas que moram nas periferias pois o seu percurso até ao centro é direto”.
- b) Linhas circulares: “têm como objetivo fazer a ligação das zonas em torno da cidade, de forma a criar interfaces com as linhas radiais, o que permite abranger uma maior cobertura espacial. São consideradas linhas de elevado tráfego devido à concentração de atividades que abrange e ao número de passageiros que fazem trocas entre as linhas radiais. No entanto as linhas circulares são complexas no que toca ao cumprimento de horários, visto caso se registar um atraso durante o percurso dificilmente este tempo é recuperado sem afetar os passageiros”.
- c) Linhas diametrais “são linhas que podem ter forma de L ou U, sendo vantajosas para cidades extensas com densidades uniformes. As linhas diametrais em comparação com as radiais, apresentam uma melhor cobertura espacial e permitem viajar diretamente de uma área suburbana para outra. Contudo estas linhas são propícias a apresentar um volume de passageiros inconstantes, o que leva à criação de vários tipos de horários,

dificultando assim a sua compreensão por parte dos passageiros que queiram usufruir esse transporte”.

- d) Linhas tangenciais “são linhas perpendiculares ou tangente às linhas radiais, sendo mais comuns nas cidades com uma malha viária reticulada. O número de passageiros neste tipo de linhas é aproximadamente constante ao longo do dia”.

Pereira (2009) identifica dois grandes tipos de redes:

1. Redes técnicas ou de infraestruturas: dão suporte ao fluxo de materiais e informações, redes de transporte (rodoviárias, ferroviária...), e as de comunicação e informação (infovias, internet, sistemas de comunicação via satélites...).
2. Redes de serviços ou de organização: resultam da organização de pontos e agentes no território para a realização de determinada atividade, com relações políticas e sociais organizadas para a realização de atividades multilocalizadas no território, como é o caso, por exemplo, das parcelas técnicas da produção de grandes empresas, ou ainda do seu controlo/comando no território.

2.4 Transportes, organização do território e crescimento urbano

Para Thomson (1977, cit in Costa, 2010) o transporte é um elemento relevante da cidade ocupando uma parte importante do espaço urbano, ao mesmo tempo que consome uma boa parte do tempo dos seus habitantes. Para Costa (2010) os transportes contribuem para a diferenciação espacial da cidade, assim como para o crescimento e a organização dos espaços urbanos. Para este autor “A relação entre o transporte e a organização do espaço, caracteriza-se por uma utilização diferenciada do solo e por desiguais intensidades do seu uso”.

De acordo com Rodrigue et al. (2006, cit in Pereira et al., 2012), as mudanças ocorridas nas atividades socioeconómicas humanas provocaram o crescimento das cidades, criando novas formas de emprego, atividades e estilos de vida (consumismo)”.

Albuquerque (2017) afirma que “os transportes são responsáveis pela origem, transformação e evolução territorial”. Considera que o traçado das linhas do trajeto dos meios de transporte, assim como os seus pontos de paragem (apeadeiros, estações e paragens) definem grande parte do desenho da malha urbana. Afirma ainda, que os centros urbanos se localizam nos locais mais favoráveis para as atividades humanas, sendo importante a acessibilidade “para o encontro e relações, de que dependem as funções urbanas”.

Roseta (2001, cit in Albuquerque 2017) afirma que “a acessibilidade permite a união de aglomerados e a conexão entre territórios distantes”.

Para Salgueiro (1987, cit in Albuquerque 2017), os meios de transporte organizam o espaço. Os transportes “hierarquizam, valorizam os locais e transformam os seus usos”, sendo, por isso, importantes no desenvolvimento urbano. Para a autora o automóvel por ser um meio de transporte com maior agilidade e maior liberdade de deslocação, é um elemento descentralizador, permitindo a dispersão do edificado. Por outro lado, o caminho-de-ferro ou o Metropolitano são elementos centralizadores, localizando-se as povoações em volta das estações correspondentes. A conjugação de modos de transporte em interfaces favorece a atratividade e a centralidade.

Roseta (2001, cit in Albuquerque 2017) defende que “o desenho das redes de transporte, quando sobreposto ao desenho do aglomerado urbano, pode também criar processos de rutura e fragmentação no território. O sistema do Metropolitano, enquanto sistema subterrâneo ou aéreo, resolve este tipo de fraturas”.

Para Vicente (2017) o plano de uma rede de transportes urbana deve estar de acordo com a orografia do território e com as necessidades atuais. Para este autor, nas áreas Metropolitanas devem existir a rede principal, para transportar passageiros das áreas periféricas para o centro da cidade e vice-versa, e a rede complementar, para “interligar todos os pontos do centro da cidade com o menor número de transbordos possíveis”.

2.4 Acessibilidade e Mobilidade

Os conceitos de acessibilidade e de mobilidade são fundamentais para se perceber o papel do transporte na diferenciação espacial e na evolução da organização dos territórios.

Para Costa (2010) o aumento da acessibilidade e da mobilidade permite alargar as alternativas de localização de unidades produtivas ou de residência, o alargamento dos mercados, e as oportunidades de emprego.

De acordo com Costa (2010) a mobilidade é a capacidade que cada um possui de se deslocar entre dois pontos recorrendo aos diferentes modos de transporte disponíveis. Para este autor a distância, a rede hidrográfica, o relevo e as condições meteorológicas, são obstáculos à mobilidade, mas o atrito é principalmente devido à não disponibilidade de serviços de transporte, do custo de deslocação e da não adequação das condições do serviço às necessidades individuais, nomeadamente as adaptadas a cidadãos com maiores limitações de deslocação.

Para Teles (2003, cit in Teixeira, 2004) “ser móvel é percorrer a nossa espantosa condição urbana que é a condição humana porque o território muito para além da sua vertente física é uma imensa construção social”. O mesmo autor (2005, cit in Teixeira, 2004) afirma que a mobilidade “já não é mais um conceito de distância entre dois pontos, mas a deslocação de pessoas, bens, comunicações, informação e a relação que existe entre o local de trabalho com as residências, do acesso aos bens com os espaços de lazer e até um leque de questões políticas”.

Para Brandão (2012, cit in Teixeira, 2004) a mobilidade relaciona-se com a liberdade com que nos podemos movimentar no espaço (capacidade de deslocação), traduzindo o modo e a intensidade com que nos deslocamos.

Segundo a Committee on National Statistics (2002, cit in Vicente, 2017) a mobilidade é boa quando as variações dos tempos da viagem e os custos são baixos. Para Tagore & Sikdar (1995, cit in Vicente, 2017) a mobilidade depende da capacidade das pessoas se deslocarem de um sítio para outro, do desempenho do sistema de transportes

(disponibilidade, frequência, tempo de espera) e das características do indivíduo (rendimento, veículo próprio). Para Cheng & Chen (2015, cit in Vicente, 2017) um número grande de transbordos reduz a satisfação do cliente, desencorajando a utilização dos transportes públicos e diminuindo a competitividade do sistema.

Para Santos (2017) em relação à estrutura urbana e à mobilidade, as políticas públicas sobre o espaço visam reduzir “desequilíbrios sociais e a promover a justiça territorial”. Para o autor isto é o planeamento territorial.

Para Costa (2010) a acessibilidade pode ser vista de acordo com a perspetiva da rede (possibilidade de um determinado lugar poder ser alcançado), e na perspetiva da deslocação (a facilidade de realização da deslocação tendo em conta, por exemplo, o tempo ou o custo). Para este autor a acessibilidade aumenta quando o movimento é mais fácil, mais barato e menos demorado. Defende também que a propensão à deslocação aumenta com a acessibilidade e com ela a potencial interação entre lugares.

Para Cunha *et al.*, (2004, cit in Teixeira, 2004) a interação entre transporte e uso do solo determina uma maior ou menor acessibilidade. Outros autores como Maia e Lima (2004, cit in Teixeira, 2004) também estão de acordo com a interação entre transporte e uso do solo para uma maior ou menor acessibilidade.

O conceito europeu de acessibilidade (CEA, 2003, cit in Teixeira, 2004) afirma que a “Acessibilidade é a característica de um meio físico ou de um objeto que permite a interação de todas as pessoas com esse meio físico ou objeto e a utilização destes de uma forma equilibrada/amigável, respeitadora e segura. Isto significa igualdade de oportunidades para todos os utilizadores ou utentes, quaisquer que sejam as suas capacidades, antecedentes culturais ou lugar de residência no âmbito do exercício de todas as atividades que integram o seu desenvolvimento social ou individual. Portanto, a acessibilidade promove a igualdade de oportunidades, não a uniformização da população (em termos de cultura, costumes ou hábitos)”.

Brandão (cit in Teles 2005, cit in Teixeira, 2004) considera que “acessibilidade é a facilidade com que podemos circular numa área e aceder a determinado lugar ou equipamento.” Para o autor a acessibilidade implica uma adequação aos utilizadores e

uma conectividade com os outros elementos pertencentes ao sistema, tendo em conta variáveis como, tempo, custo, modo de transporte e conforto.

Cardoso e Matos (2007, cit in Teixeira, 2004) afirmam que “a acessibilidade urbana é condicionada pela interação entre o uso do solo e o transporte.” Para os autores a acessibilidade faz parte da dinâmica e do funcionamento das cidades, contribuindo para a qualidade de vida urbana, pois permite que a população aceda aos serviços e equipamentos urbanos, assim como permite a sua aproximação às atividades económicas.

Para Grava (2003, cit in Costa 2010) a acessibilidade verificada numa área urbana é um fator da qualidade e da eficiência operacional de uma cidade.

A acessibilidade é importante para determinar a qualidade das políticas de transporte e desenvolvimento do território (Thakuriah, et al., 2017, cit in Vicente, 2017). Giuliano (1998, cit in Vicente, 2017) defende que a acessibilidade de um local é fomentada pela sua atratividade em termos de atividades económicas e sociais. A acessibilidade das regiões melhora a sua posição competitiva (European Commission, 1999, cit in Vicente 217).

2.5 *Desenvolvimento Sustentável e Transportes*

Para Louro & Costa (2019) as deslocações e o sistema de transporte têm consequências para o indivíduo, para a comunidade e a nível global, que põem em causa a sustentabilidade urbana e também a saúde. Costa (2010) também considera que as atuais condições de consumo de transporte colocam cada vez mais em causa as condições de bem-estar e qualidade de vida nas aglomerações urbanas, condicionando o desenvolvimento económico e a sustentabilidade das cidades.

Para Zuidgeest (2000, cit Vicente, 2017) o aumento do tráfego nas áreas urbanas originou impactos ambientais, sociais e da qualidade de vida negativos.

A questão sobre o desenvolvimento sustentável tem em conta os transportes e a mobilidade urbana, por causa do crescente consumo de combustíveis fósseis e da emissão de poluentes (Banister, 2005; Rodrigues et al., 2006, cit in Louro & Costa, 2017). Para Younger et al. (2008, cit in Louro & Costa, 2017) o transporte motorizado é um dos grandes responsáveis do consumo de combustível fóssil.

Para a Comissão Europeia (Commission of European Communities, 1992, cit in Costa 2010) a mobilidade sustentável deverá suportar atividades de transporte que cumpram as suas funções económicas e sociais, restringindo também a ação nociva sobre o ambiente.

Ferreira *et al.*, (2013, cit in Teixeira, 2004), defende que a mobilidade sustentável assenta em políticas integradas que contribuam para o desenvolvimento sustentável dos territórios e da sociedade. Objetivos da mobilidade sustentável são indicados por Ramos (2001, cit in Teixeira, 2004), Marshall e Banister (2006; & Banister, 2008, cit in Teixeira, 2004), a saber: reduzir as distâncias de deslocação; incrementar a mobilidade não-motorizada; incrementar o uso dos transportes coletivos; reduzir a mobilidade em automóvel; reduzir o consumo de energia; promover a cooperação intersetorial; promover o acesso à informação e consciencialização da população; promover a qualidade de vida e o bem-estar geral.

3. BREVE HISTÓRIA DA GEOGRAFIA DAS REDES DE TRANSPORTES PÚBLICOS DA CIDADE DE LISBOA

3.1 Introdução

A definição de transporte público engloba um conjunto de elementos, tais como tarifas, rotas, horários, serviços prestados, entre outros, estando subjacente a importância da qualidade do serviço, que vários autores relacionam com o aumento do número de utentes, a diminuição do uso de viatura própria, ou mesmo com a criação de riqueza nas cidades.

Zatti (2012, cit in Pereira 2018) define transporte público como serviços de passageiros para o público em geral, com tarifas pré-estabelecidas, rotas e horários. Costa (2010) considera que o sistema de transportes coletivos engloba os modos de transporte que os utentes podem utilizar, os serviços prestados, a configuração das redes dos diferentes modos e a qualidade e a facilidade na utilização do sistema. Para este autor é também importante ter em conta o resultado da integração dos diferentes serviços, a coordenação dos trajetos, dos horários e do sistema de tarifas, assim como a qualidade e utilidade da informação disponibilizada ao cliente.

Para Mees, Stone, Imran & Nielson (2010, cit in Pereira 2018) o transporte público melhora a mobilidade e diminui o congestionamento do tráfego e as dificuldades de estacionamento. Beirão & Cabral (2007, cit in Pereira, 2018) defendem que se o serviço de transporte público corresponder às expectativas dos utentes, o número de clientes aumentará e diminuirá o número de pessoas que utilizam viatura própria. De acordo com esta ideia, Cachado, Carmo, Ferreira e Santos (2017, cit in Pereira, 2018) defendem que o automóvel é uma opção quando o transporte público não corresponde às necessidades dos utentes. Para Belwal (2017, cit in Pereira 2018) um sistema eficiente de transportes públicos reduz a dependência do automóvel e a vulnerabilidade do petróleo, economizará tempo e espaço e ajudará as cidades no processo de criação de riqueza. Segundo um estudo de Vicente e Reis (2013, cit in Pereira, 2018) para aumentar o uso de transporte público este deve corresponder às expectativas dos consumidores. Brito (2015) considera que a qualidade do serviço de transporte atrai um maior número de clientes.

3.2 Breve história da geografia da rede de transportes públicos da cidade de Lisboa

O crescimento da cidade de Lisboa não se pode dissociar dos transportes. O aumento da população da cidade e o crescimento espacial tentacular para zonas afastadas do centro, fizeram aparecer uma rede de transportes públicos e, mais tarde, de transportes coletivos. (Mendonça et al, 2006)

Entre 1835 e 1901 existem dois períodos nos transportes públicos em Lisboa: no primeiro circulam os “omnibus” (1835 a 1889), no segundo os “americanos” (1873 a 1917). Em 1917 também já existiam elétricos. Apesar de nesta época a cidade de Lisboa ser de pequena dimensão, não sendo, por isso, rentável uma carreira urbana, a relação com os subúrbios já justificava um serviço de transportes públicos. Em 1855, no percurso entre Lisboa e Lumiar, faziam-se duas viagens diárias no Inverno e quatro viagens no Verão, e no percurso entre Lisboa e Oeiras, fazia-se uma viagem por dia durante todo o ano. De acordo com Pereira, 1950 (cit in Salgueiro, 1971), nesta altura a companhia Rippert faz viagens para Loures, Sintra, Queluz, e Carnaxide, e as outras companhias fazem viagens na cidade e aos arrabaldes de Belém, Lumiar e Carnide. Note-se que de acordo com (Salgueiro, 1971) os subúrbios dividem-se entre uma zona que apresenta relativa acessibilidade ao centro (Belém-Benfica-Carnide-Poço do Bispo) e as zonas com ligações mais esporádicas.

Em 1836 foi criada a Companhia de Carruagens Omnibus e mais tarde surgem os Carros do Florindo que faziam serviço na linha de Cascais, sendo precursores da linha férrea. (Salgueiro, 1971). Entre 1870 e 1877 surgiu outro meio de transporte, o Larmanjart, que foi trazido de França e cuja viagem inaugural foi a 31 de janeiro de 1870, entre Arroios e Lumiar, demorando entre 50 e 60 minutos (Calixto, 1967, cit in Salgueiro, 1971). A partir de 1883 a Companhia Carris Ferro de Lisboa vê-se confrontada na sua expansão com a concorrência de outras empresas, mas usando como estratégia a redução de tarifas e da bitola da linha consegue dominar as outras e transformá-las em suas acionistas em 1892. (Salgueiro, 1971). A Figura 8 apresenta as companhias de transporte público da cidade de Lisboa no século XIX.

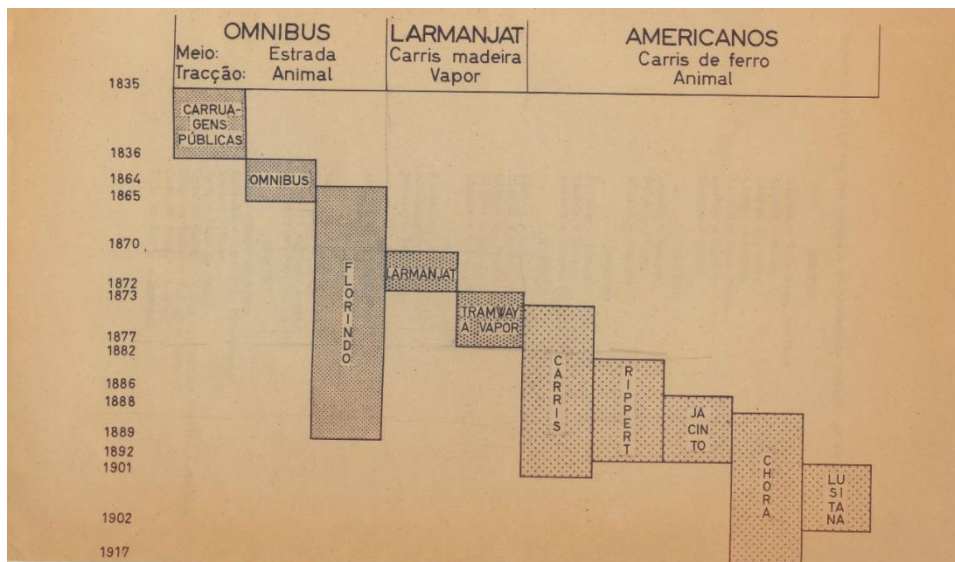


Figura 8: Companhias de transporte público da cidade de Lisboa no século XIX

Fonte: Salgueiro (1971)

No século XX surge o elétrico em Lisboa. Entre 1889 a 1896 existiu a linha do Cais do Sodré a Algés, de tração a vapor, que foi abandonada devido a resultados pouco positivos, pondo-se a hipótese da tração elétrica, tendo ido Alfredo da Silva estudar o problema. Em Londres foi fundada a Lisbon Electric Tramway Limited, tendo sido a companhia autorizada pela Câmara de Lisboa a eletrificar todas as linhas, em 1898.

A rede de elétricos (Figura 9 direita) é composta por uma linha circular, a antiga estrada da circunvalação de onde partem radiais que ligam aos arredores (Dafundo, Benfica, Carnide, Lumiar, Poço do Bispo). Este perímetro coincide, mais ou menos, com o limite da cidade de Lisboa em 1911, servindo a cidade e, fora dela vai contribuir para o desenvolvimento da área rural, que nos anos seguintes vai ser cada vez mais ocupado. A Figura 3 (esquerda) mostra a rede dos “americanos” em que já existiam linhas de penetração (Salgueiro, 1971).

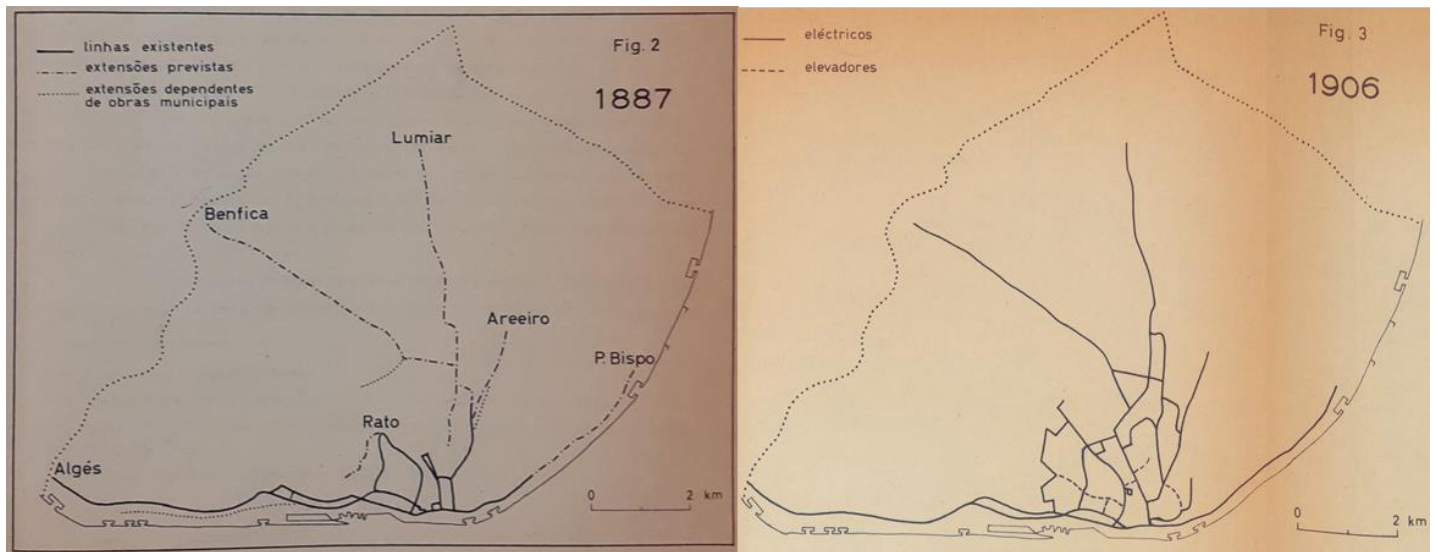


Figura 9: Rede de americanos em 1887 (esquerda); Rede de elétricos 1906 (direita)

Fonte: Salgueiro (1971)

Surgiram também vários elevadores na cidade, explorados por algumas companhias. A Companhia de Ascensores Mecânicos de Lisboa (C.A.M.L), que faliu em 1914, tendo surgido a Nova Companhia dos Ascensores Mecânicos de Lisboa, que se fundiu com a C.C.F.L. em 1926. Outra companhia foi a Lisbon Electric Tramways Limited, a quem foi concessionada os elevadores de Santa Justa, do Largo da Biblioteca e do Chiado.

Em 1882 surge o elevador da Estrela, desde o Camões aos Bem Casados. Em abril de 1884 foi inaugurado o elevador do Lavra, que vai do Largo da Anunciada à Travessa do Torel. Em 1885 inaugura-se o elevador da Gloria que sobe a Calçada da Gloria. Em 1892 o elevador da Bica começa a funcionar. Em 1890 surge o ascensor do Camões à Estrela. Em 1893 inaugura-se o elevador da Graça, cujo percurso é de St. André, Cavaleiros e Rua da Mouraria. Em 1899 surge um elevador do Rossio a S. Sebastião por Santa Marta e Largo do Andaluz. Em 1896 é concessionado o elevador de Santa Justa. Em 1897 é concessionado o elevador do Largo da Biblioteca. Entre 1892 a 1912 funcionou o elevador do Chiado.

Os primeiros autocarros ao serviço da Carris surgiram em 1912. Mendonça et al, (2006) refere que a Carris dirigiu um ofício à Câmara Municipal de Lisboa (CML) informando

que “mandou vir alguns carros automóveis com o fim de estabelecer os serviços de carácter provisório e temporário adequado ao que se tem em vista”. A primeira carreira destinou-se a Carnide, depois para Algés, Carnaxide, Caneças, Montachique, Bucelas e outras localidades fora da cidade de Lisboa (sendo por este motivo designados de “carros saloios”). Em finais de 1915 as carreiras já tinham chegado a Sintra, mas a I Guerra Mundial provocou o seu desaparecimento, devido à falta de material.

Na década de 40 do século XX a cidade de Lisboa cresceu de forma “tentacular”, não tendo sido este crescimento acompanhado de ofertas de transportes. A Carris começa a ponderar a oferta de autocarros para responder às necessidades. Castro (1955) afirma que já existiam negociações desde 1938, mas que com a II Guerra Mundial houve dificuldades para obter material. Para Mendonça et al (2006) os autocarros pretendiam: “servir, por carreiras regulares, as áreas e arruamentos mais afastados das linhas de viação elétrica; estabelecer ligações transversais convenientes entre as linhas radiais dessa mesma viação; prestar serviço complementar às linhas de elétricos nas ocasiões em que a Companhia o considerasse necessário; organizar visitas aos locais e monumentos importantes de Lisboa”.

O modo autocarro surge em Lisboa como já tinha surgido noutras cidades no mundo. Apresenta como vantagens, de acordo com Mendonça et al (2006) “não necessitar de uma base fixada na estrada, de um "meio fixo" (as linhas férreas) para se deslocar, o autocarro, mais veloz e mais flexível que o elétrico, viria a demonstrar a sua eficácia no congestionamento urbano”. Para Salgueiro (1971), os autocarros complementam o elétrico, e apresentam maior adaptabilidade, permitindo criar uma rede mais densa.

Durante a Exposição do Mundo Português a C.C.F.L. inclui o autocarro na sua frota. A 9 de abril de 1944, os autocarros começaram a circular utilizando os veículos da exposição do Mundo Português. Em 1947 foram introduzidos os autocarros de 2 pisos. Durante as décadas de 40 e 50 a frota aumentou e surgiram mais horários e carreiras.

De acordo com a Tabela 1 verifica-se que entre 1940 e 1946 o número de passageiros passou de 219.168 para 3.332.247. De 1940 para 1941 houve uma diminuição de 219.168 para 13.314 (-205,854), aumentando, substancialmente, a partir de 1944.

Ano	Passageiros
1940 ^(a)	219.168
1941 ^(b)	13.314
1944	498.983
1945	1.410.340
1946	3.332.247
(a) – Exposição do Mundo Português	
(b) – Exposição de Floricultura	

Tabela 1: Passageiros de autocarros entre 1940 e 1946

Fonte: Mendonça et al. (2006)

Até esta parte do trabalho, foi exposto um breve resumo histórico da evolução da rede de transportes públicos, seguidamente iremos expor a evolução das redes do Metropolitano e da Carris.

3.3 Evolução da rede do Metropolitano

O desenvolvimento do Metropolitano revolucionou a forma como as cidades cresceram. A abertura de uma nova estação de Metropolitano, potencia uma cadeia de oportunidades em diferentes setores. A economia urbana desse lugar pode progredir e pode também fazer progredir o espaço público e a arquitetura em volta da nova estação. As redes de Metropolitano são, em parte, responsáveis pelo desenho urbano das estruturas subjacentes e são o reflexo dos planos dessas cidades. A abertura de uma nova estação é uma força motriz do desenvolvimento económico e social dessa área.

As infraestruturas do Metropolitano condicionam e promovem ao mesmo tempo o desenvolvimento do tecido urbano. Esta atração (relativamente às funções urbanas) do Metropolitano, vai mudar a forma como a cidade funciona como estrutura social e a imagem arquitetónica/urbana. No caso de Lisboa, o Metropolitano seguiu o crescimento da cidade e valorizou as áreas servidas por este. Para Albuquerque (2014) o traçado do Metropolitano permitiu o atravessamento de toda a cidade e o desenvolvimento de

algumas áreas na periferia possibilitando deslocações ao centro de forma rápida, hierarquizando e valorizando zonas da cidade.

De acordo com Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001) a construção da rede do Metropolitano enquadra-se no crescimento da cidade de Lisboa, com um alargamento em mancha de óleo, absorve concelhos circunvizinhos e cada vez mais população. O crescimento de Lisboa nem sempre de forma planeada exigiu um equilíbrio entre as novas manchas urbanas e a ligação com a cidade. “Os transportes coletivos e, entre eles, o Metropolitano poderiam assegurar esse equilíbrio e introduzir um elemento de racionalização na vida e na massa urbana”.

A história do Metropolitano de Lisboa remonta a 1885. Nesta data, no reinado de D. Luís I, os engenheiros Costa Lima e Benjamim Cabral sugeriram a construção do Metropolitano em Lisboa. O assunto já era discutido na Europa. Londres foi a primeira cidade a inaugurar o seu Metropolitano em 1863, Nova Iorque em 1868, em 1869 Budapeste, em 1897 Glasgow, Paris começou a construir o Metropolitano em 1898. (Rollo, 2005, cit in Rodrigues & Sampayo, sd).

Em 1888 o engenheiro militar Henrique de Lima e Cunha, apresentou um projeto à Associação de Engenharia Civil Portuguesa chamado Esboço de um plano para o Metropolitano de Lisboa (Cunha, 1888, cit in Rodrigues & Sampayo, sd). Este projeto não teve continuidade, assim como outras propostas, porque o país não possuía as condições financeiras para a sua concretização. (Rollo, 2005, cit in Rodrigues & Sampayo, sd). Em 1921, Angel E. Castello apresentou um pedido de construção à CML, (Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001).

A 12 de Outubro de 1922 a CML recebe um novo requerimento, acompanhado de uma exposição de cinco páginas e de uma planta do traçado da rede do Metropolitano (Figura 10). Assinam o requerimento Eduardo Molano, corretor da Bolsa em Bilbao (Espanha), e António Fontes. (Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001).

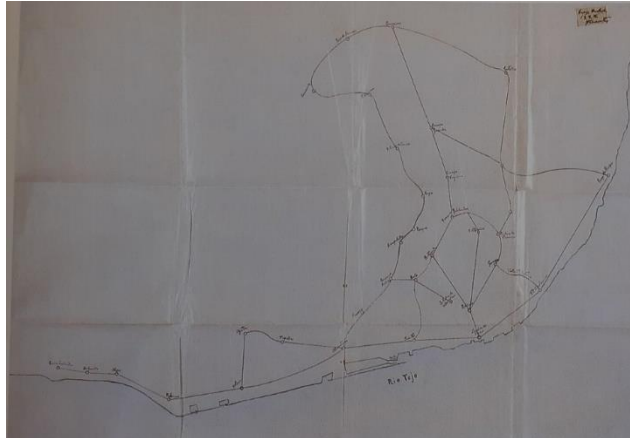


Figura 10: Plano de traçado da rede de Metropolitano proposta à CML em Outubro de 1922²

Fonte: (Rolo et al, 1965, 1953, 1999-2001).

Em 3 de Março de 1923 surge na CML mais um pedido, assinado por Gaston A. Lanoel d'Aussenac y Bustos, súbdito chileno e engenheiro de profissão, e por Abel Coelho, comerciante, ambos residentes em Lisboa (Figura 11). (Rolo et al., 1965, 1953, 1999-2001).

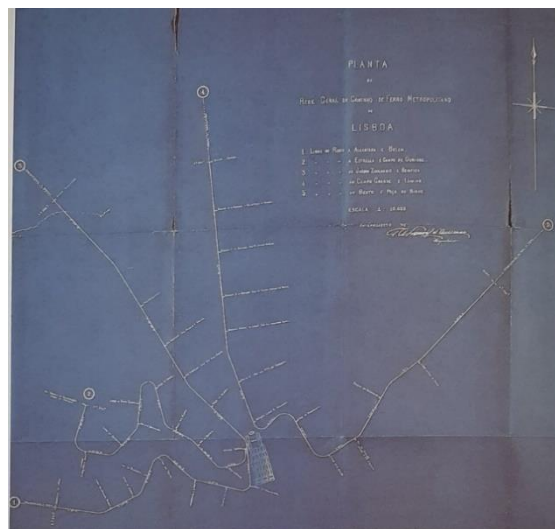


Figura 11: Plano de traçado da rede de Metropolitano proposta à CML em Março de 1923³

Fonte: (Rolo et al., 1965, 1953, 1999-2001).

² Plano de traçado da rede de Metropolitano proposta à CML em Outubro de 1922, Eduardo Molano e António Fontes. AMAC/CML, Metropolitano de Lisboa, Processo 1878, folha 5, cit in Rolo et al., 1965, 1953, 1999-2001.

³ Plano de traçado da rede do Metropolitano proposta à CML em março de 1923 por Gaston A. Lanoel d'Aussenac y Bustos e Abel Coelho. AMAC/CML, Metropolitano de Lisboa, Processo 3342, cit in Rolo et al, 1965, 1953, 1999-2001.

Em 1945, o engenheiro industrial F. de Sousa Coutinho, Conde do Funchal, requereu a concessão para a implantação de um Metropolitano na cidade de Lisboa através da apresentação de um anteprojecto à CML e ao Ministério das Obras Publicas. Mais tarde, em 1947, apresenta esse anteprojecto na Primeira Reunião Orlisiponense, realizada no quadro das Comemorações do VII Centenário da Tomada de Lisboa aos Mouros, em forma de comunicação designada “Um Metropolitano e Lisboa.” (Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001). Neste ano a empresa inglesa C.G. Wade enviou engenheiros a Lisboa, para avaliar a futura construção do Metropolitano de Lisboa (Figura 12). (Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001)



Figura 12: Trajeto da rede de Metropolitano projetada e proponente a concessão da CML em 1945⁴

Fonte: (Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001)

⁴ Planta da cidade de Lisboa sobre a qual foi desenhado o trajeto da rede de Metropolitano projetada e proponente a concessão da CML por José Coelho da Cunha e C. G. Wade. AMAC/CML, Processo 2292, cit in Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001.

Em 13 de Outubro de 1945, António Lopes Pinto Coelho, industrial, e João Carlos Adrião de Sequeira, engenheiro, professor do Instituto Superior Técnico (IST), requerem à CML a concessão para a construção do Metropolitano, de acordo com a planta da Figura 13. (Rolo et al., 1965, 1953, 1999-2001)



Figura 13: Trajeto da rede de Metropolitano projetada em 1945.⁵

Fonte: (Rolo et al., 1965, 1953, 1999-2001)

A 14 de janeiro de 1947 Francisco José Ferreira apresenta um pedido para a rede do Metropolitano, em seu nome e da Sociedade Portuguesa de Transportes Eléctricos Subterrâneos, SARL, por ações, a criar para o efeito. (Rolo et al., 1965, 1953, 1999-2001)

⁵ Planta da Cidade de Lisboa tendo assinalado o trajeto da rede de Metropolitano projetada por António Lopes Pinto Coelho e João Carlos Adrião de Sequeira. AMAC/CML, Metropolitano de Lisboa, Processo 34502, cit in Rolo et al, 1965, 1953, 1999-2001.

A sociedade Metropolitano de Lisboa foi constituída a 26 de janeiro de 1948 e a concessão para a instalação e exploração do respetivo Serviço Público veio a ser outorgada em 1 de julho de 1949. Em 7 de agosto de 1955 começaram os trabalhos de construção. A 29 de dezembro de 1959 o Metropolitano foi inaugurado com 11 estações e 6,5 km de comprimento (Tabela 2). A rede consistia numa linha em Y constituída por dois troços distintos, um, Sete Rios (atualmente, Jardim Zoológico) – Rotunda (atualmente, Marquês de Pombal), Entre Campos – Rotunda (Marquês de Pombal), que confluíam num troço comum, Rotunda (Marquês de Pombal) – Restauradores (Figura 14).

Data de inauguração	Extensão (km)	Estações	Número de estações	Distância média entre estações (metros)
29.12.1959	6,153	Entre Campos Campo Pequeno Saldanha Picoas Rotunda Avenida Restauradores Sete Rios Palhavã São Sebastião Parque	11	592

Tabela 2 – Estações da rede do Metropolitano de Lisboa, entre 1959 e 1963

Fonte: Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001)

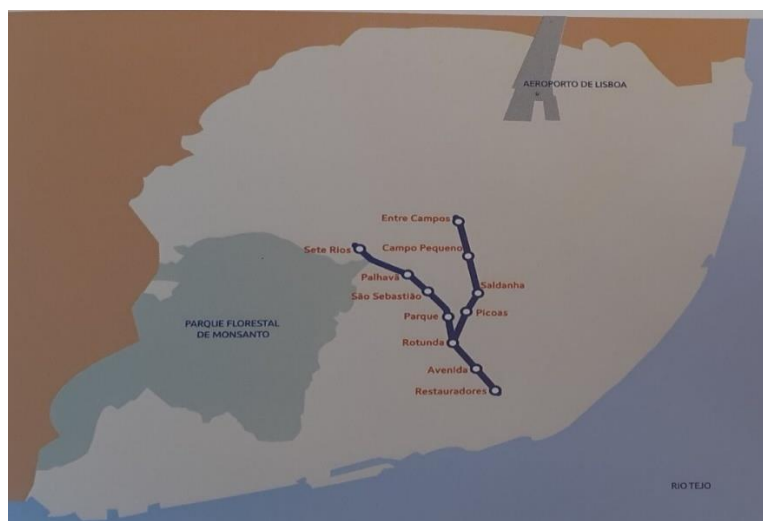


Figura 14: Rede do Metropolitano em Exploração entre 1959 e 1963

Fonte: Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001)

A 27 de janeiro de 1963 entra em exploração o troço Restauradores-Rossio. A 28 de Setembro de 1966 é acrescentado mais 1,5 km de rede (estações Socorro, Intendente e Anjos). A 18 de junho de 1972 foi inaugurada a linha de Alvalade, com as estações de Arroios, Alameda, Areeiro e Roma. Neste período a ampliação da rede relaciona-se com o aumento demográfico da cidade de Lisboa. A Tabela 3 apresenta a rede do Metropolitano de Lisboa entre 1963 e 1972. (Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001)

Data de inauguração	Extensão (km)	Estações	Número de estações	Distância média entre estações (metros)
27.1.1963	6,989	Rossio	12	582
28.9.1966	8,499	Socorro Intendente Anjos	15	567
18.6.1972	11,915	Arroios Alameda Areeiro Roma Alvalade	20	596

Tabela 3: Rede do Metropolitano de Lisboa entre 1963 e 1972

Fonte: Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001)

Em 1988 abrem as extensões, Sete Rios (Jardim Zoológico) – e a interface Colégio Militar/Luz e Entre Campos – Cidade Universitária (a primeira compreendendo as estações Laranjeiras, Alto dos Moinhos e Colégio Militar/Luz e a segunda a estação Cidade Universitária). A rede do Metropolitano passou de 11,9 km para 15,8 km (um acréscimo de cerca de 33%) e o número de estações passou de vinte para vinte e quatro. O troço Sete Rios-Colégio Militar, com uma extensão de 2,536 quilómetros, veio facilitar o acesso dos habitantes dos "corredores" de Benfica, Pontinha e Carnide. O interface do Campo Grande substituiu parcialmente o de Sete Rios, que já se encontrava congestionado, aumentando o número de carreiras de autocarro que aí podiam aceder. A Figura 15 mostra a rede do Metropolitano de Lisboa em exploração entre 1972 e 1988.



Figura 15: Rede do Metropolitano de Lisboa em exploração entre 1972 e 1988

Fonte: Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001)

Em abril de 1993 começam a ser exploradas as extensões Cidade Universitária – Campo Grande e Alvalade – Campo Grande. A estação do Campo Grande constituiu a primeira estação elevada da rede e a segunda de correspondência do Metropolitano. A entrada em

exploração desta estação e dos dois troços ligando à Cidade Universitária a Alvalade, foram importantes porque, melhoraram a acessibilidade ao centro da cidade e ao corredor de Loures (um corredor muito congestionado), e permitiu perspetivar um eixo em direção à Avenida Almirante de Reis, a partir do eixo de Odivelas. Com esta parte da rede entra em exploração o primeiro interface entre o Metropolitano e o caminho de ferro suburbano regional. A Figura 16 apresenta a rede do Metropolitano de Lisboa em exploração entre 1988 e 1993.



Figura 16: Rede do Metropolitano de Lisboa em exploração entre 1988 e 1993

Fonte: Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001)

Em 1993 Lisboa começou a preparar a Exposição Universal de 1998. Neste contexto o Metropolitano viria a assumir um papel importante, e nos finais dos anos 90 do século XX a rede era constituída por quatro linhas, com cerca de 40 km e 50 estações. Esta rede permitia assegurar as interoperacionalidades intermodais de um sistema integrado de transportes.

De acordo com Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001) a 15 de julho de 1995 foi inaugurada a nova estação Rotunda II com a exploração da linha azul/gaivota (Colégio Militar/Luz-Campo Grande) e a linha amarela/girassol (Campo Grande-Rotunda).

Em 1997 começam a funcionar as linhas: Pontinha – Restauradores, Campo Grande – Rato e Campo Grande - Martim Moniz (Socorro). Neste ano começa a funcionar o troço Colégio Militar/Luz-Carnide-Pontinha, com as estações Carnide e Pontinha na linha azul, e Rotunda (Marquês de Pombal) na linha amarela. Desta forma a rede conta com duas linhas independentes com correspondência nas estações do Marquês de Pombal e do Campo Grande (Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001).

Em abril de 1998 inaugura o troço Rossio-Baixa/Chiado-Cais do Sodré. A estação Baixa/Chiado é uma estação dupla, que permite a ligação entre a linha Verde e à linha Azul. A 19 de maio começa a exploração da linha Vermelha (linha do Oriente), com uma extensão de cerca de 6 km, uma nova estação Alameda e mais seis novas estações, Olaias, Bela Vista, Chelas, Olivais, Cabo Ruivo e Oriente (integrada na Gare Intermodal de Lisboa). A linha Vermelha veio servir o acesso à Expo98. Entre julho e novembro começou a exploração das estações Cabo Ruivo, Baixa/Chiado (secção respeitante à linha Campo Grande-Cais do Sodré) e Olivais. (Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001) (Figura 17)

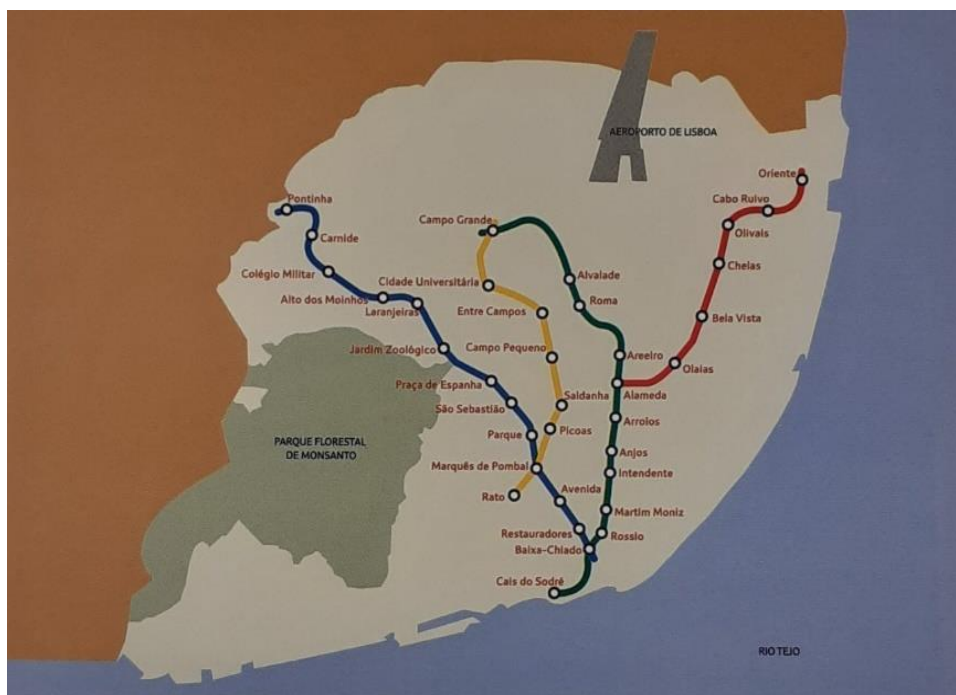


Figura 17: Rede do Metropolitano de Lisboa em 1999

Fonte: Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001)

Em novembro de 2002 inicia-se a primeira fase do prolongamento da linha verde para Noroeste com a exploração do troço Campo Grande-Telheiras.

Em março de 2004 começa a exploração do troço Campo Grande – Odivelas na Linha Amarela, com cinco novas estações: Quinta das Conchas, Lumiar, Ameixoeira, Senhor Roubado e Odivelas. Destas estações, as do Senhor Roubado e Odivelas, criaram interfaces de transportes importantes. Em maio o troço Pontinha – Amadora Este na Linha Azul começa a funcionar, com duas novas estações: Alfovelos e Amadora Este (nova interface), servindo uma zona com elevada densidade populacional. Com estes novos troços, abertos à exploração em 2004, a rede do Metropolitano já vai para além dos limites do concelho de Lisboa. A partir de 2004 a rede do Metropolitano passou a ser composta por 4 linhas independentes, com 35,6 km, 48 estações, das quais 4 de correspondência e 13 de interface com outros modos de transporte.

Em dezembro de 2007 abre à exploração o troço Baixa Chiado-Santa Apolónia na Linha Azul, com uma extensão de 2,2 km, com mais duas estações: Terreiro do Paço e Santa

Apolónia. Este troço permitiu a melhoria da mobilidade na Área Metropolitana de Lisboa e principalmente na zona ribeirinha de Lisboa. Estas estações inserem-se em complexos intermodais e permitem distribuir, de uma forma mais eficiente, os passageiros provenientes da ferrovia nacional, regional e suburbana e do transporte fluvial para o interior da cidade, tornando o sistema de transportes públicos mais eficaz.

Em agosto de 2009 abre à exploração o troço Alameda – S. Sebastião na Linha Vermelha com duas novas estações, Saldanha II e S. Sebastião II, ligando a Linha Vermelha, a Linha Amarela (estação Saldanha) e a Linha Azul (estação São Sebastião).

No dia 17 de julho de 2012 inaugurou-se a extensão da linha Vermelha entre o Oriente e o Aeroporto, com mais 3,3 km e com as estações de (Moscavide, Encarnação e Aeroporto). O Metropolitano passou a servir o aeroporto internacional de Lisboa e a ligação à Gare do Oriente (mais importante interface rodoferroviária da cidade de Lisboa), ficando conectados os modos aéreo, ferroviário (rede nacional e internacional) e rodoviário (percursos urbanos e interurbanos).

Em abril de 2016 a Linha Azul é prolongada com o troço entre as estações Amadora-Este e Reboleira. Foi acrescentado 937 metros, ficando a rede com 44,5 km de comprimento e 56 estações. O prolongamento até à Reboleira criou mais uma interface entre a Linha de Sintra da CP e a Linha de Sintra do Metropolitano.

De acordo com o exposto, podemos concluir sobre a importância da rede do Metropolitano como alternativa eficaz na mobilidade na cidade de Lisboa e na Área Metropolitana de Lisboa, quanto ao seu efeito estruturante na rede de transportes.

A Figura 18 apresenta o traçado do Metropolitano da cidade de Lisboa em 2017.

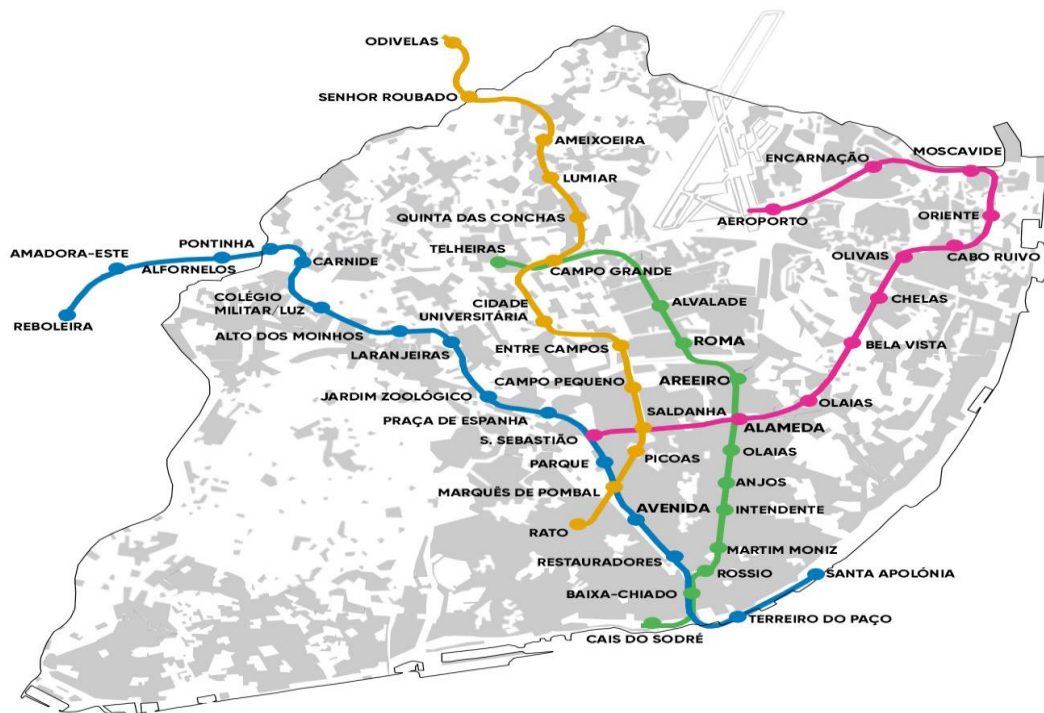


Figura 18: Traçado do Metropolitano da cidade de Lisboa - Esquema em 2017

Fonte: Albuquerque (2014, cit in Albuquerque & Sampaio, 2017)

O Gráfico 1 e a Tabela 4 resumem a evolução da extensão da rede do Metropolitano.

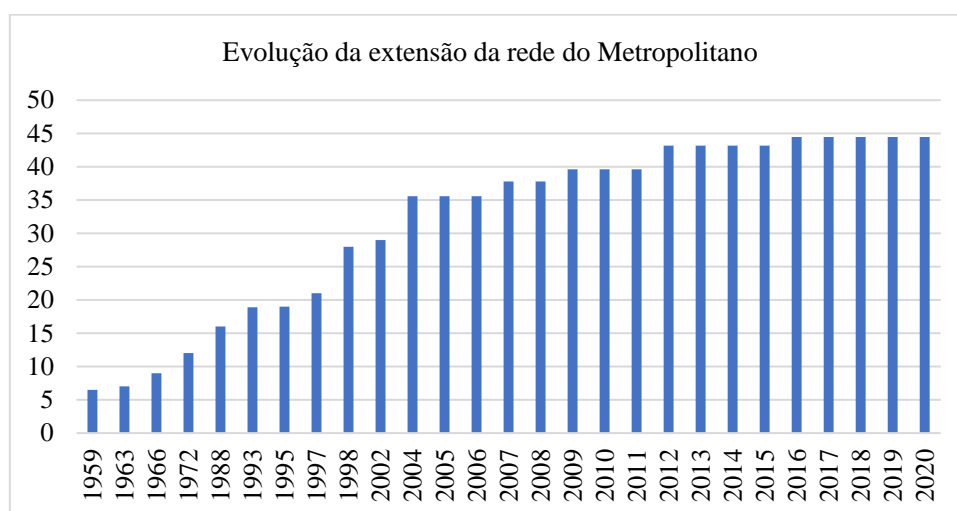


Gráfico 1: Evolução da Extensão da rede do Metropolitano (em Km)

Fonte: Relatórios de Contas e Relatórios de Sustentabilidade do Metropolitano de Lisboa; Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001)

Anos	Extensão
1959	6,5
1963	7
1966	9
1972	12
1988	16
1993	18,9
1995	19
1997	21
1998	28
2002	29
2004	35,6
2005	35,6
2006	35,6
2007	37,8

2008	37,8
2009	39,6
2010	39,6
2011	39,6
2012	43,2
2013	43,2
2014	43,2
2015	43,2
2016	44,5
2017	44,5
2018	44,5
2019	44,5
2020	44,5
Total	863

Tabela 4: Evolução da Extensão da rede metro (em Km)

Fonte: Relatórios de Contas e Relatórios de Sustentabilidade do Metropolitano de Lisboa; Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001)

3.4 Evolução da rede Carris

A Companhia Carris de Ferro de Lisboa (CCFL) foi criada pelo Decreto-lei de 28 de março de 1870, que concedia a Francisco Maria Cordeiro de Sousa e a Luciano Cordeiro de Sousa, licença para a fixação de caminhos-de-ferro para transporte de pessoas em *Tramways*⁶. No 21 de Setembro de 1872 no *Diário Oficial do Império do Brasil* foram aprovados e publicados os estatutos da Companhia, tendo sido autorizada em Portugal a 14 de novembro desse mesmo ano. Em 1879 a empresa tornou-se exclusivamente portuguesa e foi legalmente reconhecida como sociedade anónima.

⁶ O termo refere-se às carruagens puxadas por mulas e rodando sobre carris pertencentes à Companhia Carris de Ferro de Lisboa. A sua origem remonta às primeiras 32 carruagens compradas à firma John Stephenson & Company com sede em Nova Iorque.

Como foi exposto, a CCFL foi autorizada para a instalação do sistema de transportes em carruagens sobre carris na via pública (tramways ou carro americano). A 17 de novembro de 1873 foi inaugurada a primeira ligação, entre Santa Apolónia e Santos, vocacionada, principalmente, para o transporte de passageiros. Uma segunda linha é inaugurada, começando no Cais do Sodré, liga com a primeira linha, segue até ao Rato, continua pelas ruas de São Paulo e de São Bento. Uma terceira linha tem um percurso que começa no Rossio, segue pela rua da Palma, Intendente, rua dos Anjos (a futura Avenida Almirante Reis) e Arroios. Em dezembro de 1873 é inaugurada mais uma linha entre a estação da linha-férrea do norte e leste e o extremo oeste do Aterro da Boa Vista. Neste ano de 1873 a CCFL já tinha uma frota de 54 carros e 422 muares, e necessitando de instalações adequadas, são construídas as estações de Santo Amaro (quinta do Conde da Ponte) e outra estação em frente ao Jardim de Santos.

De acordo com Castro (1955), em 14 de janeiro de 1874 inicia-se a exploração da linha de Santos até Alcântara e, alguns dias depois, até Belém, pela Pampulha⁷. Em 2 de fevereiro deste ano os carros americanos já circulavam no interior da cidade até ao Passeio Público⁸ e no Largo do Intendente. Ainda neste ano, em 1 de agosto, já funcionava a linha de Belém à ponte de Algés.

O troço entre o Largo do Conde-Barão e Santos pela rua nova do Cais do Tojo começa a funcionar a 1 de janeiro de 1876 (Castro, 1955).

Uma linha marginal do Tejo que ia de Santos até à ponte nova de Alcântara, seguindo pela Rua Velha, até ao Largo do Calvário é inaugurada em 30 de setembro de 1877. Em 6 de outubro deste ano ficou a funcionar a ligação entre Lisboa e Belém. Em 30 de novembro fez-se a ligação da linha do Conde Barão com a marginal do Tejo, ligando-se na Rampa de Santos.

⁷ A Pampulha é um bairro da cidade de Lisboa, situado na freguesia da Estrela (anteriormente, na freguesia dos Prazeres). Centrado em torno da *Calçada da Pampulha*, o bairro estende-se entre as Janelas Verdes e a Avenida Infante Santo, tendo como centro a antiga igreja de São Francisco de Paula. [http://pt.wikipedia.org/wiki/Pampulha_\(Lisboa\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Pampulha_(Lisboa))

⁸ Nos séculos XVIII e XIX era uma Avenida ajardinada e arborizada, uma zona nobre e elegante, local de passeio, que deu lugar ao que nos dias de hoje é a Avenida da Liberdade, em Lisboa.

De acordo com Azevedo (1998), em 1 de novembro de 1879 abre a linha Largo do Conde Barão-Rato, e o seu ramal (do Largo do Conde Barão à Praça do Príncipe Real); em 1880 abre a linha Estrela-Príncipe Real; em 1881 a linha Rossio-Anjos. (Azevedo,1998).

No ano de 1882, a 17 de abril, é adquirida pela Carris a Quinta do Poço Caído (em frente das portas do Arco do Cego). Neste ano surge novas ligações: Largo de Santa Bárbara até à Travessa da Cruz do Tabuado⁹; em 1 de abril a linha do Príncipe Real à Praça dos Remolares (atual Praça Duque da Terceira no Cais do Sodré), pela Rua do Alecrim; em 1 de novembro a ligação com o Largo da Estrela.

É afirmado por Castro (1955) que no ano de 1888 começam a ser explorada as linhas da Rua do Amaro, do lado oriental do Rossio, e Rua Augusta; em 14 de agosto deste ano a linha Largo do Intendente-Lumiar, pela Estefânia, com bitola de 0,90 m; em novembro também já funcionava o ramal do Torel. Ainda de acordo com Castro (1955) o ano de 1891 vê a CCFL continuar com a expansão da rede: Jardim Zoológico e Benfica (também com bitola de 0,90 m.) por Sete-Rios e Travessa de Silo Domingos (à pintora); ficou completa a carreira Pelourinho-Benfica pelo Intendente e Arco do Cego; linha de Santa Bárbara ao Areeiro. Neste ano de 1888, a cidade de Lisboa já tinha elétricos a circular do Rossio ao Intendente, no percurso Rossio-Alexandre Herculano-São Mamede-Príncipe Real-Alecrim-Rossio. A linha da Rua das Pretas (à Praça da Alegria), subindo a Avenida (oriental), dando a volta à Rotunda e descendo pelo lado ocidental até à Praça da Alegria, também já funcionava.

Segundo Vicente (2017), no final do século XIX começou-se a substituir o sistema de tração animal por um sistema de tração elétrica, que foi inaugurado a 31 de agosto de 1901 (Figura 19). Numa primeira fase optou-se por uma construção de carreiras radiais com um terminal central, no Rossio. Azevedo (1998), afirma que os primeiros elétricos vieram de Nova Iorque e chegaram no dia 24 de janeiro de 1901. Entre maio e junho desse ano chegaram os carros S. Luís. Em 1905 saíram de circulação os carros americanos.

O sistema elétrico contribuiu para a expansão da cidade e para o crescimento urbano, permitindo que os limites urbanos se tornassem zonas residenciais. Para Azevedo (1998)

⁹ Atualmente é a Rua da Escola de Medicina Veterinária e liga a Rua de Dona Estefânia à Praça José Fontana.

as carruagens elétricas reduziram as distâncias, e permitiram a urbanização dos bairros rurais, dando origem aos bairros do Lumiar, Benfica, Carnide e do Areiro. Outros exemplos de urbanização provocada pelo sistema elétrico podem ser citados. A construção do bairro de Campo de Ourique foi devido ao percurso do elétrico pelas Ruas Domingos Sequeira e Ferreira Borges. O bairro da Lapa ergueu-se perto do elétrico da Pampulha. A linha de elétricos de Campolide (Rua Marquês de Fronteira) contribuiu para a construção do bairro Serzedelo. Os bairros Catarino e o Camões surgiram porque os elétricos transitavam pela Rua Conde de Redondo (ligando a baixa com o Campo de Santana) e uniam o Torel e o Arco do Cego pela Rua Dona Estefânia. Na Avenida Dona Amélia fizeram-se circular elétricos que atraíram habitantes, tendo o benemérito Andrade mandado construir um bairro com o seu nome¹⁰. A Carris criou percursos de elétricos até cemitério do Alto de São João, que facilitou o acesso àquele local e ao do Alto do Pina onde se construiu um bairro. O bairro Lamosa foi construído quando o elétrico começou a circular do Largo da Graça até à Cruz dos Quatro Caminhos.

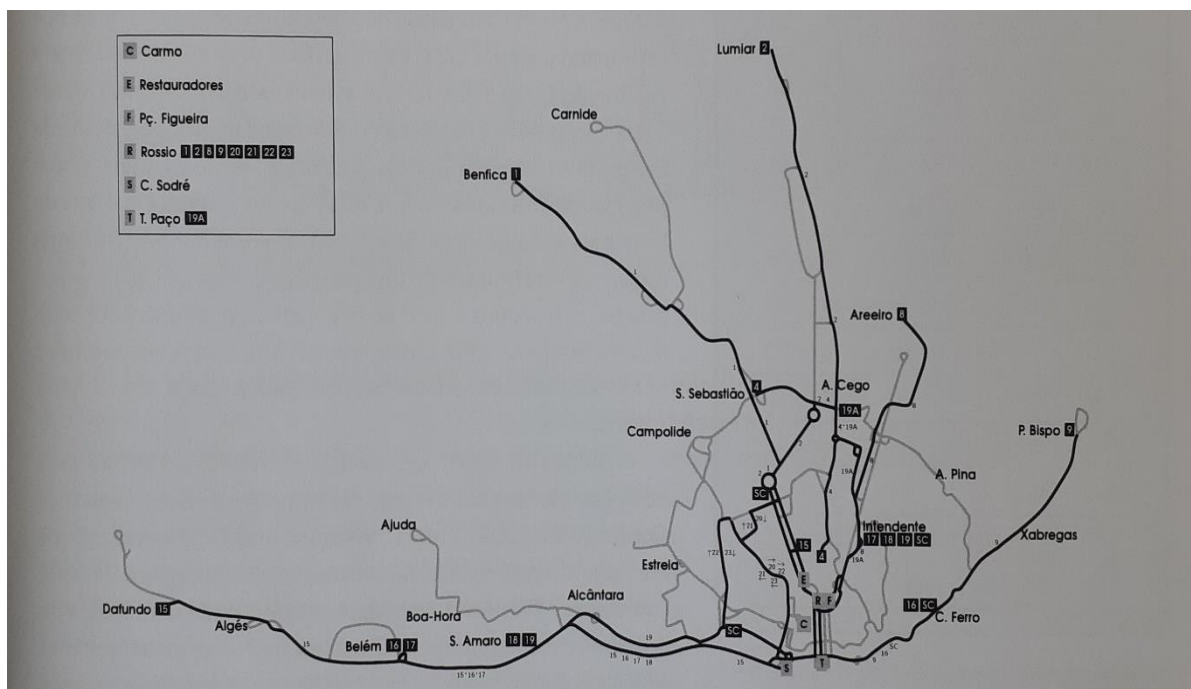


Figura 19 : Rede de elétricos após a primeira fase de eletrificação em 1903

Fonte: Filipe (2016)

¹⁰ O Bairro Andrade foi fundado por um proprietário de terrenos, que o rasgou em xadrez regular, pondo às ruas os nomes das senhoras da sua família. <https://lisboadeantigamente.blogspot.com/2019/08/rua-andrade.html>

Em agosto de 1901 fizeram-se alterações nas carreiras de elétricos na rua do Carmo e na rua Garret, para que os novos carros conseguissem ultrapassar colina que era íngreme, e por onde os carros americanos nunca tinham passado. Neste ano já eram explorados 24 304 metros de carril. A 31 de Agosto deste ano começa a funcionar a linha Cais do Sodré-Ribamar (atual Algés). Em 8 de setembro é inaugurado o lanço Ribamar-Dafundo. Uma semana depois começa a ser explorada a linha do Cais do Sodré até à Alexandre Herculano (que segue o percurso Rua do Ouro, Rossio, Rua do Príncipe e lado ocidental da Avenida), e também a do Largo do Corpo Santo a Santos por São Paulo e Conde-Barão. A 29 de Setembro os elétricos começam a circular no Largo dos Caminhos de Ferro. Em novembro inaugura-se o serviço entre Santos e o Largo do Calvário, pela Pampulha, e entre o Rossio e o Poço do Bispo. Neste ano de 1901 é também inaugurada a carreira Rossio-Cais do Sodré-Príncipe Real, e volta ao Rossio pela Avenida.

Em 1902 surge o troço na antiga Estrada do Campo Pequeno que ultrapassava o limite do Arco do Cego. Em 13 de abril deste ano já se podia ir de elétrico do Largo de Santa Barbara ao Areeiro por Arroios. Uma semana depois já a rede permitia circular do Rossio até São Sebastião da Pedreira pelo Arco do Cego e estrada de circunvalação. No dia 25 de abril a rede já circulava desde Palhavã até Benfica, já fora dos limites da cidade de Lisboa. Em 13 de maio inaugura-se a linha Conde Barão-Rato, que seguia pelas Ruas dos Mastros e de São Bento, e à volta passava desta rua para o Largo do Conde Barão pela Rua da Esperança. Nesse dia também começou a funcionar a linha Rato-Largo das Duas Igrejas por São Pedro de Alcântara. Quatro dias depois a linha do Torel já ia à Estefânia, ligando a baixa com o Jardim Zoológico em Palhavã. Em 30 de maio a rede chegava ao Lumiar, indo pelos Anjos e Arco do Cego com transbordo nas cancelas de Entrecampos. Em junho o elétrico já circulava entre Ribamar e Dafundo, e já seguia para Benfica pela Avenida. A 19 de julho o circuito Santa Apolónia-Areeiro começa a funcionar. No dia 7 de dezembro a rede de elétricos chega à Estrela. No dia 9 de dezembro surge o percurso pelo Chiado atravessando a Rua Garrett. Castro (1955).

Castro (1955), refere a inauguração, em 3 de abril de 1904, do trajeto Rossio-Lumiar, com passagem na Avenida da República (Avenida Ressano Garcia). Em 19 de Julho circulam elétricos entre Santa Apolónia e o Areeiro, passando pelos Anjos e Arroios. Salgueiro (1971) refere que as carreiras 25 e 26, que tinham sido inauguradas em 1904

entre a Estrela e o Rossio, por Santos, deixam de circular em 1905 através da Avenida (traçado pelo Rato, Rua das Amoreiras e Rua Silva Carvalho).

Em janeiro de 1905 inicia-se o trajeto Santa Marta-Conde do Redondo, à medida que é terminada a colocação de carris entre a rua Alexandre Herculano à linha da Estrela, atravessando o Largo do Rato, a caminho de Campo de Ourique. Em 2 fevereiro elétricos já circulavam entre a Estrela e o Rato, pelas Ruas Domingos Sequeira, Ferreira Borges, de Campo de Ourique, de São João dos Bem casados e das Amoreiras; iniciavam-se também as circulações Estrela-Santos e Estrela-Avenida. Em 20 de julho começa a funcionar a linha Anadia-Campolide e a carreira passou a ser Rossio-Campolide, pela Rua do Alecrim. Em meados de outubro, foi prolongada a linha do Campo de Santana até à Rua de Santo António dos Capuchos (a chamada linha do Torel). No princípio de novembro é prolongada até ao Arco do Cego, pela Rua de Dona Estefânia, a linha do Bairro Camões. Em 18 de dezembro a carreira Algés-Rotunda foi reduzida para Algés-Rossio. Dois dias depois começa a funcionar a linha da Barata Salgueiro (lado oriental) à Gomes Freire pelo Bairro Camões. A 20 de Dezembro a rede de elétricos chega à Gomes Freire.

No ano de 1906 verificam-se alterações na rede e a rede continua em expansão. No dia 15 de fevereiro, a Câmara Municipal de Lisboa manda substituir os carris antigos, na estrada de Benfica. Em 20 de fevereiro são terminadas obras na linha Rato-Alexandre Herculano, pelas Ruas de São Mamede e Rodrigo da Fonseca. Em 24 de fevereiro surge uma nova carreira de Campolide, circulação Alecrim-Avenida. Em 24 de abril começa o assentamento da nova linha do Bairro Camões. Em 15 de julho recomeçam as carreiras entre o Torel e Palhavã. Em 17 de julho inaugura-se a carreira Gomes Freire-Rossio (por São Lazaro) e a linha da Graça. Em 22 de julho surge a carreira Campolide-Alecrim-Avenida (circulação). Em 20 de agosto é inaugurado um novo serviço, (extraordinário e temporário) Largo das Duas Igrejas-Estrela, pela Rua do Alecrim. Em 7 de Setembro começam as obras da linha São Roque-Carmo. Em 7 de novembro começa a funcionar a linha Largo do Carmo-São Roque. Em 29 de novembro os elétricos circulam desde o Poço do Bispo, pela Avenida Ressano Garcia, até ao Campo Pequeno, onde se montou uma raquete.

Em 6 de abril de 1907, a Câmara Municipal de Lisboa, por considerar desnecessário, manda retirar o desvio do Largo das Duas Igrejas. Em 4 de outubro terminam as obras da linha desde o Largo da Graça à Cruz dos Quatro Caminhos¹¹, no princípio da estrada da Penha de França. Em 2 de novembro começa a circular a carreira Carmo-Campolide, que em 1942 ligar-se-á à Praça do Chile.

De acordo com Castro (195), em 17 de maio de 1910 a CML manda levantar os carris na Avenida Duque de Ávila (antiga estrada de circunvalação).

Em 6 de março de 1911, CML ordena a construção do troço da linha do Intendente na Avenida Almirante Reis, entroncando com a linha da Rua dos Anjos na parte junto ao palácio da Condessa de Tomar, e levantando os carris no resto desta rua até ao Largo do Intendente. Em 3 de maio surgem as carreiras 20 e 21 (circulação pela Rua Rio de Janeiro), e 22 (circulação São Bento, pela Rua do Alecrim e Avenida da Liberdade). Em 4 de maio surge a carreira 19 (Santo Amaro-Almirante Reis). Em 2 de outubro estão prontas a funcionar as linhas que ligam a Rua da Palma com a dos Anjos. A circulação dos elétricos do Arco do Cego e Areeiro passa, agora, a fazer-se pela Avenida Almirante Reis.

Como foi referido anteriormente neste trabalho, a primeira fase de circulação de autocarros em Lisboa remonta ao período de 1912-1915. De acordo com Salgueiro (1971), em fevereiro de 1913 a CML autoriza a CCFL a fazer carreiras de autocarros para o Lumiar, Caneças, Loures, Bucelas e Montachique; nesta data também são autorizadas carreiras para Carnaxide, Algés de Cima e Linda-a-Velha.

Em 1914 são concedidas licença para as ligações seguintes: de Santo Amaro a Campolide e daqui a Carnide, por Sete Rios; de Benfica ao Calhariz e daqui a Carnaxide; de Benfica à Amadora; de Queluz a Carnaxide. A 1 de março é inaugurada a linha Praça de Camões-Estrela. Em 28 de setembro foi suprimida a carreira Estrela-Duas Igrejas.

¹¹ A Cruz dos Quatro Caminhos ficava no que é hoje a Rua dos Sapadores e durante anos foi um arrabalde da cidade, com habitações pertencentes às classes sociais mais desfavorecidas. Dizia-se que ali se reuniam as bruxas junto a uma cruz de Cristo. Consta que os lisboetas evitavam passar por aquele local. <https://www.timeout.pt/lisboa/pt/atracoes/cruz-dos-quatro-caminhos>

A 1 de Janeiro de 1915 surge um ramal para S. Tomé. Neste ano a rede já contempla as carreiras que se veem na Figura 20.

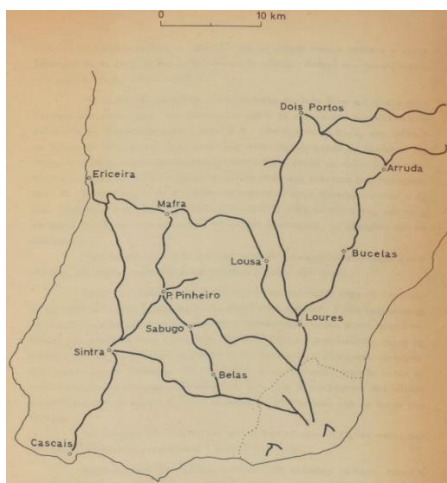


Figura 20: Carreiras de autocarros na cidade de Lisboa em 1915

Fonte: Arquivo da C.C.F.L., Carta de 20-X-1912., cit in Salgueiro, 1971

Salgueiro (1971) refere que no ano de 1920 os elétricos já circulam dos Caminhos de Ferro para o Arco do Cego.

De acordo com Castro (1955), no ano de 1923, em 6 de fevereiro, conclui-se a linha da Rua dos Fanqueiros. Em 10 de fevereiro começa a funcionar a carreira Santo Amaro-Arco do Cego, pela Rua dos Fanqueiros. Em 30 de julho entra ao serviço a raquete do Largo de Alcântara. Em 20 de Setembro entra ao serviço a linha dupla na Rua Bartolomeu Dias. Em 24 de novembro começa a renovação e duplicação da linha na Rua da Bica do Sapato.

No ano de 1924, em 28 de maio, as circulações São Sebastião e Saldanha passam a fazer-se pelo Terreiro do Paço. Em 20 de agosto inicia-se a linha dupla de Santa Apolónia ao Poço do Bispo. Castro (1955) refere que em 14 de novembro de 1924, como os trabalhos de prolongamento da Rua Morais Soares iam muito adiantados, a CML sugere à Carris o assentamento da linha até à parada em frente ao cemitério oriental.

Em 21 de maio de 1925 o término da carreira de Benfica passa a ser do lado ocidental da Praça dos Restauradores, enquanto as das carreiras do Lumiar e Campo Pequeno

passam para o lado Oriental. Em 4 de dezembro é inaugurada a linha dupla Almirante Reis-Alto do Pina. Em 23 de dezembro começam a passar pelo Rossio as circulações Graça (Anjos) e Graça (Sé), pela nova linha Almirante Reis-Graça.

Em 31 de outubro de 1926 inicia-se a carreira Belém-Alto de São João. Em 1 de dezembro começam, a partir da Praça da Figueira, as carreiras do Areeiro e São Tomé. Em 22 de dezembro foi levantada a linha de desvio no Intendente e na Rua do Benfornoso, e duplicou-se a linha de São Vicente. Neste ano a empresa adquire todos os equipamentos da rede de ascensores da cidade de Lisboa.

Em 1927, em 6 de março, é posta em serviço a raquete de Benfica. Em 2 de agosto inaugura-se a carreira 18B, Rossio-Boa Hora, pela Calçada da Tapada. Em 3 de setembro inaugura-se a carreira Rossio-Calçada da Ajuda.

Em 13 de maio de 1928 começa a funcionar a carreira, nº 24 (Carmo-Campolide, pela Rua da Trindade e Largo da Misericórdia). Em 1 de junho a carreira Dafundo passa a ir ao Rossio-Norte. Neste ano também são inauguradas as carreiras: Rua da Prata-Alto de São João; Gomes Freire (circulação Terreiro do Paço, Santa Marta e São Lázaro); circulação São Bento, por Rossio e Conde Barão; Rossio Sul-Poço do Bispo, pelas Ruas do Ouro e dos Fanqueiros.

Em 1929, em 14 de abril, começa a circular a carreira 13, Restauradores (ocidental) – Carnide por Sete Rios. Em 13 de maio inicia a circulação a carreira Sete Rios-Carnide. Em 29 de novembro a carreira Campo Pequeno-Caminho de Ferro passa a fazer-se pela Avenida da República, em vez de pela Rua do Arco do Cego.

Em 26 de março de 1931 a linha de Almirante Reis é prolongada até à Praça do Chile. A linha dupla no Largo da Princesa começa a funcionar em 4 de abril. Em 30 de maio é inaugurada a linha dupla na Rua de São Mamede. Em 1 de julho efetuam-se alterações nas linhas do Terreiro do Paço. Em 24 de julho faz-se a ligação das linhas das Avenidas da República e Duque de Ávila. Entre 12 de setembro 4 de novembro executam-se os trabalhos de duplicação e alteração das linhas na Travessa de São Mamede.

Em 20 de dezembro de 1932 começaram os trabalhos de construção da segunda linha entre a Praça do Chile e a Rua Alves Torgo.

A raquete da Praça do Chile inaugura-se no dia 1 de janeiro de 1933. Em 20 de janeiro deste ano a linha Praça do Chile-Alves Torgo fica pronta a funcionar. Em 10 de fevereiro começa a funcionar a carreira Belém-Almirante Reis (pela Rua dos Fanqueiros). Em 1 de abril a linha de Almirante de Reis ficava prolongada em via dupla.

Em 1934 a CCFL adquiriu os terrenos para a construção da Estação das Amoreiras.

Em 1936, em 1 de janeiro, a linha desde o alto da Rua Domingos Sequeira até a Parada dos Prazeres é inaugurada. Em 9 de julho iniciam a circulação as carreiras Praça do Chile-Arco do Cego e São Sebastião-Almirante Reis. Em 13 de setembro começa a funcionar a carreira Campolide-São Sebastião-Almirante Reis, com a construção da linha da Praça do Chile à Avenida Duque de Ávila.

Em 9 de setembro de 1937 a linha de Almirante de Reis fica prolongada até à Rua Lucinda do Carmo. Nesta data a linha da Rua Alves Torgo vai ser levantada. Em 8 de dezembro entra em serviço a nova raquete da Praça Duque da Terceira.

De acordo com Castro (1955), o ano de 1938 vê terminar a ligação das linhas da Rua Ferreira Borges, em 19 de maio. Em 1 de julho começaram os carros operários com bilhetes de ida e volta nas carreiras do Poço do Bispo, Belém, Almirante de Reis e Ajuda.

No ano de 1939 é inaugurada a carreira Rossio-Ajuda pela nova linha assente na Rua Leão de Oliveira, em 1 de janeiro. Neste ano também ficou assente o prolongamento da linha da Avenida Almirante Reis entre a Alameda Dom Afonso Henriques e a Rua Atriz Virgínia. Também se duplicou a linha na Rua Correia Garção.

Em 23 de junho de 1940, entra em serviço a linha provisória na Rua dos Jerónimos e Encosta da Ajuda, entre Belém e o Bom Sucesso, para servir a Exposição do Mundo Português. Em 16 de dezembro desse ano está pronta a Praceta do Areeiro e a raquete lá construída. Em 19 de dezembro será estendida a linha desde a paragem zona do Campo Pequeno até à entrada do Bairro Social do Arco do Cego, para utilização dos carros da carreira Caminhos de Ferro-Campo Pequeno. Neste ano também foi prolongada a linha de Almirante Reis-Areeiro, levantando-se a linha que existia nas Ruas Atriz Virgínia e Alves Torgo.

Em 18 de março de 1941 entra em serviço a duplicação de curvas nas ruas Garcia da Orta e São Domingos (à Lapa).

Em 1942, em 17 de dezembro, entra em serviço a linha dupla desde a Rua das Açucenas até ao Cemitério da Ajuda, com raquete junto a este. Os carros de Campolide passam a circular por São Sebastião e pelo Rato. Inaugura-se uma nova Carreira Carmo-Praça do Chile, com ligação da linha de Campolide com a Rua Marquês de Fronteira.

Em 1943, em 31 de outubro, inaugura-se a linha dupla no estreito do Anadia. Em 8 de dezembro são modificadas as linhas na Praça D. João da Câmara e na Rua 1.º de dezembro.

De acordo com Castro (1955) os autocarros foram integrados definitivamente no sistema de viação da Capital. Em 9 de Abril de 1944 começam a circular as carreiras de autocarros, nomeadamente, os números 1, 3 e 4, com percursos, Cais do Sodré-Rotunda, Encarnação e Praça do Comércio-Miguel Bombarda em circulação, alternadamente, via Rodrigo da Fonseca ou Duque de Loulé. De acordo com Salgueiro (1971) e o mapa da Figura 21, observamos que a cidade de Lisboa é bem diferente daquela que o "americano" conheceu. A primeira linha não é paralela ao rio, é, antes, um eixo de penetração importante para Norte - dos Restauradores ao Aeroporto. Este término prova a grande evolução que as comunicações sofreram. A via aquática já não é aquela que mais vantagens oferece, a cidade virou-se para o aeroporto que lhe vai permitir uma maior ligação com o mundo.

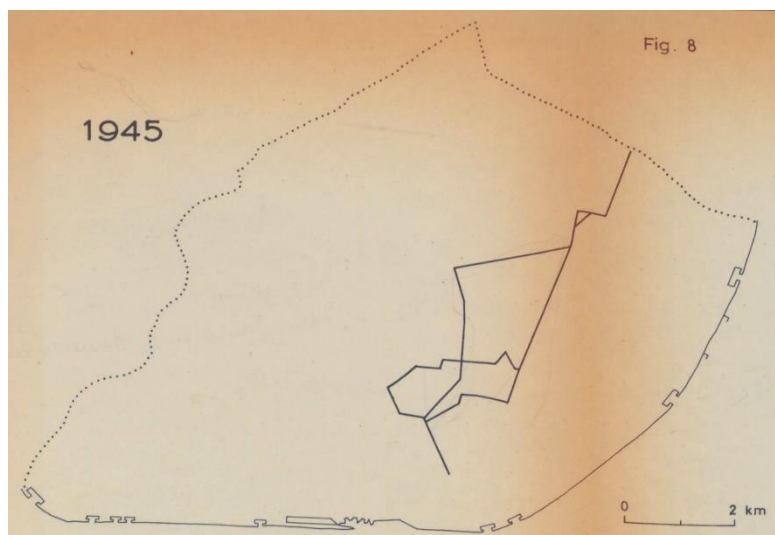


Figura 21: Rede de Autocarros em 1945

Fonte: Salgueiro, 1971

Com a entrada em funcionamento dos autocarros, os elétricos não desapareceram, e em 10 de Junho de 1944 começa a funcionar carreira de elétricos Rossio-Estádio.

Em julho de 1945 a linha da Rua do Arco de Cego é extinta. São introduzidas na rede novas circulares entre Rossio-Saldanha, Rossio-São Sebastião, Gomes Freire-São Lázaro e Rossio-Poço do Bispo. Em 12 de março começa o prolongamento do Dafundo à Cruz Quebrada, com ligação entre o Largo do Calvário e a Calçada da Tapada, pela Rua do Leão de Oliveira e o trajeto da Rua de Campolide. A 1 de abril a rede vê surgir alterações de terminais na zona da Baixa, para diminuir a circulação de elétricos na Rua Augusta e na Rua do Ouro. Os elétricos da linha 15 (Rossio-Cruz Quebrada) terminam na Praça do Comércio. Os elétricos da linha 9 (Rossio-Poço do Bispo) terminam na Praça da Figueira. Também em 1 de abril, surgem mais carreiras de elétricos: Rossio (Saldanha) e Rossio (São Sebastião); Gomes Freire (Santa Marta) e Gomes Freire (São Lázaro); Rossio-Poço do Bispo (pelas ruas dos Fanqueiros e da Prata), começando os carros a ir à Praça do Comércio (ocidental); Dafundo, começando os carros a ir à Praça do Comércio (oriental). Em 17 de abril a linha da Rua do Arco do Cego foi posta fora de serviço. Em 7 de julho principia a carreira 7 de autocarros (Praça do Chile-Encarnação, direta) e a 8 (Praça do Chile-Encarnação-Moscavide).

Em 1 de março de 1946 inaugura-se a carreira de autocarros 9: Praça do Comercio-Campo de Ourique. Em 10 de outubro são repostos os desvios, que tinham sido levantados em 1943, nos lidos oriental e ocidental do Terreiro do Paço, passando a ter, aquele local, o seu término as carreiras Dafundo e Cruz Quebrada e Poço do Bispo. Castro (1955), refere que em setembro, outubro e novembro, três dos autocarros A.E.C. Regal, adquiridos em 1945, com os números 9, 10 e 11, entraram em serviço.

No dia 24 de março de 1947, inaugura-se a raquete do Largo do Martim Moniz onde iniciam as carreiras para o Areeiro e para São Tomé. No dia 1 de julho os elétricos da linha 28 (Rossio-Prazeres) terminam na Rua da Conceição. Neste ano desaparece a circulação da linha 7 (Gomes Freire), contrária à linha 6, e a linha 21 (Rio de Janeiro), contrária à 20, acaba por ser substituída pela nova linha 6 com percurso entre os Restauradores-Praça da Figueira via Gomes Freira, e pela linha 20 com trajeto entre o Rossio e o Cais do Sodré pela Rua Rio de Janeiro. Em 17 de novembro começa a circular a carreira de autocarros 2 (Cais do Sodré-Restauradores). Em 26 de Novembro surge a carreira de autocarros, Praça do Comércio-Miguel Bombarda.

Em 1948 surgem novas carreiras na rede da CCFL. Em 2 de março, a carreira de autocarros 5 (Restauradores-Campo Pequeno-Areeiro). Em 27 de março, a linha dupla nas Ruas da Bica do Marquês e Dom Vasco. Em 28 de maio 6 novas carreiras: 6 (Cais do Sodré-Praça do Chile), 11 (Picheleira-Bairro das Colónias), 12 (Marquês de Pombal-Belém), 19-A (Alcântara Mar - Rua da Madre de Deus), 19 (Campolide-Alto de São João), 22 (Estrela-Encarnação). De acordo com Mendonça *et al.* (2006), entre janeiro e maio, inauguram-se as carreiras de autocarros: 23 (Marquês de Pombal-Algés -via Montes Claros), 10 (Praça do Chile-Moscavide), 13 (Praça do Comércio-Campolide), 17 (Cais do Sodré-Sapadores). Em 26 de agosto começa a funcionar a linha dupla em São Pedro de Alcântara. De acordo com Castro (1955), em 26 de dezembro do ano de 1948 a rede da CCFL já dispunha de 159,706 quilómetros, incluindo as linhas dos antigos ascensores (5,871 km) e as linhas dentro de estações (9,167 km); a frota em serviço era de 125 unidades; durante o ano tinham sido transportados 14 307 070 passageiros, contra, apenas, 498 983 quatro anos antes.

Em 1949, em 30 de janeiro, inaugura-se a carreira 23 de autocarros, cujo percurso é Rua do Desterro-Algés (via Montes Claros). A carreira 10 de autocarros começa a circular em

6 de fevereiro, com percurso Praça do Chile-Moscavide. Em 25 de maio surgiram as carreiras de autocarros 13 (Praça do Comércio-Campolide) e 17 (Cais de Sodré-Alvalade - por Sapadores).

Em 1950 continuam a surgir novas carreiras. Em 1 de fevereiro a carreira 1-A de autocarros (Restauradores-Alvalade); em 19 de fevereiro as carreiras de autocarros Restauradores-Areeiro e Rua do Desterro-Algés (por Montes Claros); em 1 de novembro a carreira de autocarros 19 (Praça do Chile-Olivais); em 1 de dezembro a carreira de autocarros 1-A (Restauradores-Alvalade). De acordo com Mendonça *et al.* (2006), “em agosto foram inauguradas excursões em autocarros ao parque Florestal de Monsanto”. A 20 de Dezembro a linha 18 (Rossio-Ajuda) e a linha 9 terminam na Praça do Comércio. Os elétricos da linha 10 (Graça – circulação Sé) e 11 (Graça – circulação Anjos) deixaram circular pelo Rossio, passando a fazê-lo pela Praça da Figueira. Os carros da linha 9 voltaram a alterar o seu término da Praça do Comércio para Santos. Em 27 de Dezembro entra em serviço um desvio no Campo das Cebolas. Em 30 de Dezembro os elétricos da carreira da Graça, os de Belém-Alto de São João e os de Santo Amaro-Arco do Cego, sobem a Rua da Prata e descem a dos Fanqueiros. Os da carreira Calçada da Ajuda vão até ao Terreiro do Paço.

A partir da Figura 22 podemos concluir que nos primeiros cinco anos da circulação de autocarros a área da cidade de Lisboa, desde a Alexandre Herculano e o Campo de Santana até ao Campo Pequeno e a Estrela, núcleos residenciais importantes, adensa-se. Existem ligações ao Cais do Sodré, aos Olivais e Encarnação, Belém e Algés (só pela Ajuda).

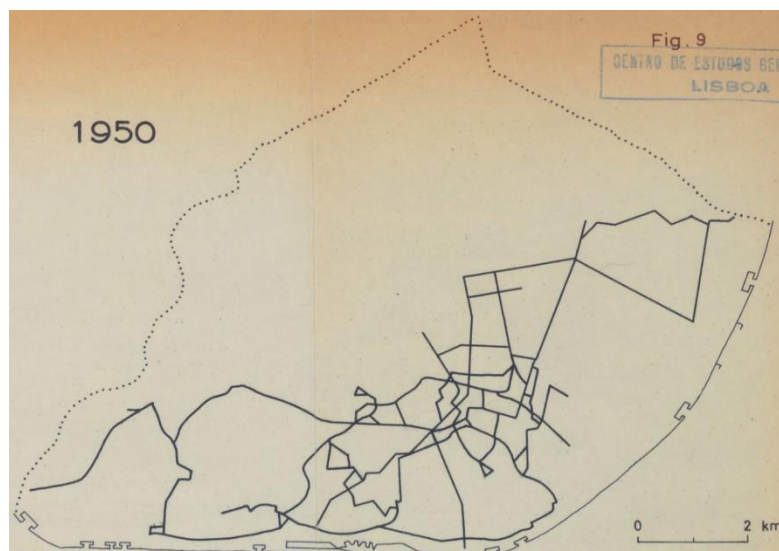


Figura 22: Rede de Autocarros em 1950

Fonte: Salgueiro (1971)

Em 1951, em 1 de abril, a rede de autocarros prolonga-se à Avenida do Brasil, Calçada de Carriche, Praça do Chile, Viaduto da Avenida de Roma, Avenida do Brasil, Campo Grande, Alameda das Linhas de Torres, Lumiar. Alguns dias depois uma nova carreira, Pombal às portas de Benfica, por Campolide, Sete Rios, Bairro Novo, Calhariz e Avenida Gomes Pereira. Em 18 de maio foi prolongada a carreira Sapadores-Belém até à Praça do Império. Em 26 de maio começa o serviço de autocarros para a Feira das Indústrias em Belém. Em 12 de julho foi prolongada a carreira de autocarros Picheleira-Bairro da Bélgica até Sete Rios, pela Morais Soares, Almirante Reis, Campo dos Mártires da Pátria, Ruas Luciano Cordeiro e Conde de Valbom, e Bairro da Bélgica. Em 16 de setembro mais duas carreiras de autocarros, a 7 (Praça do Chile-Calçada de Carriche), e a 11 (Sete Rios-Picheleira). Em 26 de setembro entra em serviço a via dupla na Estrada das Laranjeiras. Em 4 de novembro inaugura-se a carreira de autocarros, Marquês de Pombal-Bairro da Serafina, pela Rua Joaquim António de Aguiar, Viaduto e Estrada da Cruz da Pedra. Em 13 de novembro prolonga-se a carreira de autocarros Cais do Sodré-Areeiro até à Avenida do Brasil, pelo Campo das Cebolas, Ruas do Vale de Santo António, de Sapadores, Morais Soares, Areeiro, Avenida 28 de Maio, Alvalade (Avenida Brasil), com o fim, segundo Castro (1955), de servir as novas áreas residenciais entre a Praça do Areeiro, a Avenida 28 de maio e a Rio de Janeiro.

Em 1952, em 16 de março, a carreira de autocarros 15 começa a fazer o percurso Marquês de Pombal-Portas de Benfica (Bairro Novo), pelas Ruas Joaquim António de Aguiar, Rodrigo da Fonseca, Marquês de Fronteira e de Campolide, Estrada de Benfica e Bairro Novo à Rua Francisco Pereira de Sousa. Em 6 de abril a carreira 21 de autocarros faz o percurso Restauradores-Avenida do Aeroporto (via Alvalade), substituindo a 1-A, inaugurada em 1951. Em 20 de abril surge a carreira de autocarros, Praça da Figueira-Caselas. Em 23 de abril a carreira de autocarros 16 inicia o percurso Cais do Sodré-Martim Moniz. Em 30 de abril surge outra carreira de autocarros com percurso Sapadores-Algés. Em 13 de julho a carreira de autocarros 25 começou a percorrer o trajeto Praça do Comércio, Avenida Infante Dom Henrique, Ruas do Açúcar, Padre David Leandro da Silva, Fernando Palha, Estevão de Vasconcelos, e do Vale Formoso de Baixo, Avenida do Cabo Ruivo, segundo troço da Avenida Infante Dom Henrique e Moscavide. Em 23 de julho a carreira de autocarros 26 (Largo de Santa Bárbara-Estrada da Pontinha) faz o percurso: Largo de Santa Bárbara, pelas Ruas Passos Manuel e Pascoal de Melo, Largo de Dona Estefânia, Avenida Casal Ribeiro, Praça Duque de Saldanha, Avenida Praia da Vitória, Rua Pinheiro de Chagas, Estradas de Benfica e de Palhavã, Avenida Columbano Bordalo Pinheiro, Rua Dr. António Granjo, Sete Rios, Estrada das Laranjeiras e da Luz até à da Pontinha. Em 21 de setembro é prolongada, até à Rotunda da Encarnação, a carreira 1 de autocarros, pela avenida de ligação entre o Aeroporto e a Estrada de Sacavém. Em 5 de outubro a carreira 15 de autocarros é prolongada até às Portas de Benfica. Em 19 de novembro entra em serviço a linha dupla no Largo da Sé, e três dias depois, na Madalena.

Em 12 de janeiro de 1953, entra em serviço a raquete em Carnide, e começam ali a circular carros com atrelado. Em 9 de junho entra em serviço a raquete da Avenida António Augusto de Aguiar-Estrada de Benfica-São Sebastião, e começa o levantamento da linha na Encosta da Ajuda, construída para a Exposição de 1940. Em 1 de agosto surge a carreira 24 de autocarros, com percurso Praça da Figueira-Chelas, pela Rua dos Fanqueiros, Avenida Infante Dom Henrique, Ruas da Manutenção, Direita de Xabregas e Gualdim Pais e Estrada de Chelas. Em 26 de agosto entra em serviço a linha circundando a Praça Luís de Camões. Em 1 de setembro foi inaugurada a carreira 27 de autocarros, com percurso Largo de Santos-Alvalade (Areeiro). Em 1 de outubro surge a carreira de autocarros 11-B, Campo dos Mártires da Pátria-Hospital Escolar (provisória), com percurso Alameda dos Capuchos, Ruas Luciano Cordeiro, Sousa Martins, Tomás Ribeiro

e Viriato, Avenidas 5 de Outubro, Duque de Ávila, Conde de Valbom, de Berna, Júlio Diniz e da República, Praça Mouzinho de Albuquerque e Avenida 28 de Maio. Em 28 de outubro entra em serviço a via dupla na Rua do Limoeiro. Em 29 de outubro entra em serviço a raquete no Largo dos Jerónimos. Em 21 de novembro a carreira 22 de autocarros deixa de circular pela Rua de Santo António, à Estrela, começando a circular pela parte nova da Avenida do Infante Santo.

Em 4 de abril de 1954 a carreira 9 de elétricos (Poço do Bispo) foi prolongada até ao Largo de Santos, com percurso, desde o Largo do Corpo Santo, e alternando pelo Condebarão e pelo Aterro. Em 8 de maio começa a circular carreira 29 de autocarros, com percurso Algés-portas de Benfica, pela Rua Fernão Mendes Pinto, Avenida da Índia, Praça Afonso de Albuquerque, Calçada da Ajuda, Largo do Museu Agrícola Colonial, Travessa do Pátio das Vacas, Calçada do Galvão, Cemitério da Ajuda, Ruas das Açucenas e dos Marcos, Montes Claros, Cruz das Oliveiras, Monsanto, Estradas do Forte e de Monsanto, Alto da Boa Vista, Estradas da Buraca, das Garridas e de Benfica. Em 14 de junho a carreira 6 de autocarros é prolongada até ao Terreiro do Paço, pela Avenida da Ribeira das Naus. Em 29 de agosto a carreira 20 de autocarros teve novo um novo trajeto: Bairro da Serafina-Areeiro, via Estrela. Em 1 de Dezembro surge a carreira de autocarros 30, que segue o percurso Praça do Comércio-Restauradores, saindo da estação do Sul e Sueste e seguindo pelas Ruas da Prata, Eugénio dos Santos e dos Condes. A carreira 8, passa a fazer o percurso direto da Encarnação à Praça do Chile, sem passar pelo Aeroporto; por sua vez, passou a circular pelo aeroporto a carreira 10, Praça do Chile-Moscavide. Neste ano de 1954 é construída uma raquete no Lumiar e outra no Poço do Bispo.

Em 1955, em 20 de março, a carreira 1 de autocarros, com percurso Cais do Sodré-Rotunda da Encarnação, é estendida até à Charneca, pela estrada de circunvalação. Em 27 de março a carreira 6 de autocarros foi prolongada da Praça do Chile até à Praça Paiva Couceiro, pela Rua Morais Soares. Em 1 de maio inaugura-se a carreira 33 de autocarros, com percurso Torel-Campo Grande, pela Rua Júlio Andrade, Campo dos Mártires da Pátria, Ruas Gomes Freire e Dona Estefânia, Arco do Cego, Ruas Dona Filipa de Vilhena e do Arco do Cego, Campo Pequeno, e Avenidas Óscar Monteiro Torres, de Roma e do Brasil.

Mendonça *et al.* (2006) refere que, de acordo com o relatório do Engenheiro Sande e Castro, a frota de autocarros da CCFL era, em fins de 1955, 201 autocarros (129 de 1 piso, com a lotação média de 42 passageiros, e 72 de 2 pisos, com a lotação de 58 passageiros). A Companhia dispunha de 35 carreiras em exploração. A média de extensão de zonas perfazia 1,35 km, e a extensão total das carreiras de 467,6 quilómetros.

A Figura 23 mostra a rede de autocarros em 1955.

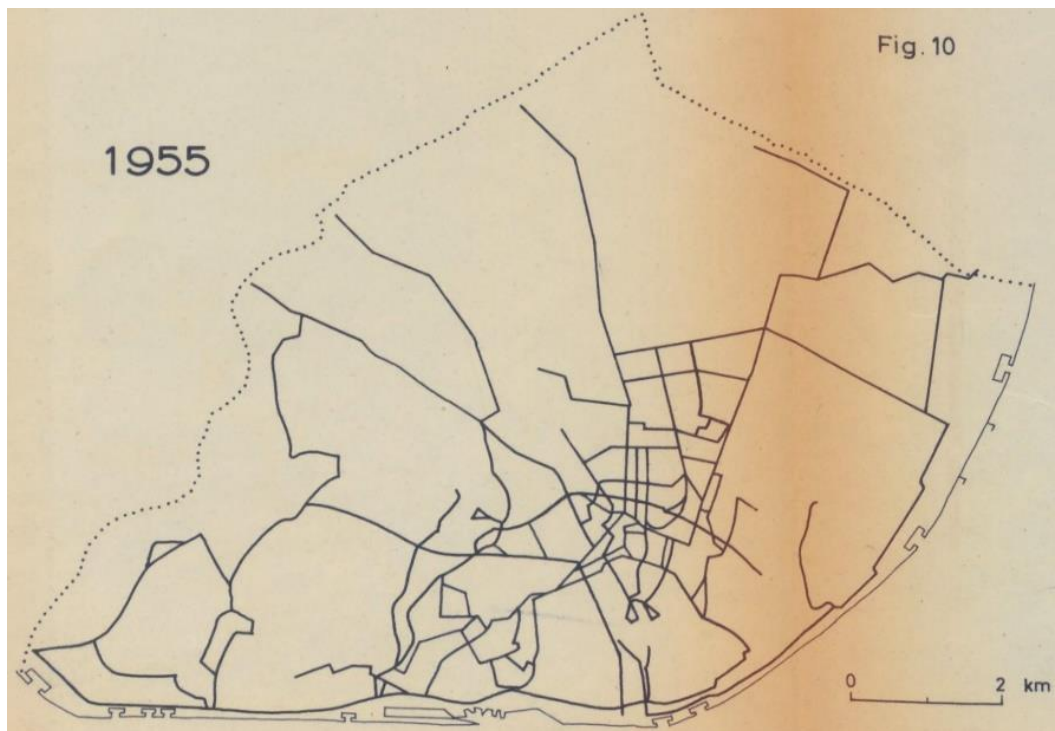


Figura 23: Rede de Autocarros em 1955

Fonte: Salgueiro (1971)

A Tabela 5 apresenta a evolução da extensão (em km) da rede de autocarros, entre 1947 e 1955.

Ano	Extensão da rede de Autocarros 1947-1955 (em km)
1947	74
1948	146,7
1949	214
1950	273
1951	304,6
1952	371
1953	413,9
1954	448,3
1955	467

Tabela 5: Extensão (em km) da rede de autocarros 1947-1955

Fonte: Castro (1955)

No ano de 1958 inaugurou-se a linha 21 (Rua da Alfândega-São Sebastião), que depois foi unida com a 24, dando origem à linha 24 (Carmo e a Rua da Alfândega). Em 23 de julho começa a funcionar a carreira 27, entre S. Sebastião e o Poço do Bispo, estendendo-se depois até Campolide. Ainda neste ano constrói-se a última extensão da rede entre o Alto de São João e a Rua Madre Deus pela Avenida Afonso III. De acordo com Mendonça *et al.* (2006), no ano de 1958 a rede de elétricos tinha uma extensão de 145 km, com as linhas que a Tabela 6 apresenta.

1	Restauradores-Benfica
1A	Restauradores-Jardim Zoológico
2	Restauradores-Lumiar
2A	Restauradores-Campo Grande
2B	Martim Moniz-Lumiar
3	Bairro do Arco do Cego-Caminhos de Ferro
3A	Restauradores-Campo Pequeno
4	Restauradores (circulação São Sebastião-Saldanha)
5	Restauradores (circulação Saldanha- São Sebastião)

6	Restauradores-Praça da Figueira (via Gomes Freire)
8	Martim Moniz-Areeiro
9	Santos-Poço do Bispo
9A	Rua da Alfândega-Poço do Bispo
10	Graça (circulação Sé)
11	Graça (circulação Anjos)
12	Martim Moniz-São Tomé
13	Restauradores-Carnide
14	Restauradores (circulação São Sebastião-Rato)
14A	Restauradores (circ. Rato - São Sebastião)
15	Praça do Comércio-Dafundo
15A	Praça do Comércio-Algés
15B	Praça do Comércio-Cruz Quebrada
16	Belém-Xabregas
17	Belém-Praça do Chile
17A	Praça do Comércio-Alto de São João
18	Praça do Comércio-Ajudá (via Cais do Sodré-Rocha)
18A	Praça do Comércio-Calçada da Ajudá (via Conde Barão-Rocha)
18B	Corpo Santo-Boa-hora (via Conde Barão-Pampulha)
19	Santo Amaro-Arco do Cego
20	Rossio-Cais do Sodré (via Príncipe Real)
21	São Sebastião- Rua da Alfândega
22	São Bento (circulação Conde Barão-Restauradores)
23	São Bento (circulação Restauradores-Conde Barão)
24	Carmo-Praça do Chile
25	Estrela (circulação Rato- Restauradores)
26	Estrela (circulação Restauradores-Rato)
27	São Sebastião-Poço do Bispo
28	Rua da Conceição-Prazeres
28B	Rua da Conceição-Estrela”

Tabela 6: Linhas de elétricos em 1958

Fonte: Mendonça et al. (2006)

Mendonça *et al.* (2006) afirma que entre 1959 e 1961 o modo elétrico é substituído pelo modo Metropolitano, para responder às necessidades nas duas grandes radiais da capital: Restauradores-Sete Rios e Restauradores-Entrecampos. No ano de 1960 as linhas que

circulavam ao longo do trajeto do Metropolitano foram desativadas e substituídas por carreiras de autocarros.

Azevedo (1998) refere algumas alterações na rede da CCFL no ano de 1960. A partir de 15 de maio de 1960 a linha 1 (Restauradores-Benfica) e a linha 13 (Restauradores-Carnide) mudam os seus percursos: linha 1 (Praça do Chile-Benfica) e linha 13 (Praça do Chile-Carnide), deixando de circular pela Avenida da Liberdade. A linha 2 (Restauradores-Lumiar) foi encurtada para o Saldanha, e passou a ser a linha 2A. A linha 2B (Martim Moniz-Lumiar) passa a linha 2. Foram eliminadas as linhas: 3A (Restauradores-Campo Pequeno), 4 (Restauradores - circulação São Sebastião-Saldanha), 5 (Restauradores - circulação Saldanha- São Sebastião), 14 (Restauradores - circulação S. Sebastião-Rato) e 14A (Restauradores -circulação Rato - S. Sebastião). Mendonça *et al.* (2006) refere que em a 1 de agosto de 1960, a linha 20 (Rossio-Cais do Sodré - via Príncipe Real) é desviada para a Gomes Freire em substituição da linha 6. Em 28 de Agosto foram inauguradas as linhas 29/30 e 31/32, com origem e fim no Cais do Sodré e servindo a Estrela e S. Bento (ambas com circulação via Príncipe Real). Azevedo (1998) afirma que a 28 de agosto de 1960 os carros das linhas 22 (S. Bento – circulação Conde Barão-Restauradores), 23 (S. Bento – circulação Restauradores-Conde Barão), 25 (Estrela – circulação Rato-Restauradores) e 26 (Estrela – circulação Restauradores-Rato) deixaram de circular pela Avenida da Liberdade, passando a atravessá-la na Rua Alexandre Herculano, dirigindo-se para a Baixa pelo eixo Gomes Freire - S. Lázaro-Martim Moniz-Praça da Figueira. Todos estes carros passaram a ter o seu término no largo da Gomes Freire, à exceção os carros da linha 20.

A tabela 7 resume algumas alterações da rede da Carris em 1960 com a construção do Metropolitano.

Carreiras a suspender – 13 de maio de 1960	
1	Restauradores-Benfica
1A	Restauradores-Jardim Zoológico
2	Restauradores-Lumiar
2A	Restauradores-Campo Grande
3A	Restauradores-Campo Pequeno
13	Restauradores-Carnide
14	Restauradores-Campolide (via S. Sebastião)
14-A	Restauradores-Campolide (via Largo do Rato)
19-B	Circulação Arco do Cego-Estefânia-Avenida da Liberdade (serviço noturno) Restauradores-Prazeres (carreiras extraordinárias).
Carreiras a estabelecer – 13 de maio de 1960	
1	Praça do Chile- S. Sebastião
1A	Campolide-São Sebastião-Benfica
1B (a)	Sete Rios-Benfica
2A	Praça Duque de Saldanha-Lumiar
2B (a)	Entre-Campos-Lumiar
13	Praça do Chile- S. Sebastião-Carnide
13A (a)	Sete Rios-Carnide
(a) Para correspondência com o Metropolitano	

Tabela 7: Carreiras da Carris a suspender e a estabelecer em 1960 com a construção do Metropolitano¹²

Fonte: Rolo *et al.* (1965, 1953, 1999-2001)

Azevedo (1998) refere que com a chegada do Metropolitano ao Rossio, em 1961, os únicos elétricos com terminus no lado sul eram os carros da linha 28, aos domingos, feriados e serviço noturno. A linha 17A passou a linha 6, unindo-se, depois, com a linha 17. A linha 18B passou a linha 14 (Corpo Santo-Boa-hora - via Conde Barão-Pampulha)). Todos os elétricos da linha 18 (Ajuda) passaram a circular pelo Cais do Sodré-Rocha. Surgem as linhas: 1B (Sete Rios – Benfica -Metropolitano em Sete Rios), 2B (Entre

¹² Carreiras a suspender e a estabelecer, Anúncio que a CCFL fez publicar no Novidades de 14 de maio de 1960 (entre outros órgãos de informação) no sentido de divulgar as alterações introduzidas no serviço de carros elétricos na sequência da inauguração do Metropolitano e da entrada em vigor do recém-aprovado sistema de correspondências com o Metropolitano, (Rolo *et al.*, 1965, 1953, 1999-2001)

Campos – com Metropolitano - Lumiar, 5 (Carmo-Benfica), 13A (Sete Rios – Carnide - Metropolitano em Sete Rios); 29 (Estrela - circulação Príncipe Real – Cais do Sodré) 30 (Estrela - circulação Cais do Sodré - Príncipe Real), 31 (S. Bento-circulação Príncipe Real – Cais do Sodré), 32 (S. Bento-circulação Cais do Sodré- Príncipe Real). A linha 2A desaparece devido ao novo arranjo da Praça Duque de Saldanha. A linha 16 (Belém – Xabregas) é prolongada até ao Poço do Bispo. São suprimidas as linhas 9 (Santos-Poço do Bispo) e 9A (Rua da Alfândega-Poço do Bispo). A linha 18 (Ajuda) passa a circular via Conde Barão.

Azevedo (1998) afirma que, devido à inauguração da Ponte sobre o Tejo, a 24 de julho de 1966 a rede de elétricos continuou a ser desmontada, causando remodelação da rede viária em Alcântara. É suprimida a linha 14 (Corpo Santo-Boa Hora, via Pampulha), a linha 19 (Santo Amaro-Arco do Cego) é encurtada para Alcântara. Os elétricos deixaram de circular por Alcântara e na parte inferior da Calçada da Tapada.

A Figura 24 apresenta o mapa da rede de autocarros em 1970, que, para além de alterações de pequenos pormenores, apresenta duas áreas com uma trama interna bastante densa e relativamente separadas do resto da cidade. A norte o conjunto Encarnação-Olivais entre os vazios do Aeroporto e de Chelas; a ponte Algés-Restelo-Ajuda separados por Monsanto. (Salgueiro, 1971)

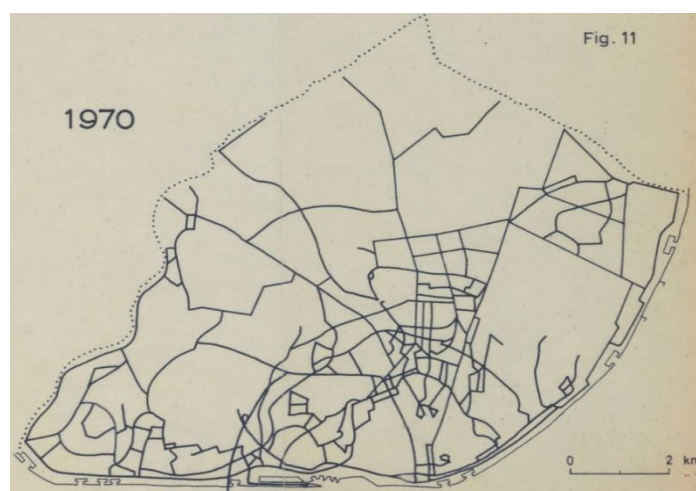


Figura 24: Rede de autocarros em 1970

Fonte: Salgueiro, 1971

A 14 de Setembro de 1971 as linhas 2 (Restauradores-Lumiar) e 2B (Martim Moniz-Lumiar) são suprimidas.

A linha 3 (Bairro do Arco do Cego-Caminhos de Ferro) é eliminada em 1972. A 30 de novembro deste ano, são suprimidas as linhas 31 e 32 (São Bento - circulação – Cais do Sodré). A 18 de Dezembro, a linha 8 Martim Moniz-Areeiro é eliminada, sendo substituída por 8 carreiras de autocarros com novo percurso Martim Moniz-Moscavide. A linha 28 deixa de ter o seu término na Rua da Conceição e, em 1973, o seu percurso é prolongado até à Graça. Verifica-se a fusão das linhas 6 e 17 criando o percurso Belém-Alto de S. João.

A 15 de Julho de 1973 as radiais de Benfica e Carnide deixam de existir, suprimindo as linhas 1, 1A, 5, 13 e 13A. Com estes cortes na rede de elétricos, esta ficou com menos 9 km (eixo Alto de S. João-Praça do Chile-Rovisco Pais-Duque de Avila-Marquês de Fronteira-Campolide). Mais a norte no eixo marginal Rua da Alfândega-Praça do Comércio-Algés é servida pela linha 15.

De acordo com Azevedo (1998), no ano de 1974 as atividades da CCFL iniciaram-se ao abrigo do Decreto-Lei 688/73, de 21 de dezembro. Este diploma legislativo tentou encontrar solução para a grave situação da empresa. Mendonça *et al.* (2006) refere que neste ano aposta-se no serviço com a renovação da frota (cerca de 200 novas viaturas). Nos anos seguintes a rede expandiu-se e aumentou o número de autocarros (autocarros de tamanho reduzido, autocarros articulados, miniautocarros e elétricos articulados), de acordo com as necessidades da cidade de Lisboa. Em 17 de Fevereiro de 1974 a linha 21 (S. Sebastião- Rua da Alfândega) fundiu-se com a linha 24 (Carmo-Praça do Chile), passando a ser a linha 24 (Carmo-Rua da Alfândega).

Em 19 de Dezembro de 1975 a linha 3 (Arco do Cego-Caminhos de Ferro) prolonga-se até ao Poço do Bispo. Neste ano desaparecem as linhas 31 (São Bento - circulação Príncipe Real – Cais do Sodré) e 32 (São Bento - circulação Cais do Sodré-Príncipe Real). A 29 de Setembro a linha 27 (Poço do Bispo-Arco do Cego) é prolongada até Campolide.

De acordo com Azevedo (1998), em relação ao serviço de elétricos, em 1978 recomenda-se que seja preservado e reabilitado a rede na zona ribeirinha.

Em 1980 começa a modernização nos carris da rede marginal no eixo Cruz Quebrada-Algés e depois em Belém. Algum tempo depois é executada a modernização do eixo Conde Barão-Boavista-S. Paulo. Também em 1980 a linha 16 é prolongada de Belém a Algés, passando a ser Algés-Poço do Bispo.

A 23 de Agosto de 1982 são suprimidas as linhas 22 (S. Bento - S. Lázaro-Avenida D. Carlos I) e 23 (São Bento - circulação Avenida D. Carlos I-São Lázaro).

Em 1983 a linha da Rua da Prata e o eixo Largo do Rato-Amoreiras são modernizados.

A 5 de Março de 1984 são suprimidas as linhas 10 (Graça – circulação Sé), 11 (Graça - circulação Anjos), e 29 e 30. A linha 28 é prolongada da Graça ao Martim Moniz para servir as linhas 10 e 11. Foi também criado um reforço do 28B entre a Rua da Conceição e a Estrela. Este serviço de reforço do 28A, circulou, durante algum tempo, entre a Rua da Conceição e o Martim Moniz.

Em 1985 o eixo Conde de Redondo-Gomes Freire foi modernizado. A 1 de Dezembro a linha 20 (Cais do Sodré-Gomes Freire) é prolongada até ao Martim Moniz, passando a ser designada por Cais do Sodré- Martim Moniz (via Gomes Freire). As linhas 17 (Belém-Alto de S. João) e 18 (Praça do Comércio-Ajudá) passaram a circular, respetivamente, via Cais do Sodré e via Conde Barão.

No ano de 1986, ocorrem algumas alterações nas carreiras de autocarros. Inaugura-se a carreira 84 (Praça do Comércio – Estação da Damaia), um novo serviço Expresso, que funciona nas horas de ponta dos dias uteis, servindo de reforço à carreira 46. Reorganizaram-se as carreiras entre Lisboa e a Margem Sul (Centro Sul), por concentração dos serviços das carreiras 53 e 54. A 11 de Agosto deste ano começa a funcionar a linha 10 (Cais do Sodré-Campolide) para substituir os velhos autocarros da carreira 15 (Cais do Sodré-Sete Rios), até à chegada da nova frota, ocorrida a 18 de novembro de 1991, eliminando-se a linha 10.

Durante o ano de 1987 a CCFL fez alterações no serviço noturno, para que houvesse mais periodicidade em certas zonas da cidade.

A 16 de Abril de 1988 a linha 17 de Belém a Algés é prolongada, passando o percurso a ser Algés-Alto de S. João. Foi encurtada a linha 16 de Algés a Belém, retomando o seu percurso original (Belém-Poço do Bispo). Os elétricos da linha 15 passam a ter o seu término na Praça da Figueira, com um novo esquema de serviços noturnos.

Durante a década de 90 surgem elétricos mais velozes na zona ribeirinha.

De acordo com Azevedo (1998), em dezembro de 1990 começou a modernização da rede aérea na Praça da Figueira e na Rua dos Fanqueiros, para poderem circular elétricos com pantógrafos em vez do trólei. A 20 de Agosto a linha 27 (Campolide-Poço do Bispo) desaparece.

A 27 de fevereiro de 1991 a linha 24 é encurtada para o Alto de S. João, passando a designar-se por Carmo-Alto de São João. Nesse dia também foi inaugurada a linha 23 com percurso entre a Praça do Chile e a Rua da Alfândega (via Avenida Afonso III). No dia 18 de janeiro deste ano as últimas linhas circulares são extintas: linha 29 (Estrela-circulação Príncipe Real - Cais do Sodré) e a linha 30 (Estrela - circulação Cais do Sodré - Príncipe Real). A linha 25 (Estrela - circulação Gomes Freire - Lapa) passou a ser uma linha não circular, com a designação Corpo Santo-Gomes Freire (via Estrela), com sentido de circulação contrária. A linha 26 foi suprimida. A linha 20 (Cais do Sodré-Martim Moniz) foi encurtada à Gomes Freire, passando a ter o seu percurso anterior (Cais do Sodré-Gomes Freire). De acordo com Azevedo (1998), estas alterações, segundo a CCFL, foram devido ao novo esquema viário a criar no Largo Martim Moniz, que não permitiria a viragem à esquerda dos elétricos em direção ao eixo São Lázaro-Gomes Freire. A 7 de Abril foi suprimida a linha 19 (Alcântara-Arco do Cego). No dia 1 de agosto a linha 16 (Belém-Poço do Bispo) foi encurtada à Rocha, tendo sido suprimida a 18 de novembro.

Em 1992 os carris na Rua da Junqueira e na Avenida 24 de Julho foram modernizados. A rede aérea entre a Cruz Quebrada e Pedrouços e na Avenida 24 de Julho também foi modernizada. A 6 de Outubro deste ano a linha 23 desapareceu. A 11 de novembro a linha 18 prolongou-se até à Rua da Alfândega, tendo os elétricos da linha 15 mudado o seu término da parte ocidental para a parte oriental da Praça do Comércio, até 1993, altura

em que passaram a ter o seu término definitivo na Praça da Figueira. Neste ano existiam 835 autocarros: 719 standard, 23 de dois pisos, 31 articulados, 15 minibus, 40 médios e 7 outros.

Em 1993 a linha 17 (Algés-Alto de S. João) foi encurtada até à Rua da Alfândega, com a designação Rua da Alfândega-Alto de S. João, possuindo término com a linha 18 no Campo das Cebolas.

Em 1994 a linha 24 (Carmo-Alto de S. João) continuou até ao Cais do Sodré, com a designação Cais do Sodré-Alto de S. João. A linha 25 (Corpo Santo-Gomes Freire) passou a Corpo Santo-Carmo, tendo sido desativado o troço entre o Largo do Rato e Gomes Freire. Foi abolida a linha 20 (Cais do Sodré-Gomes Freire). A linha 17 (Rua da Alfândega-Alto de S. João) viu, novamente, o seu percurso reduzido: Martim Moniz-Alto de S. João). De acordo com Azevedo (1998) esta alteração ficou a dever-se à nova concordância da Rua dos Fanqueiros, preparada para os elétricos modernos, que já não permite a circulação de elétricos em direção ao Campo das Cebolas.

Em 1996 a linha 25 foi prolongada até à Rua da Alfândega, passando a ter término comum com os carros da linha 18. Neste ano existiam 779 autocarros: 648 standard, 61 articulados, 30 minibus e 40 médios.

Em 1998 a rede tinha uma extensão de cerca de 680 Km, dos quais 614 (90,3%) são em via simples banalizada. A rede de autocarros tinha 101 carreiras, (71 urbanas, 19 fora do limite urbano, 10 da rede da madrugada e uma noturna. A rede tinha 815 autocarros: 656 standard, 90 articulados, 30 minibus e 40 médios.

De acordo com Mendonça et al. (2006), nos anos 1990 a rede de autocarros registou um acréscimo de 17 km, resultando, principalmente, de três novos serviços: a carreira 72, para servir a área da Cruz da Pedra, após a supressão da correspondente estação dos caminhos de ferro; a carreira 73, para o acesso ao Campus Universitário da Ajuda; a carreira 91 (Aerobus), ligando o Cais do Sodré ao Aeroporto.

O anexo 3 apresenta a cobertura espacial de autocarros da rede da Carris em 1999. E também a rede de elétricos, cuja extensão é de 59.4 km.

A 9 de Setembro de 2006 inicia-se a primeira fase da “Rede 7”, que permitiu uma maior articulação com o Metropolitano. A rede é constituída por 88 carreiras e por uma extensão de 670 km. Com 749 autocarros estavam distribuídos da seguinte forma: 604 Autocarros “Standard”, 37 dos quais movidos a gás natural; 36 Autocarros do segmento “Mini”; 9 Autocarros do segmento “Médio” e 100 “Articulados”. A rede de elétricos é composta por 5 carreiras regulares diurnas, com uma extensão de 48 km, com uma frota de 57 eléctricos, (10 articulados e 47 ligeiros, dos quais 39 são históricos).

Em 2009 a rede da Carris, passou a ter a seguinte frota: 606 Autocarros “Standard”, 57 dos quais movidos a gás natural; 36 Autocarros do segmento “Mini” ; 20 Autocarros do segmento “Médio” e 90 “Articulados”. A rede de elétricos não sofreu alterações.

Em 2010 a rede da Carris passou a ter 752 veículos. A Rede de Autocarros tem 77 carreiras diurnas regulares (59 urbanas e 18 suburbanas), 9 carreiras da “Rede da Madrugada” (5 urbanas e 4 suburbanas) e 1 carreira especial. A Rede apresenta um total de 87 carreiras, com uma extensão de 678 km. Neste ano a rede de elétricos não sofreu alterações.

Em 2011 a Rede tem 680 km. A frota apresentava 704 autocarros: 562 Autocarros “Standard”, 57 dos quais movidos a gás natural; 35 Autocarros do segmento “Mini”; 20 Autocarros do segmento “Médio” e 87 Autocarros “Articulados”. A rede de elétricos manteve-se igual.

Em 2012 a rede de autocarros é composta por 74 Linhas/Carreiras regulares (54 urbanas e 20 suburbanas, das quais 7 Linhas da rede da madrugada). A Rede apresenta 669,9 km, Na Rede de Elétricos a extensão alterou-se de 48 km para 47,5 km e diminuiu a frota de 57 para 49 eléctricos (10 articulados e 39 históricos).

No final do ano de 2013, a rede da Carris era constituída por 72 carreiras de autocarros e 5 de elétricos. A rede perfazia 669 quilómetros e era servida por 632 veículos, dos quais

488 são standard, 20 autocarros de menor dimensão, 34 miniautocarros e 90 autocarros articulados. A rede de elétricos manteve-se.

Em 2014 a frota de autocarros diminuiu para 619 veículos: 476 autocarros “standard”, 58 dos quais movidos a gás natural; 33 autocarros do segmento “mini”; 20 autocarros do segmento “médio” e 90 autocarros articulados. A rede de elétricos manteve-se.

Em 2015 a frota é composta por 600 autocarros (457 standard, 33 minis e 90 articulados). A rede de elétricos é composta por 48 elétricos (38 remodelados e 10 articulados).

No de 2016, a rede da Carris manteve-se inalterada, sofrendo apenas alguns ajustes, nomeadamente, o prolongamento da carreira 767 à Estação de Metro da Reboleira, o encurtamento do percurso em Campolide devido à construção da nova Praça e a alteração de percurso da carreira 708 no Parque das Nações.

Em 2017 a rede manteve-se. Foram criadas 5 carreiras de bairro para promover a mobilidade local e a proximidade a infraestruturas, como escolas, centros de saúde, mercados e estações de metro.

Em 2018, a CARRIS continuou a adquirir autocarros. Neste ano estavam ao serviço 608 autocarros. A rede de elétricos não sofreu alterações.

Em 2019, a CARRIS adquiriu novos veículos: 191 autocarros (40 articulados, 109 standards, 37 médios e 5 elétricos), No final do ano a empresa tinha ao serviço 706 autocarros. Na rede elétricos não se registaram mudanças.

No ano de 2020, a Carris, registou um crescimento na oferta, prologando as seguintes carreiras: 744 do Marquês de Pombal aos Restauradores; 718 à Estação Roma-Areeiro; 732 em dia útil ao Hospital Sta. Maria e 768 no período noturno à Alameda D. Afonso Henriques. Neste ano a empresa dispunha de 724 autocarros (530 standard, 15 standard elétricos, 32 minis, 57 médios e 90 articulados). A rede de elétricos manteve-se com 48 elétricos (38 remodelados e 10 articulados).

A Tabela 8 e o Gráfico 2 apresentam a evolução da rede de elétricos por décadas, desde 1901 a 2020.

Evolução da extensão da rede de Elétricos por décadas, entre 1901 e 2020					
Períodos	Mínimo	Média	Máximo	Km por década	% km por década
1901 a 1910	48	97	115	969	7%
1911 a 1920	115	118	121	1185	8,9%
1921 a 1930	114	130	147	1297	9,8%
1931 a 1940	148	151	160	1512	11,4%
1941 a 1950	160	160	160	1601	12,0%
1951 a 1960	153	159	161	1593	12,0%
1961 a 1970	148	154	170	1538	11,6%
1971 a 1980	120	126	149	1260	9,5%
1981 a 1990	113	114	117	1029	7,7%
1991 a 2000	67	82	101	816	6%
2001 a 2010	48	62	67	248	2%
2011 a 2020	47	50	53	249	2%
Total	-	-	-	13297	100%

Tabela 8: Evolução da rede de Elétricos por décadas, entre 1901 e 2020

Fonte: Castro (1955)

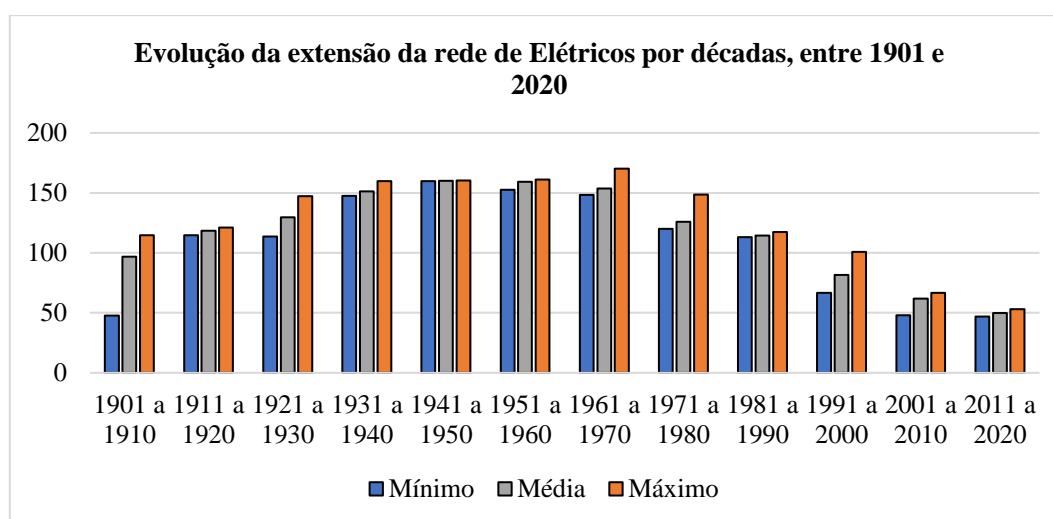


Gráfico 2: Evolução da extensão da rede de Elétricos por décadas, entre 1901 e 2020

Fonte: Relatórios de Contas e Relatórios de Sustentabilidade do Metropolitano de Lisboa; Rolo et al. (1965; 1953; 1999-2001)

A Tabela 9 e o Gráfico 3 apresentam a evolução da extensão da rede de autocarros entre 1945 e 2020.

Evolução extensão da rede de autocarros entre 1945 e 2020					
Períodos	Mínimo	Média	Máximo	Km por década	% km por década
1945 a 1949	118	124	130	248	2%
1950 a 1959	145	259	376	2595	17%
1960 a 1969	427	517	589	4652	31%
2000 a 2010	650	669	678	2675	18%
2011 a 2020	669	684	721	4790	32%
Total	-	-	-	14960	100%

Tabela 9: Evolução da rede de autocarros entre 1945 e 2020

Fonte: Anuário Estatístico de Portugal de 1945 a 1969; Belo (1998); Relatórios de Contas da Carris

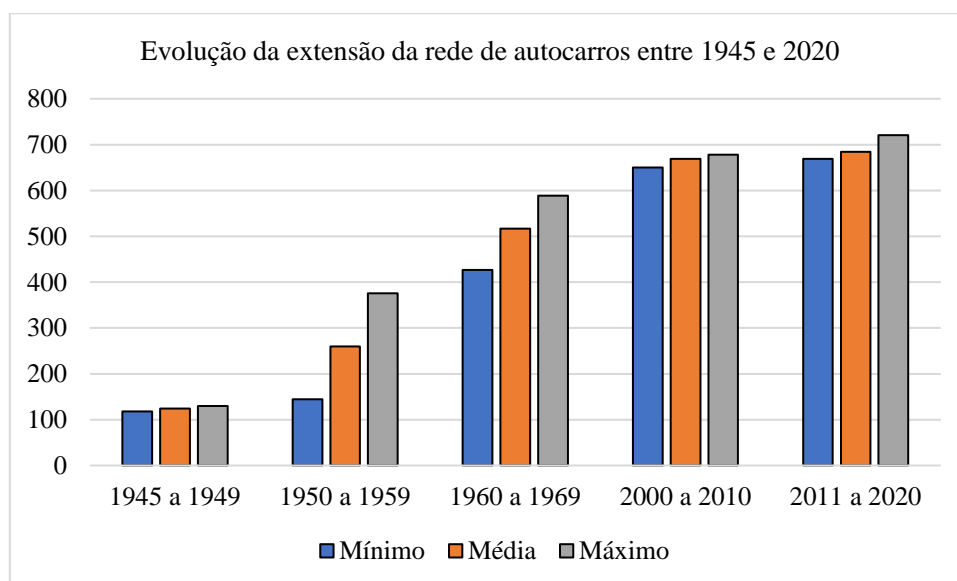


Gráfico 3: Evolução da extensão da rede de autocarros entre 1945 e 2020

Fonte: Anuário Estatístico de Portugal de 1945 a 1969; Belo (1998); Relatórios de Contas da Carris

4 TEORIA DOS GRAFOS

4.1 Breve resumo histórico

Numa cidade como Lisboa, que nas últimas décadas tem sofrido mudanças territoriais, sociais e económicas, é importante enquadrar a evolução das redes de transporte nestas dinâmicas. Morgado (2010), afirma que a teoria dos grafos permite compreender a rede em termos da estrutura geral e interna, quer da ordem que impõe aos nós que a compõem e compensar com os SIG, a sua abstração espacial.

As análises da rede de transportes sustentam-se nos primórdios da teoria dos grafos, que são conjuntos de pontos que estão ligados, de forma direta ou não, com outros pontos por intermédio de linhas (Hagget e Chorley, 1969, cit in Domingos, 2006). Para Domingos (2006), quando se representa uma rede num grafo é importante a sua consistência topológica. Os vértices estão ligados pelo menos a uma linha, seja direcional (num único sentido) ou não direcional (em dois sentidos). Também podem existir sub-grafos (grafos desconectados do grafo inicial).

Todo o tipo de redes pode ser representado por um grafo. A topologia da rede (relação entre vértices e linhas) pode ser analisada em tabelas (matrizes). Reduzindo a representação de uma rede a um grafo topológico, torna-se fácil realizar análises acerca da forma e posteriores comparações entre grafos. Segundo Haggett e Chorley (1969, cit in Domingos, 2006) para estas comparações há 3 elementos básicos:

- a) número de sub-grafos não conectados;
- b) número de linhas;
- c) número de vértices.

De acordo com Rodrigues et al (2004, cit in Domingos 2006), com a teoria dos grafos é possível avaliar a ordem de um vértice (número de ligações diretas que um vértice possui num grafo), e calcular vários índices, tais como: Índice Beta (mede a conectividade num grafo, pela avaliação do número de linhas com o número de vértices), o Índice Gama

(mede a conectividade de um grafo, considerando o número total de linhas existente e o número possível).

Para Fischer, (2003, cit in Domingos, 2006) “Na teoria de grafos, quando um grafo possui interação e movimento é designado por grafo com valor (valued graph), ou simplesmente por rede”. Quando se representa um sistema de transportes estamos a representar uma rede, porque apresenta um movimento de pessoas, veículos ou mercadorias num território. Os elementos pontuais designam-se nós (ou nodos), os elementos lineares (ligam os diferentes nós de uma rede) designam-se arcos.

Para Miller e Shaw (2001, cit in Domingos, 2006) “A teoria dos grafos baseia-se nas características topológicas (na conectividade) dos membros de um conjunto. Os nós (vértices) representam os membros do conjunto, os arcos (linhas) as suas conexões.” Numa rede topologicamente correta todos os nós tem de estar ligados entre si, por, pelo menos, uma ligação. Isto significa que uma rede está conectada quando para todos os nós existir pelo menos um caminho.

A Teoria dos Grafos teve a sua origem no século XVIII na história da Matemática. No século XX a sua importância impôs-se devido às suas ligações e aplicações em outras ciências, e em várias áreas da Matemática.

O suíço Leonhard Euler (1708-1783) foi o primeiro matemático a escrever sobre a abstração dos grafos. Em 1847 Gustav Robert Kirchhoff utilizou modelos de grafos no estudo dos circuitos elétricos, e criou a teoria das árvores. Uma década depois Arthur Cayley (1821-1895) utilizou a ideia de árvores para outras aplicações, tais como a enumeração dos isómeros de hidrocarbonetos alifáticos saturados, em química orgânica. (Lipschutz; Lipson, 2004, cit in Souza, 2013)

Souza (2013) afirma que em 1736 a resolução de Euler do Problema das Pontes de Königsberg (Figura 19) é a primeira publicação da teoria dos grafos. Melo (2014) refere que James Joseph Sylvester num artigo publicado em 1877, na Nature, usou pela primeira vez o termo grafo. Silva (2009), refere que Déneskonig publicou em 1936 o primeiro livro sobre a teoria dos grafos.

O problema das Pontes de Königsberg é baseado na cidade de Königsberg (território da Prússia até 1945, atual Kaliningrado), que é cortada pelo Rio Prególia, onde há duas grandes ilhas que, juntas, formam um complexo que na época continha sete pontes. O problema é conseguir atravessar todas as pontes sem repetir nenhuma. Euler, em 1736, provou que não existia caminho que possibilitasse tais restrições. Transformou os caminhos em retas e as suas interseções em pontos, criando, possivelmente, o primeiro grafo da história. Percebeu que só seria possível atravessar o caminho inteiro passando uma única vez em cada ponte se houvesse exatamente zero ou dois pontos de onde saísse um número ímpar de caminhos. O motivo é que de cada ponto deve haver um número par de caminhos, pois será preciso um caminho para entrar e outro para sair. Os dois pontos com caminhos ímpares referem-se ao início e ao final do percurso, pois não precisam de um para entrar e de um para sair. Se não houver pontos com número ímpar de caminhos, pode-se (e deve-se) iniciar e terminar o trajeto no mesmo ponto, podendo esse ser qualquer ponto do grafo. Isso não é possível se existirem dois pontos com números ímpares de caminhos, sendo, obrigatoriamente, um o início e outro no fim.

Do exposto anteriormente, o modelo de Euler consistia na representação abstrata dos territórios em nós, e das pontes que os ligavam em arcos. Euler representou o território sob a forma de um diagrama, que veio a designar-se por grafo como é visível nas Figuras 25 e 26.

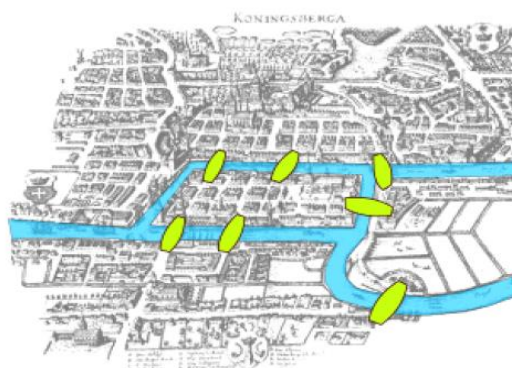


Figura 25: As 7 pontes sobre o rio Pregel

Fonte: Morgado, 2010 (adaptado de Gribkovskaia et al, 2007)

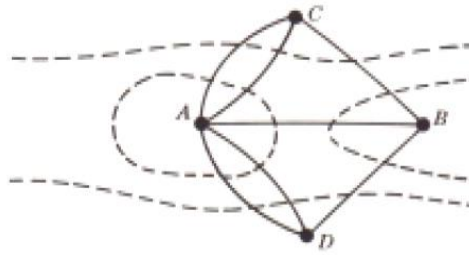


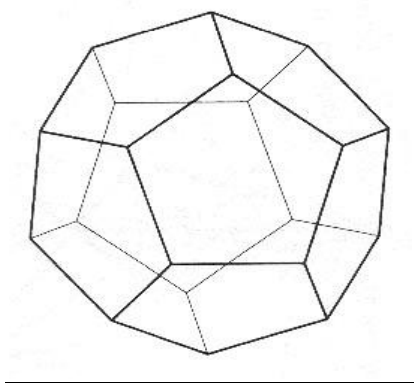
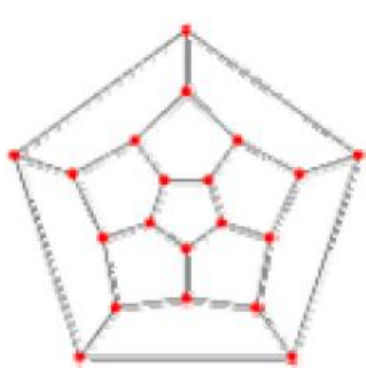
Figura 26: Grafo Euleriano

Fonte: Morgado, 2010 (adaptado de Gribkovskaia et al, 2007)

De acordo com Braz & Costa (2017), a teoria de Euler foi formalizada na década de 1930. Até a década de 1950 foi usada principalmente para questões matemáticas e físicas. A partir desta época a teoria dos grafos começou a ser aplicada a estudos geográficos, devido aos geógrafos e analistas de transportes.

O irlandês William Rowan Hamilton (1805-1865) inventou um jogo que procurava um percurso fechado envolvendo todos os vértices de um dodecaedro regular, para que cada um deles fosse visitado uma única vez. Este jogo originou o estudo dos grafos Hamiltonianos, que tem por definição, segundo Rabuske (1992, cit in Souza 2013), encontrar um caminho fechado, passando uma única vez por todos os vértices.

Para Silva (2009), este problema foi resolvido em 1857 e foi designado por viagem à volta do mundo. Tal como foi referido o objetivo é percorrer todos os vértices do dodecaedro, estando cada um deles nomeado com o nome de uma cidade importante: Dublin, Roma, Paris, Madrid, etc. Pretende-se encontrar um caminho que inclua todas as cidade exatamente uma vez e regressar ao ponto de partida. Só é possível viajar de uma cidade para a outra se existir uma aresta entre os vértices correspondentes. As Figuras 27 e 28 esquematizam o que foi exposto.

 <p data-bbox="239 761 782 840">Figura 27: Grafo para o problema viagem à volta do mundo</p> <p data-bbox="399 896 622 929">Fonte: Silva (2009)</p>	 <p data-bbox="813 772 1348 851">Figura 28: Grafo para o problema viagem à volta do mundo</p> <p data-bbox="973 907 1189 940">Fonte: Silva (2009)</p>
--	---

Outro problema relacionado com a teoria dos grafos pretende equacionar qual o menor número de cores necessárias para pintar um mapa, (problema das 4 cores), para que não existam países com fronteiras comuns pintados da mesma cor. Em 1852 o cartógrafo inglês Francis Guthrie defendia ser suficiente quatro cores para distinguir os países num mapa plano. Silva (2009), refere uma carta de Morgan a Hamilton e um relatório de um matemático Cayley, apresentado em 1978 à “London Mathematical Society” sobre a impossibilidade de resolver o problema. Ainda de acordo com Silva (2009), em 1976 Kenneth Appel e Wolfgang Haken apresentaram uma prova demonstrativa para o problema, que incluía a análise, num programa computacional muito complexo, de 1500 casos especiais, que não convenceu a comunidade científica. Vinte anos depois Neil Robertson, Daniel Seymour, Paul Sanders e Robin Thomas apresentaram uma demonstração mais simples: a resolução do problema foi construir um grafo a partir de um mapa, criando um vértice para cada país e ligando dois vértices por arestas, quando existe uma partilha de fronteira, como se observa na Figura 29.

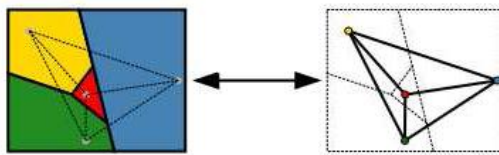


Figura 29: Grafo para o problema de Kenneth Appel e Wolfgang Haken

Fonte: Silva (2009)

Em termos de evolução histórica, em 1912, Birkhoff definiu polinómios cromáticos; em 1930, Kuratowski estabeleceu uma condição necessária e suficiente para a planaridade de um grafo; em 1931 Whitney criou a noção de grafo dual; em 1941, Brooks, fundamentou um teorema estabelecendo um limite para o número cromático de um grafo.

Nas suas origens os estudos sobre a teoria dos grafos incidiram sobre: conexão e descrição de mapas, elaboração das tabelas de distâncias, nos cálculos dos diferentes índices de densidade da rede e das isócronas.

A partir de meados do século XX, desenvolvem-se e aplicam-se novos índices para medir a estrutura das redes e da hierarquia dos nós, de forma a permitir a comparação e a evolução das redes.

Nas décadas de 60 e 70 do século XX, a introdução da matemática na análise sistémica dos territórios (Wilson, 2000, cit in Morgado, 2010), permite que a Teoria dos Grafos surja nas ciências geográficas (Potrikowski e Taylor, 1984; Xu, 2007, cit in Morgado, 2010), adquirindo uma importância maior no estudo da estrutura espacial das redes. Na década de 60 do século XX Garrison (1960, cit in Morgado, 2010) elaborou um estudo sobre a estrutura espacial das redes de estradas e inter-Estados, com metodologia baseada nas propriedades topológicas dos grafos.

A partir de 1970, do século XX, o desenvolvimento da informática contribuiu para o avanço da Teoria dos Grafos. Surgiram publicações com algoritmos de grafos, contribuindo para a aplicação da teoria.

De acordo com Hillier & Hanson (1989, cit in Rodrigues & Sampayo, 2009), “Nas décadas de 1980 e 1990 do século XX a sintaxe do espaço teve uma abordagem revitalizada da teoria dos Grafos para medir as configurações das cidades”.

Taaffe e Gauthier (1973, cit in Morgado, 2010), referem que entre os métodos utilizados na descrição das redes, foram elaborados mapas e tabelas que listam distâncias, capacidades, fluxos. Foi também desenvolvido um conjunto mais consistente de medidas das características das redes, que permitem comparar e avaliar melhor as redes. Tem-se dado muita importância aos conceitos da teoria gráfica para descrever a estrutura topológica das redes.

A fase da quantificação na análise espacial em Geografia, vê surgir os primeiros estudos de redes através de métodos baseados na Teoria dos Grafos. O modelo de Shimbel (1953) diz respeito a um estudo teórico sobre a determinação de parâmetros estruturais para análise de redes de comunicação. Introduziu o método do cálculo da matriz D ou matriz de Shimbel para análise interna da rede. O modelo de Kansky (1963) estimava o desenvolvimento da rede de transportes através de um processo adicional de ligações. Representava a rede de transportes segundo um diagrama de arcos (rede de estradas) e nós (cidades), através do qual se conseguia determinar a distância média e o número de arcos que a rede iria ter, mediante análise relacional entre a estrutura da rede, o nível socioeconómico da região, a dimensão da área de estudo e a sua dinâmica morfológica e forma. (Morgado, 2010)

A aplicação da Teoria dos Grafos e dos seus métodos matemáticos na resolução de problemas reais, deveu-se a dois fatores: a globalização, que fez com que as redes fossem omnipresentes em todos os aspetos da sociedade; o grande desenvolvimento tecnológico verificado a partir da década de 90 do século XX, principalmente nas áreas da microtecnologia e da computação, que permitiu aplicar os métodos clássicos da Teoria dos Grafos, e outros que se desenvolveram, ao estudo de redes em fenómenos de grande dimensão e complexidade, tais como por exemplo, a WWW de Martin Dodge, a Internet de Mathew Zook e de Albert-László Barabási, ou as ligações aéreas.

No século XXI a modelação e a análise quantitativa de dados voltou a assumir destaque e a Teoria dos Grafos voltou a constituir método de análise da estrutura das redes. (Batty, 2003; Pumain, 2003; Chapman, 2006, cit in Morgado, 2010)

4.2 *Medidas de centralidade*

Seguidamente, iremos expor as medidas de centralidade que utilizámos no presente trabalho: betweenness, degree, closeness e eigenvector.

Para Kazerani (2009) as medidas de centralidade referem-se às propriedades estruturais dos nós (e arestas) de uma rede.

Na atualidade, em termos de centralidade dá-se importância à distribuição de valores de centralidade, através de todos os nós (Crucitti et al. 2006). De acordo com Wilson (2000, cit in Kazerani, 2009) a centralidade de alguns locais (nós de uma rede) são mais importantes que outros.

Bavelas (1948, cit in Kazerani, 2009) observou que indivíduos centrais numa rede social desempenham um papel importante no grupo, e que, portanto, uma boa localização na estrutura da rede corresponde ao poder de ter o controlo sobre os outros. Aplicou a ideia de centralidade à comunicação humana, caracterizou a comunicação em pequenos grupos e relacionou centralidade estrutural e influencia/poder nos processos de grupo.

Para Freeman (1977, cit in Kazerani, 2009) a centralidade é definida de acordo com o grau em que um ponto se situa no caminho mais curto na rede, e tem, por isso um controlo da comunicação.

Para Porta et al (2006, cit in Kazerani, 2009), numa rede social os indivíduos são identificados como nós e as suas ligações como arestas. Nas redes espaciais, como por exemplo redes de ruas, intersecções de ruas, povoações, são transformados em nós, e as suas ligações lineares (segmentos de ruas, ou ruas) são transformadas em arestas. (Crucitti et al., 2006, cit in Kazerani, 2009)

4.3 Medida de centralidade betweenness

Para Kazerani (2009) a medida de centralidade betweenness caracteriza em quantos caminhos mais curtos há um nó. Para este autor a centralidade betweenness pode ser útil para estudar a relevância e a relação da centralidade nas redes físicas e características dos trajetos. Outros autores como Ausiello et al (2013) ou Freeman (1977, cit in Ausiello et al, 2013) também definem esta medida com o número de caminhos mais curtos do grafo. Para Porta e Scheurer (2006) betweenness centrality é definida como a proporção média de caminhos entre quaisquer dois nós dentro da rede que atravessam o nó em questão, em relação ao número total de caminhos possíveis entre estes dois nós.

De acordo com a fórmula da Figura 30, para um determinado nó $v_i \in G$, a centralidade entre as inter-relações de v_i é

$$bc(v_i) = \sum_{j,k} \frac{\sigma_{v_j, v_k}(v_i)}{\sigma_{v_j, v_k}}$$

Figura 30: fórmula da medida de centralidade betweenness

Fonte: Ausiello et al (2013)

onde $\sigma_{v_j, v_k}(v_i)$ é o número de caminhos mais curtos entre v_j e v_k que passa por v_i enquanto σ_{v_j, v_k} é o número total dos caminhos mais curtos entre v_j e v_k . (Ausiello, 2013)

4.4 Medida de centralidade degree

Para Porta e Scheurer (2006) a medida de centralidade degree centrality é definido como a proporção de nós diretamente ligados ao nó em questão em relação à totalidade de nós dentro da rede. Para Bolland (1988) e Marvin (1954) cit in Zhang (2017) num grafo a centralidade do grau é medida pela quantidade total de ligações diretas com os outros nós.

4.5. Medida de centralidade closeness

Para Wasserman, 1994 e Beauchamp, (1965 cit in Zhang e Lou 2017) o closeness centrality mede as distâncias de soma de um nó para os outros nós. Se o comprimento dos caminhos mais curtos do nó N com outros nós da rede for menor, então o nó N tem uma grande centralidade de proximidade. Para Porta e Scheurer (2006) closeness centrality é a distância média inversa, ou obstáculo, entre um nó e todos os nós dentro da rede. Este índice métrico pode ser adotado para as redes de transporte público, utilizando um obstáculo. Para Wang e Tang (2015) o closeness centrality é uma medida de centralidade que quantifica a localização central de um nó, dentro de uma rede, de acordo com as suas distâncias totais em relação a todos os outros nós.

4.6. Medida de centralidade eigenvector

De acordo com Ruhnau (2000) a centralidade de um nó depende do número dos seus nós adjacentes, mas também do seu valor de centralidade. Bihari (2015) considera que enquanto degree centrality é simplesmente contar o número total de nós que estão ligados, a centralidade eigenvector não considera só o número total de nós adjacentes, mas também a importância do nó adjacente. Na centralidade eigenvector, todas as ligações não são iguais. As ligações são importantes mas também a pontuação (centralidade eigenvector) do nó ligado. Este tipo de centralidade é calculada avaliando o quão bem ligado um nó está às partes da rede com maior conectividade. Os nós com altas pontuações eigenvector têm muitas ligações, e, por sua vez, as suas ligações têm muitas outras ligações, até ao fim da rede. A centralidade eigenvector é simplesmente dominante da matriz eigenvector da matriz adjacente. Philip Bonacich propôs a centralidade eigenvector em 1987 e a PageRank do Google é uma variante da mesma. (Bihari, 2015)

No anexo 2 consta mais informação sobre a teoria dos grafos: O que é um grafo; Tipos de grafos; Representação matricial de um grafo; Propriedades de ordem superior de um grafo; Medidas topológicas e propriedades dos grafos; Medidas de conectividade e ligação; Medidas de centralidade acessibilidade: Análise de redes pelo cálculo de matrizes; Problemas e limitações dos grafos.

5 MODELO LOCATION-ALOCATION

5.1 Breve histórico dos modelos de localização

Alfred Weber foi um dos precursores da teoria da localização. Parte do princípio que as empresas escolhem uma localização que minimize os custos. Em 1909 estudou um problema da localização de um armazém, que visava minimizar a distância a pé dos clientes até à instalação, que foi o ponto de partida para o estudo sobre este tema. Com o trabalho do matemático Seifollah Louis Hakimi, de 1964, *Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph*, foi apresentada a versão em rede do problema, em que os clientes e a instalação estão localizados numa rede, que representa um sistema de transporte com arcos que correspondem às estradas e os nós aos cruzamentos.

O interesse sobre o tema, que pode resolver problemas do mundo real, suscitou diversos estudos. A título de exemplo citamos alguns autores: Francis e White (1974), Lea (1978), Handler e Mirchandani (1979), Francis, McGinnis e White (1983), Tansel, Francis e Lowe (1983), Daskin (1985), Domschke e Drexl (1985), Brandeau e Chiu (1989), Mirchandani e Francis (1990), Hamacher e Nickel (1998) e Francis (1997).

Os problemas de Localização-Alocação foi proposto por Cooper em 1963, e alargado a uma rede ponderada por Hakimi em 1964. Badri, em 1999, apresentou o problema localização-alocação da rede e vários modelos. Para a resolução destes modelos, foram concebidos numerosos algoritmos, tais como algoritmos de derivação por Kuenne e Soland, em 1972, simulação probabilística por Murray e Church, em 1996, e pesquisa Tabu por Brimberg e Mladenovic, em 1996, e Ohlem ullaer, em 1997, e P-Median por Hansen, em 1998.

Foram também criados algoritmos híbridos, tais como o baseado em reconhecimento simulado e método de descida aleatória, por Ernst e Krishnamoorthy, em 1999. Outro algoritmo é o que utiliza o método de relaxamento de Lagrange e o algoritmo genético de Gong. Brimberg melhorou os atuais algoritmos, que obtêm melhores resultados quando o número de instalações a localizar é grande.

Investigadores como Love e Moris (1975), Anandand Knott (1986) e Badri (1999) usaram abordagens exatas, com técnicas como a programação linear, a programação inteira e a otimização multiobjetivo. Apesar destes métodos obterem a correta resposta do problema, a escala de cálculo e o conteúdo do armazenamento será aumentado não linearmente, com a adição de parâmetros no modelo. Autores como Charnes, Brimberg e Bischoff e Dächert tentaram resolver o problema com recurso a métodos heurísticos ou meta-heurísticos.

Os modelos de localização são aplicados em várias áreas, desde a otimização de rotas com base em análises geométricas, até modelos para a otimização de custos e aumento de produtividade nas empresas, e auxílio quanto às decisões de caráter logístico. Klose & Drexl (2005, cit in Matsuo, 2014) dão exemplos da aplicação destes modelos que permitem reduzir as distâncias ou diminuir custos ou prazos de entrega: alocação de instalações, tais como fábricas ou centros de distribuição, instituições governamentais, hospitais entre outros.

De acordo com Smith et al. (2009, cit in Matsuo, 2014) existem diferentes períodos na evolução dos problemas de localização:

1. Num primeiro período, encontramos Pierre de Fermat (1601-1665) com o cálculo da distância de um ponto equidistante localizado dentro de um plano triangular. Alfred Weber inicia a era moderna de problemas de análise de localização (minimização das distâncias euclidianas para um conjunto de dados localizado num plano).
2. A partir das décadas de 60 e 70 do século XX os problemas de localização começam a dedicar-se aos modelos de p-mediana, p-centro, cobertura, localização simples de plantas e problemas de atribuição quadrática e as suas extensões. Neste período aplicou-se a teoria da localização ao desenvolvimento da economia. É de citar os trabalhos de Isard, de 1969, e os de Tansel, Francis e Lowe, de 1983.
3. A partir dos anos 80 do século XX, cresce acentuadamente a pesquisas sobre análise de localização. Áreas de pesquisa operacional, administração, economia, engenharia e geografia participam na criação de novos modelos e na sua aplicação para a teoria de localização.

5.2 *O que é a localização-alocação*

O problema da localização-alocação é conseguir localizar um conjunto de novas instalações para que o custo de transporte das instalações para os clientes seja minimizado, assim como um número ótimo de instalações seja colocado numa área de interesse para satisfazer a procura do cliente. Este problema ocorre em vários cenários relacionados com, por exemplo, a localização de armazéns, centros de distribuição, centros de comunicação e instalações de produção, escolas, estações de transporte público, hospitais, bibliotecas, armazéns de farmácias, estações de bombeiros.

Nas empresas a resolução do problema localização-alocação revela-se importante na conceção das cadeias de abastecimento. A melhor decisão tem impacto é uma vantagem competitiva nos mercados. Uma tomada de decisão eficiente colabora na qualidade do serviço para os clientes, diminuição dos prazos de entrega, entre outros aspetos, afetando positivamente as operações comerciais e a sua rentabilidade.

O algoritmo do Localização-Alocação tem origem no modelo de programação linear, que foi criado para saber quais os locais ideais para novas instalações. Utiliza algoritmos integrados num sistema de informação geográfica para obter a melhor localização, para instalações que melhor servem um conjunto de pontos de procura. Tem em conta quais os melhores locais de oferta e delimita os locais de oferta de cada ponto ou pontos de procura que vão ser atribuídos. Tem também em conta, o número de instalações disponíveis, o custo de deslocação (em minutos ou em quilómetros) e a impedância máxima de uma instalação de um ponto, de forma a obter mais instalações ou só uma.

De acordo com Cooper (1963) e Krarup & Pruzan (1983), resolver um problema de Localização-Alocação implica saber quantas instalações devem ser abertas, quais os locais candidatos das instalações abertas devem ser localizadas e cada instalação deve cobrir os nós de procura, minimizando os custos (transporte e localização).

Cooper (1963) categorizou o problema das Localização-Alocação em duas classes diferentes: Localização-Alocação Incapacitado e Localização-Alocação Capacitada. O problema de Localização-Alocação Incapacitado é estudado por vários investigadores,

tais como Logendran e Terrell (1988) e Brimberg et al. (2000). Neste caso a capacidade das instalações é ilimitada e os clientes devem ser fornecidos pela instalação mais próxima. A Localização-Alocação Capacitada foi estudada por vários investigadores, incluindo Ernst e Krishnamoorthy (1999), Barreto et al. (2007) e Zhou e Liu (2007). Neste caso cada instalação cobre uma quantidade limitada de procura e deve ser determinada quanta procura de cada nó deve ser coberta por cada instalação.

5.3 Os modelos de localização

Existe um conjunto de análises de localização suportadas em SIG. Os avanços da tecnologia GIS e a facilidade de aplicação de interfaces “point-and-click”, permite que a aplicação de modelos de localização seja comum e generalizada. É extensa a quantidade de modelos de localização que apoiam vários contextos de análise, planeamento, gestão e tomada de decisões. Os modelos de localização podem ser aplicados em espaço contínuo, espaço discreto, cobertura, mediana, centro, dispersão, obstáculo, instalação única, instalações múltiplas, etc.

Um exemplo da aplicação dos modelos de localização são as instalações de emergência, como por exemplo a resposta a incêndios e ambulâncias (ReVelle, 1991, Murray, 2013, Church e Li 2016, cit in Murray et al., 2019). Quando as instalações são estações de bombeiros, pretende-se o menor número de estações que sejam capazes de responder a qualquer chamada de serviço de emergência dentro de um padrão de 6 minutos. Este tempo de condução de 6 minutos ou menos é a capacidade de cobrir uma residência ou um bairro pelo posto de bombeiros. Igreja e Murray (2018, cit in Murray et al., 2019). apresentam outras situações que refletem padrões de cobertura, tais como comunicação por telemóvel, acesso ao trânsito, presença de espécies na conceção de reservas naturais, entrega de correio, deteção de sensores, busca e salvamento, iluminação...

Daskin (2008, cit in Matsuo, 2014) classificou os modelos existentes, baseado na área e na classe à qual os modelos são aplicados. A figura 31 apresenta a separação das classes desses modelos:

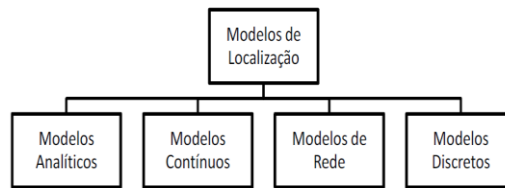


Figura 31: Classificação dos modelos de localização

Fonte: Adaptado de Daskin (2008, cit in Matsuo, 2014)

Segundo Daskin são quatro classes principais de modelos de localização:

1. Modelos analíticos: assumem que a procura é distribuída sobre uma área de serviço e as instalações são alocadas dentro dessa área. Estes modelos consideram que a procura é distribuída continuamente ao longo da região de serviço e que as instalações podem ser localizadas em qualquer lugar dentro da região.
2. Modelos contínuos: assumem que a procura acontece apenas num ponto discreto. Esses modelos são resolvidos com procedimentos numéricos iterativos como o algoritmo de Weiszfeld (1936, cit in Matsuo, 2014).
3. Modelos de rede: assumem que a procura surge e as instalações podem ser alocadas somente numa rede composta de nós e arcos. De acordo com este modelo pretende-se encontrar algoritmos com tempos polinomiais, frequentemente para problemas em rede especialmente estruturados, como por exemplo árvores.
4. Modelos de localização discreta: as procuras surgem nos nós e as instalações a serem localizadas são limitadas a um conjunto finito de nós candidatos.

Nos modelos anteriores pode haver ou não uma distância métrica incorporada. As distâncias ou custos entre pares de nós podem ser arbitrárias, embora geralmente sigam uma regra (e.g. distância Euclidiana ou Manhattan). A Figura 32 apresenta uma subdivisão do modelo de localização discreta em três grandes áreas: modelos baseados em cobertura, modelos baseados em mediana e outros modelos.

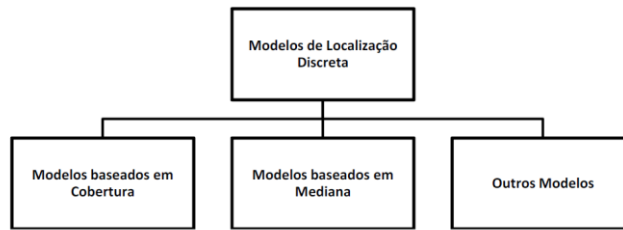


Figura 32: Classificação dos modelos de localização discreta

Fonte: Adaptado de Daskin (2008, cit in Matsuo, 2014)

Esses tipos de modelos de localização discreta podem ser caracterizados conforme o que se segue:

1. Modelos baseados em Cobertura: há uma certa distância ou tempo crítico de cobertura, onde as procuras precisam ser servidas, se elas forem consideradas cobertas ou adequadamente servidas. Estes modelos são tipicamente usados no planeamento de serviços de emergência. Dentro da classe dos modelos de cobertura existem três modelos representativos: o modelo de conjunto de cobertura, o modelo de cobertura máxima e o modelo p-centro.
2. Modelos baseados em Mediana: minimizam a procura ponderada da distância média entre um nó de procura e a estação atribuída. Estes modelos são tipicamente usados no contexto do planeamento de distribuição em que é muito importante minimizar o custo total de saída ou entrada. Dois modelos são muito representativos dessa categoria: o modelo de p-mediana e o problema de localização com custos fixos de *hubs* não capacitados.
3. Outros modelos: o modelo de p-dispersão procura maximizar a distância mínima entre qualquer par de instalações. Este modelo também pode ser utilizado para saber a localização de armas (e.g. armas nucleares), que permita minimizar a probabilidade da destruição de qualquer esconderijo.

5.4 Classificação do problema de localização-alocação

As instalações são caracterizadas pelo seu número, tipo e custos... Outras propriedades das instalações são, por exemplo, o lucro, a capacidade, a gama de atração dos clientes para as instalações, e o tipo de serviço prestado.

No caso do número de novas instalações, podemos ter a situação mais simples (problema de localizar apenas uma instalação), ou o problema de múltiplas instalações (localizar simultaneamente mais do que uma instalação). Quanto ao tipo de uma instalação, no caso mais simples, todas as instalações são idênticas em relação ao seu tamanho e ao tipo de serviço que oferecem. Também se podem classificar os modelos de localização-alocação por tipos de serviço único e multisserviços, tendo em conta se as instalações podem fornecer apenas um ou muitos serviços. Também é importante considerar se as instalações podem fornecer um infinito de procura ou se a sua capacidade de produção e oferta é limitada. Neste caso pode-se classificar os problemas em não-capacitados e capacitados.

O conjunto de localizações elegíveis podem ser representadas de três formas: discreta, contínua, e em rede. Nos modelos de espaço discreto, também referidos como modelos de seleção de sítios, tem-se conhecimento a priori dos candidatos aos sítios. Nos modelos de espaço contínuo, também referidos como modelos de geração de sítios, a criação de sítios apropriados é deixada à disposição do modelo em questão.

6. APLICAÇÃO DA TEORIA DOS GRAFOS (MODELO GEO_GRAPH)

De acordo com a Tabela 10 e as Figuras 33 e 34 verificamos que as estações da rede do Metropolitano com maior degree centrality, de 0,08, são as estações Saldanha, Marquês do Pombal e Alameda, pois são os nós mais centrais. Ao invés, as estações do Rato, Telheiras, Santa Apolónia, Aeroporto, Cais do Sodré, Reboleira e Odivelas, têm um degree centrality mais baixo, de 0,02, pois os nós das estações são menos centrais. As restantes estações apresentam um degree centrality intermédio de 0,04.

Rede Metro Degree Centrality		
Ordem	Estações	Degree centrality
14	Rato	0,02
23	Telheiras	0,02
29	Santa Apolónia	0,02
34	Aeroporto	0,02
41	Cais do Sodré	0,02
43	Reboleira	0,02
48	Odivelas	0,02
0	Chelas	0,04
1	Alvalade	0,04
2	Intendente	0,04
3	Alto dos Moinhos	0,04
5	Restauradores	0,04
6	Martim Moniz	0,04
7	Praça de Espanha	0,04
8	Cabo Ruivo	0,04
9	Colégio Militar	0,04
10	Campo Pequeno	0,04
11	Olivais	0,04
12	Parque	0,04
13	Baixa-Chiado	0,04
15	Ameixoeira	0,04
16	Entrecampos	0,04
17	Rossio	0,04
18	Arroios	0,04
19	Olaias	0,04

20	Avenida	0,04
21	Quinta das Conchas	0,04
22	Anjos	0,04
24	Bela Vista	0,04
25	Jardim Zoológico	0,04
27	Campo Grande	0,04
28	Terreiro do Paço	0,04
30	Moscavide	0,04
31	Encarnação	0,04
32	Lumiar	0,04
33	Oriente	0,04
35	Picoas	0,04
36	Laranjeiras	0,04
37	Carnide	0,04
38	Cidade Universitária	0,04
39	Roma	0,04
40	Areeiro	0,04
45	Baixa-Chiado	0,04
46	Campo Grande	0,04
47	Senhor Roubado	0,04
49	Carnide_teste	0,04
50	Carnide_teste	0,04
4	São Sebastião	0,06
26	Saldanha	0,08
42	Alameda	0,08
44	Marquês de Pombal	0,08

Tabela 10: Degree centrality da rede Metropolitano

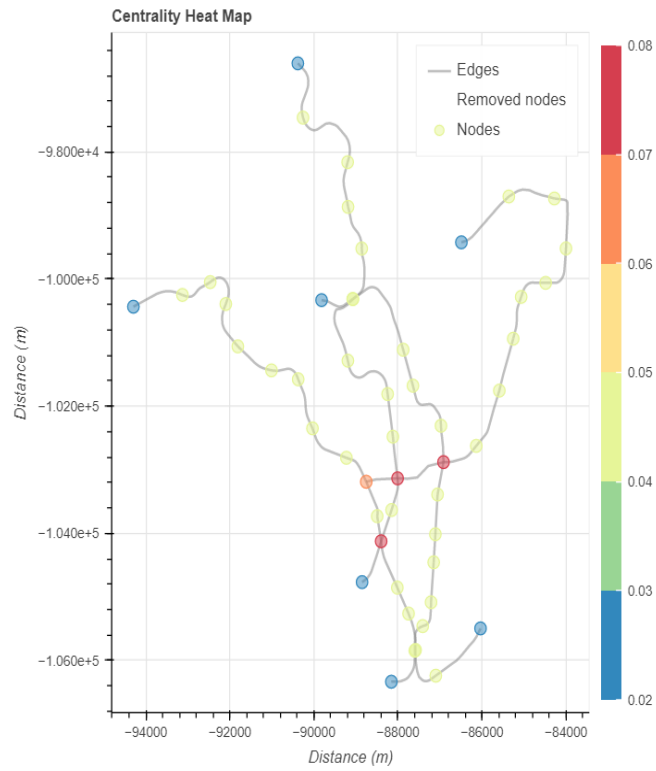


Figura 33: Grafo planar da rede do Metropolitano, medida de centralidade degree centrality

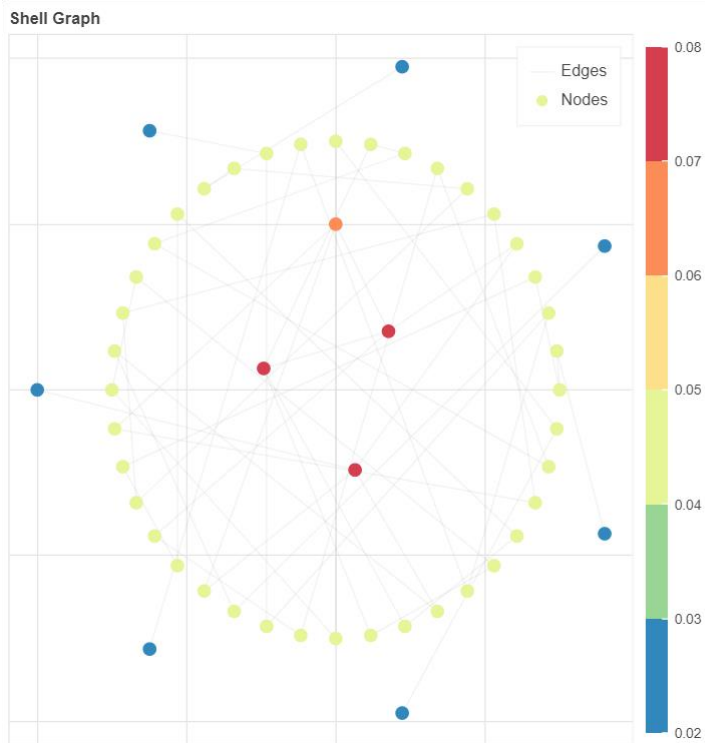


Figura 34: Shell graph medida de centralidade Degree

De acordo com a Tabela 11 e as Figuras 35 e 36 verificamos que as estações de metro com maior closeness centrality são as que têm o comprimento médio mais curto entre o nó e todos os outros nós do grafo, com valores entre 0,14 e 0,19: Roma, Entrecampos, Jardim Zoológico, Anjos, Bela Vista, Marquês de Pombal, Parque, Praça de Espanha Areeiro, Campo Pequeno, Arroios, Picoas, Olaias, São Sebastião, Alameda e Saldanha. Ao invés, as estações de Telheiras, Odivelas, Campo Grande, Senhor Roubado, Ameixoeira, Quinta das Conchas, Lumiar, Reboleira, Aeroporto, Santa Apolónia, Encarnação, Carnide, Terreiro do Paço, Moscavide, Cais do Sodré, Carnide e Baixa-Chiado apresentam um comprimento médio maior entre o nó e todos os outros nós do grafo, com um valor de closeness centrality entre 0,03 e 0,09. As restantes estações, com valores de closeness centrality entre 0,10 e 0,12, apresentam uma distância média entre o nó e todos os outros nós do grafo.

Rede de Metro - Closeness		
Ordem	Nome	Centralidade
23	Telheiras	0,03
48	Odivelas	0,03
46	Campo Grande	0,05
47	Senhor Roubado	0,05
15	Ameixoeira	0,06
21	Quinta das Conchas	0,06
32	Lumiar	0,06
43	Reboleira	0,07
34	Aeroporto	0,07
29	Santa Apolónia	0,08
50	Carnide_teste	0,08
31	Encarnação	0,08
49	Carnide_teste	0,08
28	Terreiro do Paço	0,08
30	Moscavide	0,09
41	Cais do Sodré	0,09
37	Carnide	0,09
45	Baixa-Chiado	0,09
33	Oriente	0,10
9	Colégio Militar	0,10
13	Baixa-Chiado	0,10
17	Rossio	0,10

8	Cabo Ruivo	0,11
3	Alto dos Moinhos	0,11
6	Martim Moniz	0,11
5	Restauradores	0,11
27	Campo Grande	0,11
11	Olivais	0,12
1	Alvalade	0,12
38	Cidade Universitária	0,12
36	Laranjeiras	0,12
2	Intendente	0,13
14	Rato	0,13
0	Chelas	0,13
20	Avenida	0,13
39	Roma	0,14
16	Entrecampos	0,14
25	Jardim Zoológico	0,14
22	Anjos	0,14
24	Bela Vista	0,15
44	Marquês de Pombal	0,15
12	Parque	0,15
7	Praça de Espanha	0,15
40	Areeiro	0,16
10	Campo Pequeno	0,16
18	Arroios	0,16
35	Picoas	0,16
19	Olaias	0,16
4	São Sebastião	0,17
42	Alameda	0,18
26	Saldanha	0,19

Tabela 11: Medida de centralidade Closeness centrality

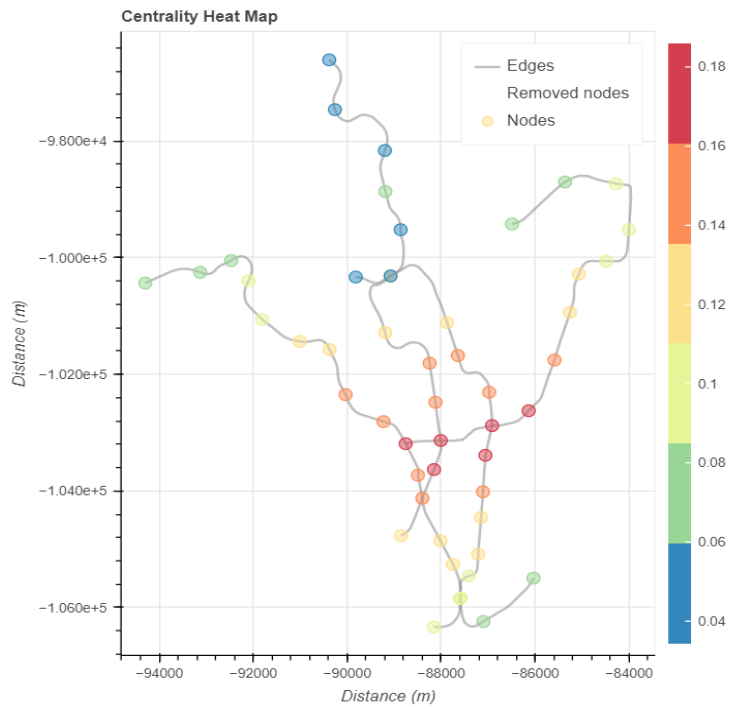


Figura 35: Grafo planar da rede do Metropolitano, medida de centralidade Closeness centrality

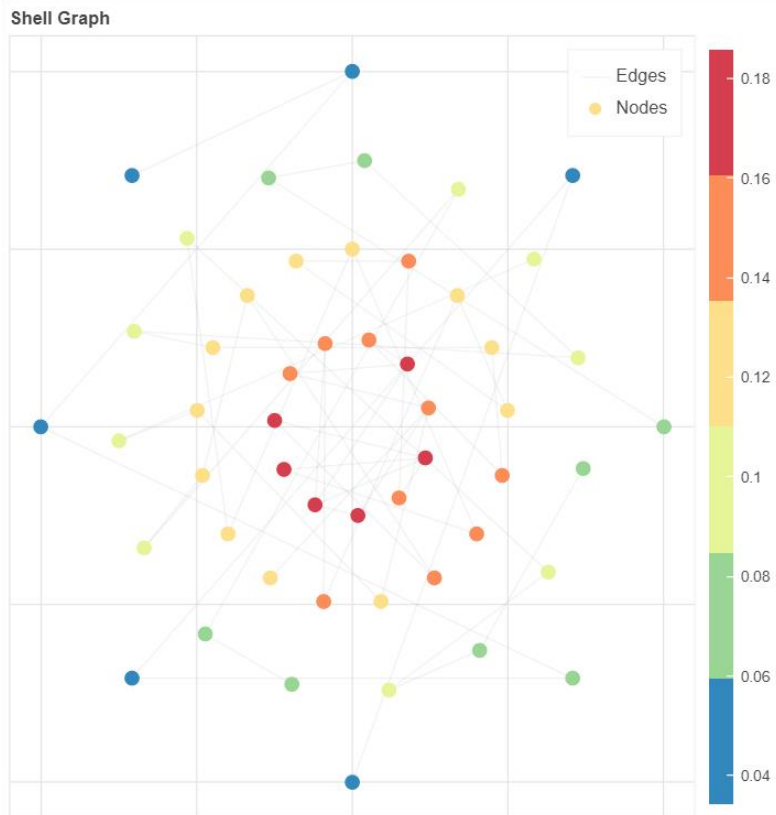


Figura 36: Medida de centralidade Closeness

De acordo com a Tabela 12 e as Figuras 37 e 38 verificamos que as estações com maior betweenness, com valores entre 120 e 574, são, Rossio, Avenida, Oriente, Carnide, Martim Moniz, Cabo Ruivo, Colégio Militar, Picoas, Intendente, Alto dos Moinhos, Olivais, Marquês de Pombal, Chelas, Anjos, Laranjeiras, Arroios, Bela Vista, Jardim Zoológico, Praça de Espanha, Olaias, São Sebastião, Saldanha e Alameda, pois são os nós que atuam mais vezes como pontes ao longo do caminho mais curto entre os nós e todos os outros nós no grafo. Por outro lado, as estações do Rato, Telheiras, Santa Apolónia, Aeroporto, Cais do Sodré, Reboleira, Odivelas, Campo Grande, Senhor Roubado, Campo Grande, Ameixoeira, Quinta das Conchas, Lumiar, Alvalade, Cidade Universitária, Baixa-Chiado, Terreiro do Paço, Encarnação, Carnide, Roma, Entrecampos, Parque, Restauradores, Moscavide, Baixa-Chiado, Areeiro e Campo Pequeno, apresentam um betweenness mais baixo, entre 0 e 94, pois os nós que atuam menos vezes como pontes ao longo do caminho mais curto entre os nós e todos os outros nós no grafo.

Rede Metro - Betweenness		
Ordem	Estação	Centralidade
14	Rato	0
23	Telheiras	0
29	Santa Apolónia	0
34	Aeroporto	0
41	Cais do Sodré	0
43	Reboleira	0
48	Odivelas	0
46	Campo Grande	5
47	Senhor Roubado	5
27	Campo Grande	6
15	Ameixoeira	8
21	Quinta das Conchas	8
32	Lumiar	9
1	Alvalade	23
38	Cidade Universitária	24
13	Baixa-Chiado	42
28	Terreiro do Paço	42
31	Encarnação	42
50	Carnide_teste	42
39	Roma	58
16	Entrecampos	59

12	Parque	60
5	Restauradores	82
30	Moscavide	82
45	Baixa-Chiado	82
49	Carnide_teste	82
40	Areeiro	93
10	Campo Pequeno	94
17	Rossio	120
20	Avenida	120
33	Oriente	120
37	Carnide	120
6	Martim Moniz	156
8	Cabo Ruivo	156
9	Colégio Militar	156
35	Picoas	156
2	Intendente	190
3	Alto dos Moinhos	190
11	Olivais	190
44	Marquês de Pombal	195
0	Chelas	222
22	Anjos	222
36	Laranjeiras	222
18	Arroios	252
24	Bela Vista	252
25	Jardim Zoológico	252
7	Praça de Espanha	280
19	Olaias	280
4	São Sebastião	332
26	Saldanha	517
42	Alameda	574

Tabela 12: Medida de centralidade Betweenness

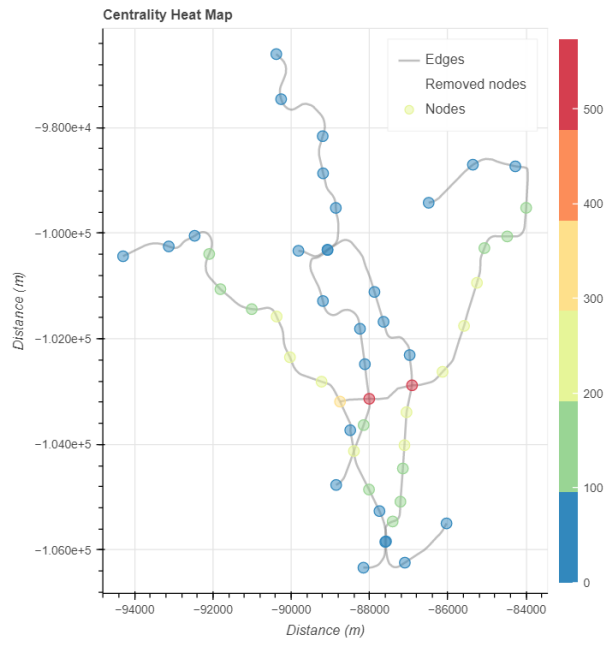


Figura 37: Grafo planar da rede do Metropolitano, medida de centralidade betweeness

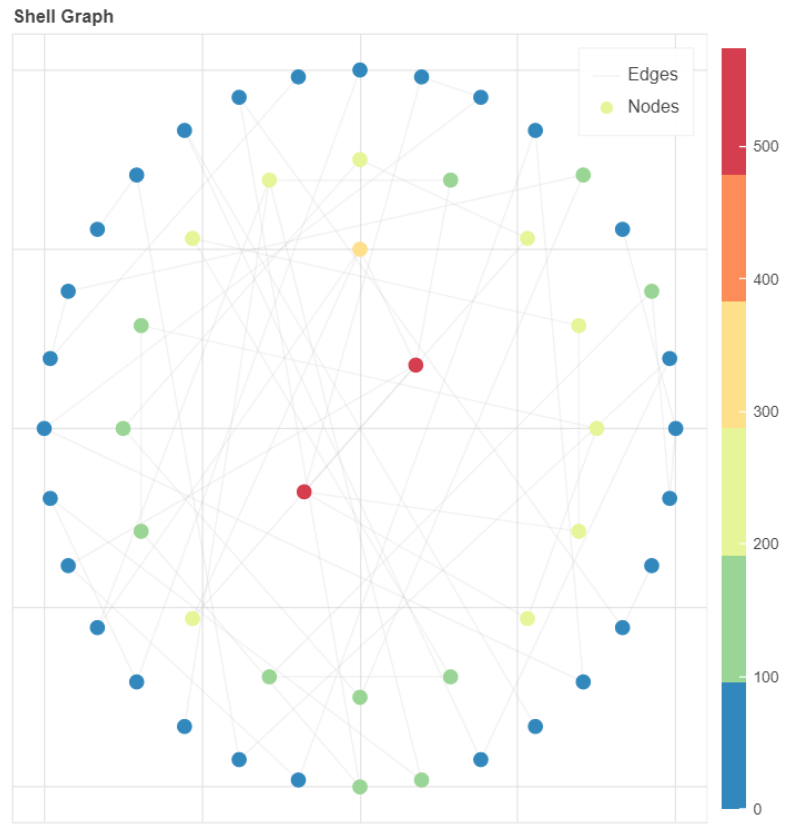


Figura 38: Medida de centralidade Betweeness

A medida de centralidade eigenvector tem em consideração o número de ligações aos nós (estações), ou seja o grau de conexões entre os nós, mas também a centralidade dos vértices a que está conectado. De acordo com a Tabela 13 e as Figuras 39 e 40 verifica-se que há mais ligações diretas e maior influência dos nós na rede do Metropolitano são: Baixa-Chiado, Laranjeiras, Intendente, Chelas, Campo Grande, Alvalade, Cidade Universitária, Restauradores, Jardim Zoológico, Anjos, Bela Vista, Roma, Entrecampos, Rato, Avenida, Praça de Espanha, Arroios, Olaias, Areeiro, Campo Pequeno, Parque, Picoas, Marquês de Pombal, São Sebastião, Alameda e Saldanha. Por outro lado, as estações com menor ligações diretas e menor influência na rede são, Telheiras, Odivelas, Campo Grande, Senhor Roubado, Ameixoeira, Quinta das Conchas, Lumiar, Reboleira, Aeroporto, Santa Apolónia, Carnide_teste, Encarnação, Carnide_teste, Terreiro do Paço, Moscavide, Carnide, Baixa-Chiado, Oriente, Colégio Militar, Rossio, Cabo Ruivo, Cais do Sodré, Alto dos Moinhos, Martim Moniz e Olivais.

Rede Metro eigenvector		
Ordem	Estações	centrality
23	Telheiras	1,75E-07
48	Odivelas	1,75E-07
46	Campo Grande	3,23E-07
47	Senhor Roubado	3,23E-07
15	Ameixoeira	4,23E-07
21	Quinta das Conchas	4,23E-07
32	Lumiar	4,57E-07
43	Reboleira	0,000263863
34	Aeroporto	0,000307734
29	Santa Apolónia	0,000662097
50	Carnide_teste	0,000690642
31	Encarnação	0,000805291
49	Carnide_teste	0,001543994
28	Terreiro do Paço	0,001733041
30	Moscavide	0,001799822
37	Carnide	0,003351317
45	Baixa-Chiado	0,003874366
33	Oriente	0,00390564
9	Colégio Militar	0,00722978
17	Rossio	0,008409164
8	Cabo Ruivo	0,008423911

41	Cais do Sodré	0,011207657
3	Alto dos Moinhos	0,015576902
6	Martim Moniz	0,018139851
11	Olivais	0,018146872
13	Baixa-Chiado	0,029344534
36	Laranjeiras	0,03355253
2	Intendente	0,039080303
0	Chelas	0,03908367
27	Campo Grande	0,040209721
1	Alvalade	0,049246237
38	Cidade Universitária	0,05602501
5	Restauradores	0,065623171
25	Jardim Zoológico	0,072268281
22	Anjos	0,084172999
24	Bela Vista	0,084174581
39	Roma	0,088719023
16	Entrecampos	0,106468526
14	Rato	0,11740638
20	Avenida	0,142470384
7	Praça de Espanha	0,155655885
18	Arroios	0,181288784
19	Olaias	0,181289417
40	Areeiro	0,183025107
10	Campo Pequeno	0,222720664
12	Parque	0,245459384
35	Picoas	0,299460734
44	Marquês de Pombal	0,307390036
4	São Sebastião	0,335259889
42	Alameda	0,390454028
26	Saldanha	0,476638988

Tabela 13: Medida de centralidade eigenvector

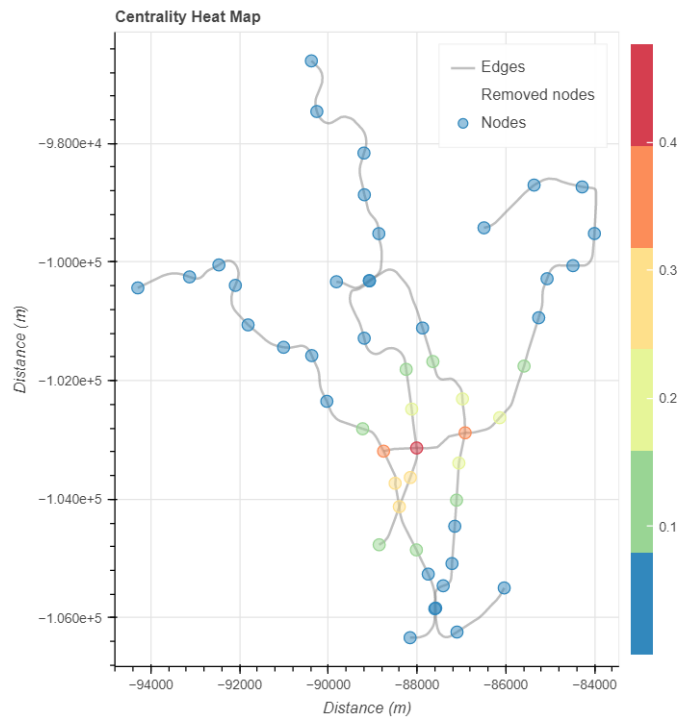


Figura 39: Grafo planar da rede do Metropolitano, medida de centralidade eigenvector

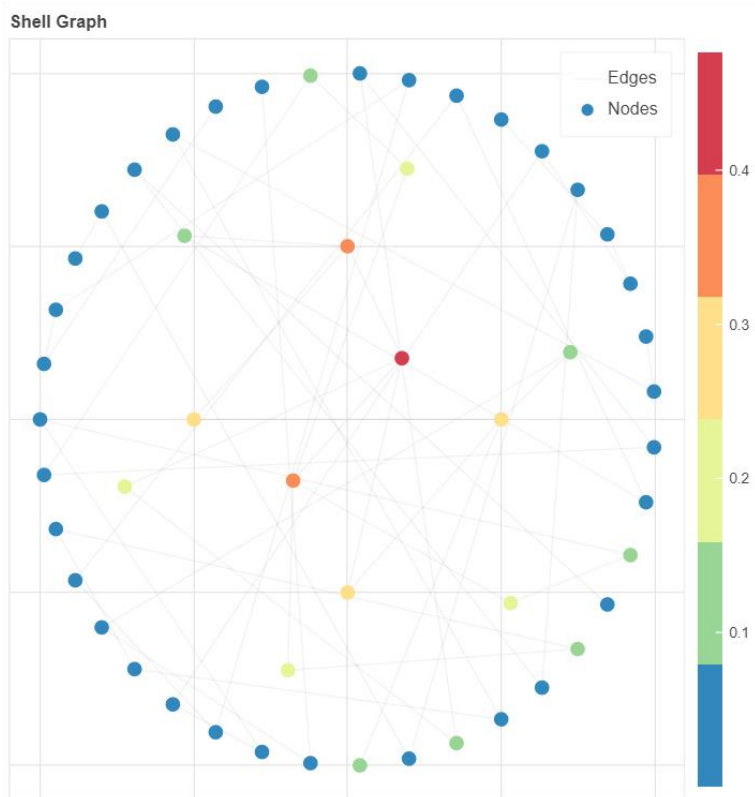


Figura 40: Medida de centralidade Eigenvector

7. APLICAÇÃO DO MODELO LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO

7.1 Estudo da rede de Metropolitano da cidade de Lisboa com o modelo *Localização-Alocação: análise dos problemas tipo*

Problema tipo: Minimize Impedance (P-Median)

Minimize Impedance (P-Median) - As instalações são localizadas de tal forma que a soma de todos os custos ponderados entre os pontos de procura e as instalações da solução é minimizada. Se o total custo ponderado entre as variáveis às estações do Metropolitano o custo de deslocação é mínimo, caso contrário, o total custo ponderado é máximo.

De acordo com a Tabela 14 e o Gráfico 4 podemos verificar que à medida que aumenta a distância-tempo, aumenta a quantidade de indivíduos residentes a trabalharem no município de residência cobertos pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 13064 (7%), a 6 minutos são cobertos 19892 (11%), a 7 minutos são cobertos 27622 (15%), a 8 minutos são cobertos 36500 (19%) e a 9 minutos são cobertos 45360 (24%). Apenas 76% dos 187703 é abrangido pela rede de Metropolitano.

No Gráfico 5 podemos observar que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização entre 5 e 9 minutos é a linha verde, pois a soma do custo ponderado total entre a variável e a estação é mínima, enquanto que a linha de Metropolitano azul tem um maior custo ponderado.

Variável	I. R. a trabalharem no município de residência					
Modo de Transporte	Metropolitano (Dias uteis)					Total
	Metropolitano (feriado)					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	Total
Minimize impedance	13064	19892	27622	36500	45360	187703
Percentagem	7%	11%	15%	19%	24%	76%
Linha amarela	3028	4575	6154	7357	9741	
Linha azul	1401	2491	3386	5044	6422	
Linha Verde	5335	8542	11745	15201	18773	
Linha Vermelha	3300	4284	6337	8898	10424	

Tabela 14: Quantidade de I.R.T.M.R abrangidos pela rede Metropolitana e por linha

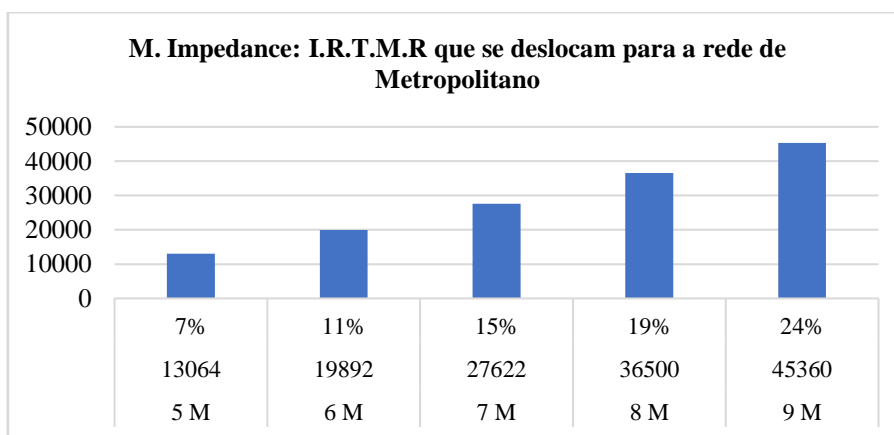


Gráfico 4: M. Impedance: I.R.T.M.R abrangidos pela rede Metropolitana

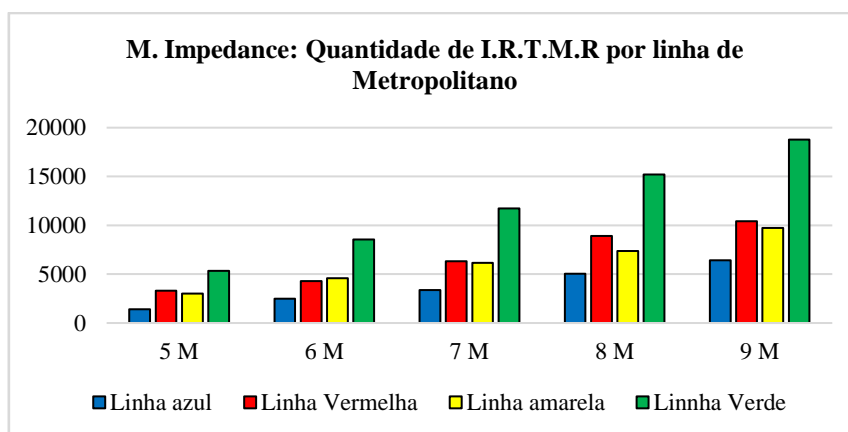


Gráfico 5: M. Impedance: Quantidade de I.R.T.M.R por linha de Metropolitana

De acordo com a Tabela 15 e o Gráfico 6 verifica-se que quanto maior a distância-tempo, entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes empregados que são cobertos pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 12396 (5%), a 6 minutos são cobertos 23732 (10%), a 7 minutos são cobertos 33052 (14%), a 8 minutos são cobertos 43691 (19%) e a 9 minutos são cobertos 54435 (24%). Apenas 73% dos 229566 são abrangidos pela rede de Metropolitano.

No Gráfico 7 observamos que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização, entre 5 e 9 minutos é a linha verde, pois a soma do custo ponderado total entre a variável e a estação em estudo é mínima, enquanto a linha azul tem um maior custo ponderado.

Variável	I.R. Empregados					
Modo de Transporte	Metropolitano (Dias uteis)					Total
	Metropolitano (feriado)					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	
Minimize impedance	12396	23732	33052	43691	54345	229566
Percentagem	5%	10%	14%	19%	24%	73%
Linha amarela	528	5527	7434	8854	11743	
Linha azul	1700	3075	4182	6197	7885	
Linha Verde	6200	9979	13781	17853	22092	
Linha Vermelha	3968	5151	7655	10787	12625	

Tabela 15: Quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

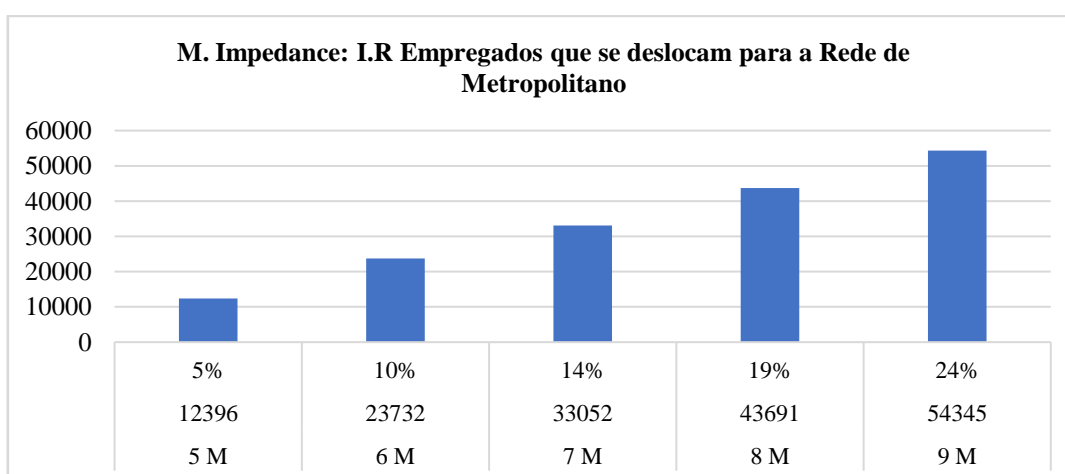


Gráfico 6: M. Impedance - Quantidade I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano

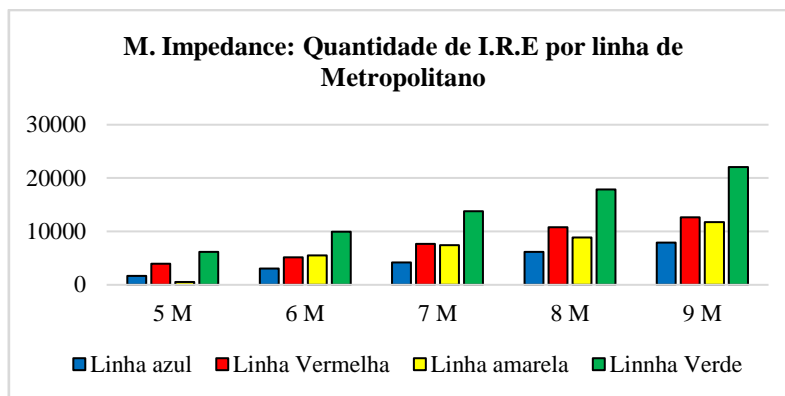


Gráfico 7: M. Impedance: Quantidade de I.R.E por linha de Metropolitano

De acordo com a tabela 16 e o gráfico 8 verifica-se que quanto maior a distância tempo, entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes que são cobertos pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 32530 (6%), a 6 minutos são cobertos 49750 (10%), a 7 minutos são cobertos 69318 (14%), a 8 minutos são cobertos 92205 (18%) e a 9 minutos são cobertos 114017 (23%). Apenas 71% dos 502848 dos indivíduos residentes são cobertos pela rede de Metropolitano.

No gráfico 9 podemos observar que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização entre 5 e 9 minutos é a linha verde pois a soma do custo ponderado total entre a variável e a estação em estudo é mínima, enquanto a linha azul tem um maior custo ponderado.

Variável	Indivíduos Residentes					
	Metropolitano (Dias uteis)					
	Metropolitano (feriado)					Total
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	
Minimize impedance	32530	49750	69318	92205	114017	502848
Porcentagem	6%	10%	14%	18%	23%	71%
Linha amarela	7290	11276	15288	18153	24250	
Linha azul	3411	6029	7922	11789	14290	
Linha Verde	12842	20461	28291	37012	45939	
Linha Vermelha	8987	11984	17817	25251	29538	

Tabela 16: M. Impedance - Quantidade de I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

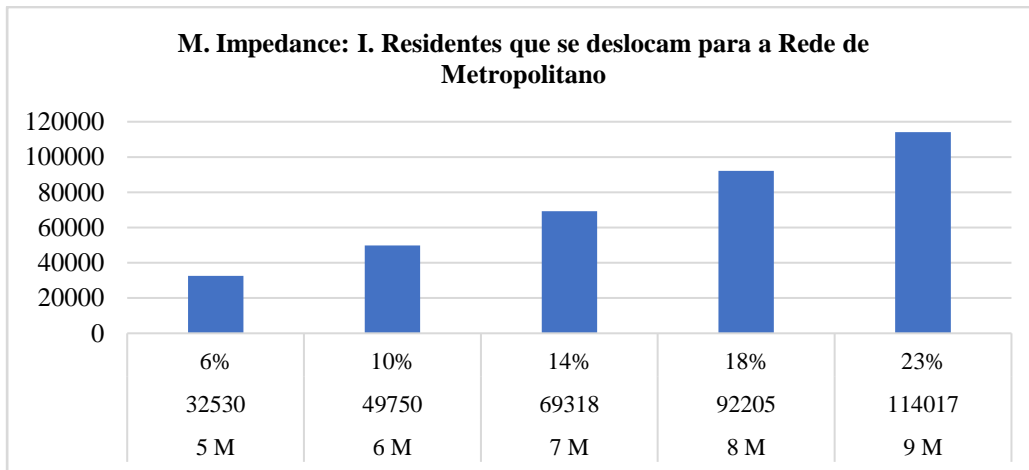


Gráfico 8: M. Impedance - Quantidade I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano

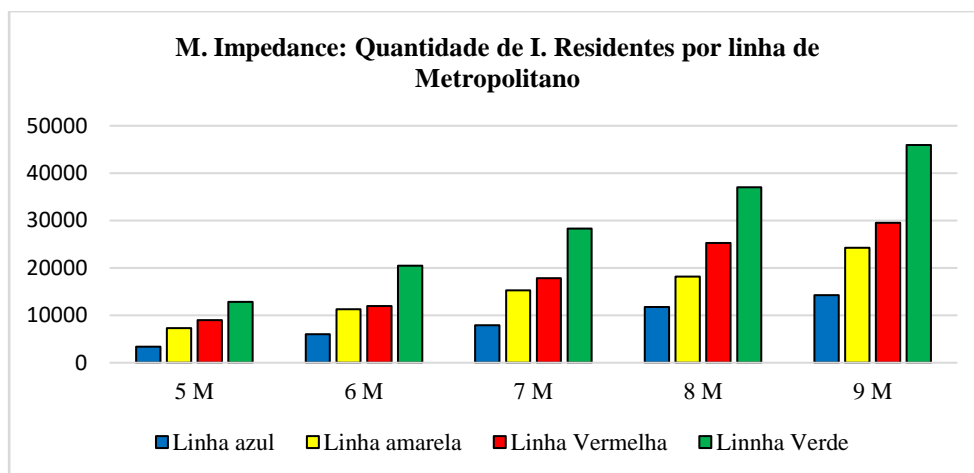


Gráfico 9: M. Impedance quantidade de I. Residentes abrangidos por linha de Metropolitano

A Tabela 17 mostra a quantidade de indivíduos residentes por faixa etária que são cobertos pela rede de Metropolitano. A tabela 18 mostra a quantidade de indivíduos residentes por faixa etária que são abrangidos por linha de Metropolitano. A rede de Metropolitano é menos coberta pelos indivíduos residentes com faixa etária entre os 10 a 13 do que os indivíduos residentes entre os 20 a 64, pois a soma do custo ponderado total entre a estação e a variável em estudo é mínima. A linha do Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde, pois a soma do custo ponderado total entre a variável e a estação é mínima, a linha azul tem um maior custo ponderado.

Na faixa etária de 10 a 13, 65% dos 18006 indivíduos residentes é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1010 (6%), a 6 minutos são cobertos 1572 (9%), a 7 minutos são cobertos 2236 (12%), a 8 minutos são cobertos 3032 (17%), e a 9 minutos são cobertos 3797 (21%).

Na faixa etária de 15 a 19, 69% dos 22932 indivíduos residentes é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1441 (6%), a 6 minutos são cobertos 2218 (10%), a 7 minutos são cobertos 3063 (13%), a 8 minutos são cobertos 4033 (18%) e a 9 minutos são cobertos 5066 (22%).

Na faixa etária de 14 a 19, 69% dos 27178 indivíduos residentes é abrangida pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1691 (6%), a 6 minutos são cobertos 2609 (10%), a 7 minutos são cobertos 3621 (13%) a 8 minutos são cobertos 4782 (18%) e a 9 minutos são cobertos 6001 (22%).

Na faixa etária de 20 a 24, 74% dos 26812 indivíduos residentes é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1886 (7%), a 6 minutos são cobertos 2820 (11%), a 7 minutos são cobertos 3797 (14%), a 8 minutos são cobertos 5125 (19%) e a 9 minutos são cobertos e 6339 (24%).

Na faixa etária 65+, 32% dos 269060 indivíduos residentes é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 7576 (3%), a 6 minutos são cobertos 11845 (4%), a 7 minutos são cobertos 16964 (6%), a 8 minutos são cobertos 22653 (8%) e a 9 minutos são cobertos 27708 (10%).

Na faixa etária de 20 a 64, 72% dos 326375 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 21548 (7%), a 6 minutos são cobertos 32871 (10%), a 7 minutos são cobertos 45425 (14%), a 8 minutos são cobertos 60062 (18%) e a 9 minutos são cobertos 74697 (23%).

(M. Impedance) I. R. por faixa etária que se deslocam para a rede Metropolitano							
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	BGRI	%
10 a 13	1010	1572	2236	3032	3797	18006	65%
	6%	9%	12%	17%	21%		
15 a 19	1441	2218	3063	4033	5066	22932	69%
	6%	10%	13%	18%	22%		
14 a 19	1691	2609	3621	4782	6001	27178	
	6%	10%	13%	18%	22%		
20 a 24	1886	2820	3797	5125	6339	26812	74%
	7%	11%	14%	19%	24%		
Mais 65	7576	11845	16964	22653	27708	269060	32%
	3%	4%	6%	8%	10%		
20 a 64	21548	32871	45425	60062	74697	326375	72%
	7%	10%	14%	18%	23%		

Tabela 17: M. Impedance: I. Residentes que são abrangidos pela rede Metropolitano

I.R. 10 a 13						I.R. 15 a 19					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	266	404	549	648	871	Linha amarela	334	541	708	841	1137
Linha azul	107	201	276	414	506	Linha azul	142	248	332	497	623
Linha Verde	366	593	816	1096	1385	Linha Verde	538	843	1155	1495	1869
Linha Vermelha	271	374	595	874	1035	Linha Vermelha	427	586	868	1200	1437
I.R. 14 a 19						I.R. 20 a 24					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	389	623	824	979	1330	Linha amarela	454	668	884	1060	1413
Linha azul	170	303	405	603	754	Linha azul	182	310	396	627	752
Linha Verde	629	995	1365	1769	2211	Linha Verde	718	1138	1502	1964	2489
Linha Vermelha	503	688	1027	1431	1706	Linha Vermelha	532	704	1015	1474	1685
I.R. Mais 65						I.R. 20 a 64					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	1549	2557	3681	4398	5827	Linha amarela	4793	7227	9703	11553	15544
Linha azul	786	1324	1706	2573	2999	Linha azul	2268	4103	5471	8221	10351
Linha Verde	3283	5239	7444	9783	11887	Linha Verde	8658	13826	19029	24481	30303
Linha Vermelha	1958	2725	4133	5899	6995	Linha Vermelha	5829	7715	11222	15807	18499

Tabela 18: M. Impedance quantidade de i. residentes por faixa etária abrangidos por linha

De acordo com a Tabela 19 e o Gráfico 10 observa-se:

I.r.e.s. primário: apenas 90% dos 685 i.r.e. do setor primário é coberta pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 57 (8%), a 6 minutos são cobertos 88 (13%), a 7 minutos são cobertos 115 (17%), a 8 minutos são cobertos 158 (23%) e a 9 minutos são cobertos 197 (29%).

I.r.e.s. secundário: apenas 68% dos 24195 dos i.r.e. do setor secundário é coberta pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 1521 (6%), a 6 minutos são cobertos 2275 (9%), a 7 minutos são cobertos 3170 (13%), a 8 minutos são cobertos 4260 (18%) e a 9 minutos são cobertos 5251 (22%).

I.r.e.s. terciário: apenas 75% dos 204686 dos i.r.e. do setor terciário é coberta pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 13962 (7%), a 6 minutos são cobertos 21369 (10%), a 7 minutos são cobertos 29767 (15%), a 8 minutos são cobertos 39273 (19%) e a 9 minutos são cobertos 48897 (24%).

Na Tabela 20 verificamos que a linha do Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde, para os i.r.e.s. primário, secundário e terciário, pois a soma do custo ponderado total entre a variável e a estação é mínima. Para os i.r.e.s. primário a linha do Metropolitano com menor potencial de utilização é a linha vermelha pois a soma do custo ponderado total entre a variável e a estação é maior. Para os i.r.e.s. secundário e terciário a linha de Metropolitano com menor potencial de utilização é a linha azul, pois a soma do custo ponderado total entre a variável e a estação é maior.

M. Impedance – Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário que se deslocam para a rede de Metropolitano							
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	BGRI	%
I.R.E.S. Primário	57	88	115	158	197	685	90%
	8%	13%	17%	23%	29%		
I.R.E.S. Secundário	1521	2275	3170	4260	5251	24195	68%
	6%	9%	13%	18%	22%		
I.R.E.S. Terciário	13962	21369	29767	39273	48897	204686	75%
	7%	10%	15%	19%	24%		

Tabela 19: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário abrangidos pela rede

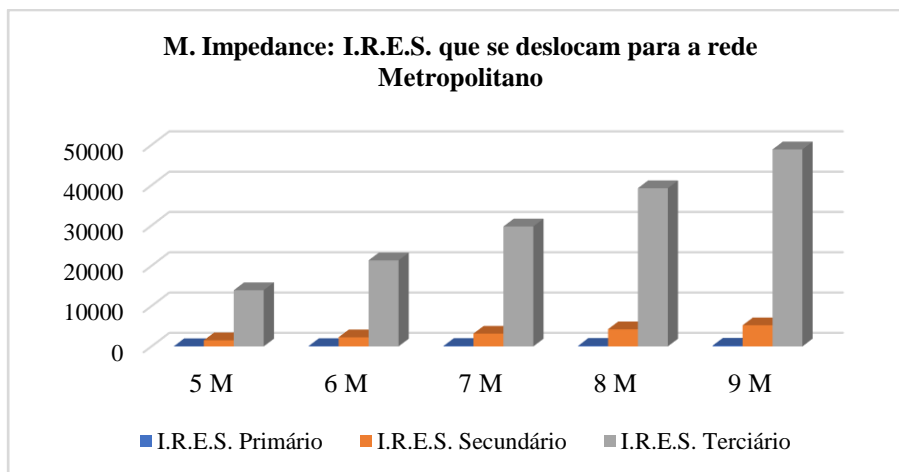


Gráfico 10: M. Impedance: I.R.E.S. abrangidos pela rede Metropolitana

M. Impedance: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário por linha de Metropolitano						
	Linha de Metropolitano	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
I.R.E.S. Primário	Linha amarela	30	40	51	59	83
	Linha azul	10	15	16	19	23
	Linha Verde	12	24	35	59	69
	Linha Vermelha	5	9	13	21	22
I.R.E.S. Secundário	Linha amarela	313	476	640	758	1001
	Linha azul	111	235	324	538	679
	Linha Verde	661	994	1371	1736	2112
	Linha Vermelha	436	570	835	1228	1459
I.R.E.S. Terciário	Linha amarela	3329	5011	6743	8037	10659
	Linha azul	1579	2825	3842	5640	7183
	Linha Verde	5527	8961	12375	16058	19911
	Linha Vermelha	3527	4572	6807	9538	11144

Tabela 20: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário abrangidos por linha de
Metropolitano

Problema tipo: Minimize Facilities

Minimize Facilities - As instalações estão localizadas de forma que tantos pontos de procura quanto possível sejam alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação. O número de instalações necessárias para cobrir os pontos de procura é minimizado.

De acordo com a Tabela 21 e o Gráfico 11, à medida que aumenta a distância tempo até à rede de Metropolitano, aumenta a cobertura da rede Metropolitano para os indivíduos residentes a trabalharem no município de residência. A 5 minutos 13064 (7%) são cobertos para a rede de Metropolitano, a 6 minutos 19892 (11%) são cobertos para a rede de Metropolitano, a 7 minutos 27622 (15%) são cobertos para a rede de Metropolitano, a 8 minutos 36500 (19%) são cobertos para a rede e a 8 minutos 45360 (24%) são cobertos para a rede de Metropolitano. Apenas 76% dos 187703 I.R.T.R.M.R são cobertos pela rede de Metropolitano.

No gráfico 12 verificamos que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde pois existem mais pontos de procura e um maior peso da variável em estudo, do que a linha azul.

Variável	I.R.T.R.M.R					Total
	Metropolitano (Dias uteis)					
Modo de Transporte	Metropolitano (feriado)					
	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	Total
Minimize Facilities	13064	19892	27622	36500	45360	187703
Percentagem	7%	11%	15%	19%	24%	76%
Linha amarela	3028	4575	6154	7357	9741	
Linha azul	1401	2491	3386	5044	6422	
Linha Verde	5335	8542	11745	15201	18773	
Linha Vermelha	3300	4284	6337	8898	10424	

Tabela 21: Quantidade de I.R.T.R.M.R abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

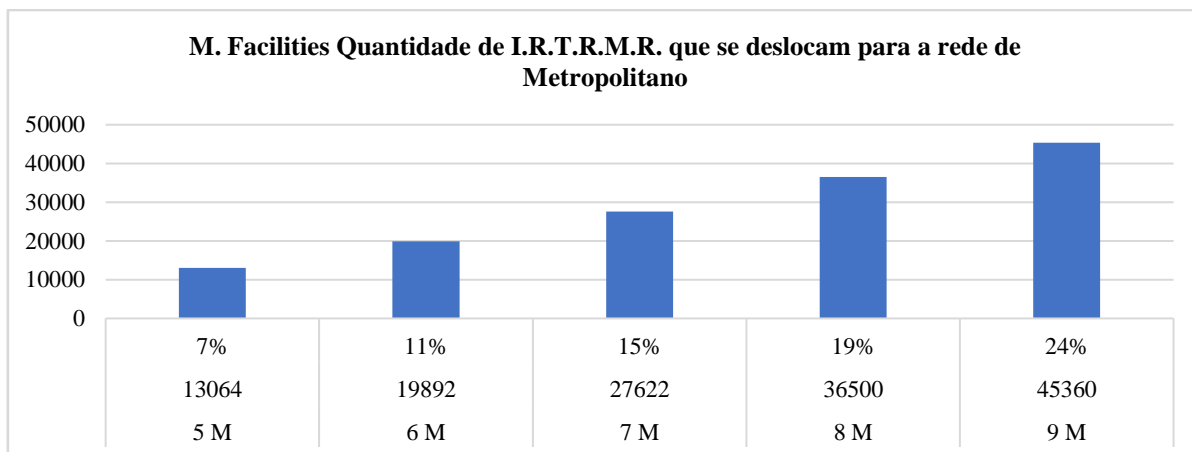


Gráfico 11: M. Facilities Quantidade de I.R.T.R.M.R. abrangidos pela rede Metropolitano

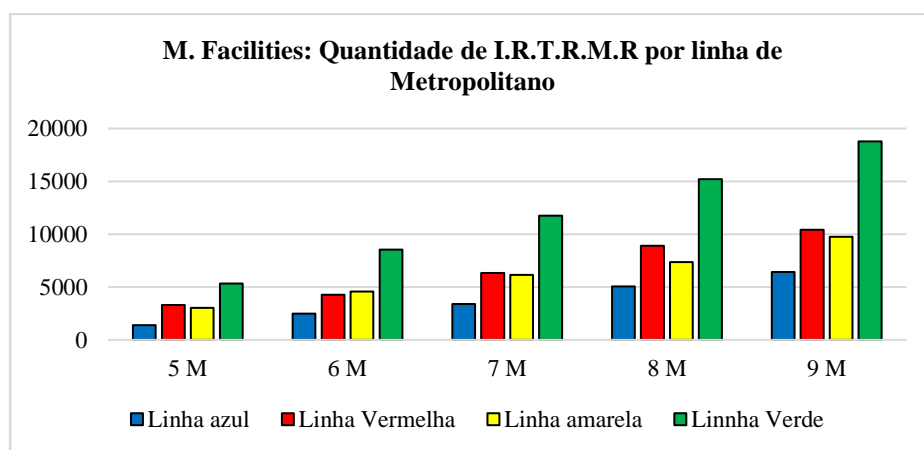


Gráfico 12: M. Facilities: Quantidade de I.R.T.R.M.R por linha de Metropolitano

Na Tabela 22 e no Gráfico 13 podemos concluir que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes empregados que são cobertos pela rede de Metropolitano.

De acordo com o Gráfico 14 verificamos que a 5 minutos são cobertos 12396 (5%), a 6 minutos são cobertos 23732 (10%), a 7 minutos são cobertos 33052 (14%), a 8 minutos são cobertos 43691 (19%) e a 9 minutos são cobertos 54345 (24%). A linha de Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde pois existe mais pontos de procura e um maior peso da variável em estudo, do que na linha azul.

Variável	Indivíduos residentes empregados					
	Metropolitano (Dias uteis)					
Modo de Transporte				Metropolitano (feriado)		
	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Minimize Facilities	12396	23732	33052	43691	54345	229566
Porcentagem	5%	10%	14%	19%	24%	73%
Linha amarela	528	5527	7434	8854	11743	
Linha azul	1700	3075	4182	6197	7885	
Linha Verde	6200	9979	13781	17853	22092	
Linha Vermelha	3968	5151	7655	10787	12625	

Tabela 22 Quantidade de Indivíduos residentes empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

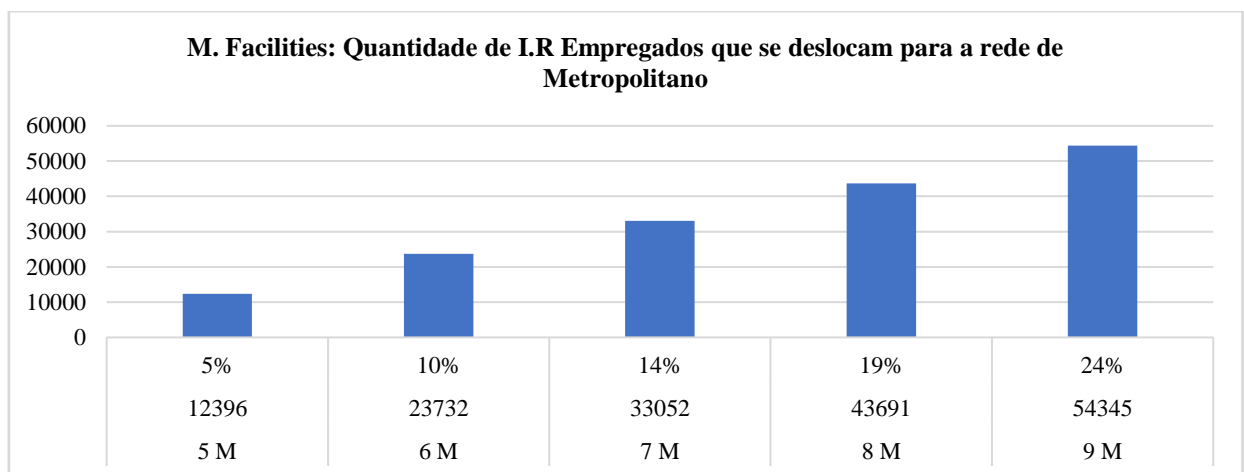


Gráfico 13: M. Facilities: Quantidade de I.R Empregados abrangidos pela rede Metropolitano

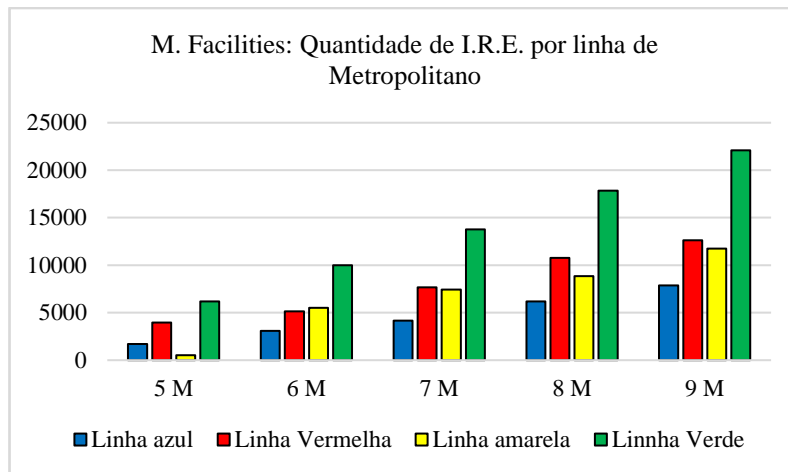


Gráfico 14: M. Facilities: Quantidade de I.R.E. por linha de Metropolitano

Na Tabela 23 e no Gráfico 15 podemos verificar que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 e 9 minutos, aumenta a cobertura da rede de Metropolitano para os indivíduos residentes. A 5 minutos são cobertos 32530 (6%), a 6 minutos são cobertos 49750 (10%), a 7 minutos são cobertos 69318 (14%), a 8 minutos são cobertos 92205 (18%) e a 9 minutos são cobertos 114017 (23%).

No Gráfico 16 verificamos que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde pois existem mais pontos de procura e um maior peso da variável em estudo, do que na linha azul.

Variável	Indivíduos Residentes					Total
	Metropolitano (Dias uteis)					
Modo de Transporte	Metropolitano (feriado)					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	
Minimize Facilities	32530	49750	69318	92205	114017	502848
Percentagem	6%	10%	14%	18%	23%	71%
Linha amarela	7290	11276	15288	18153	24250	
Linha azul	3411	6029	7922	11789	14290	
Linha Verde	12842	20461	28291	37012	45939	
Linha Vermelha	8987	11984	17817	25251	29538	
Varição percentual	65%	61%	57%	53%	48%	

Tabela 23: Quantidade de I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

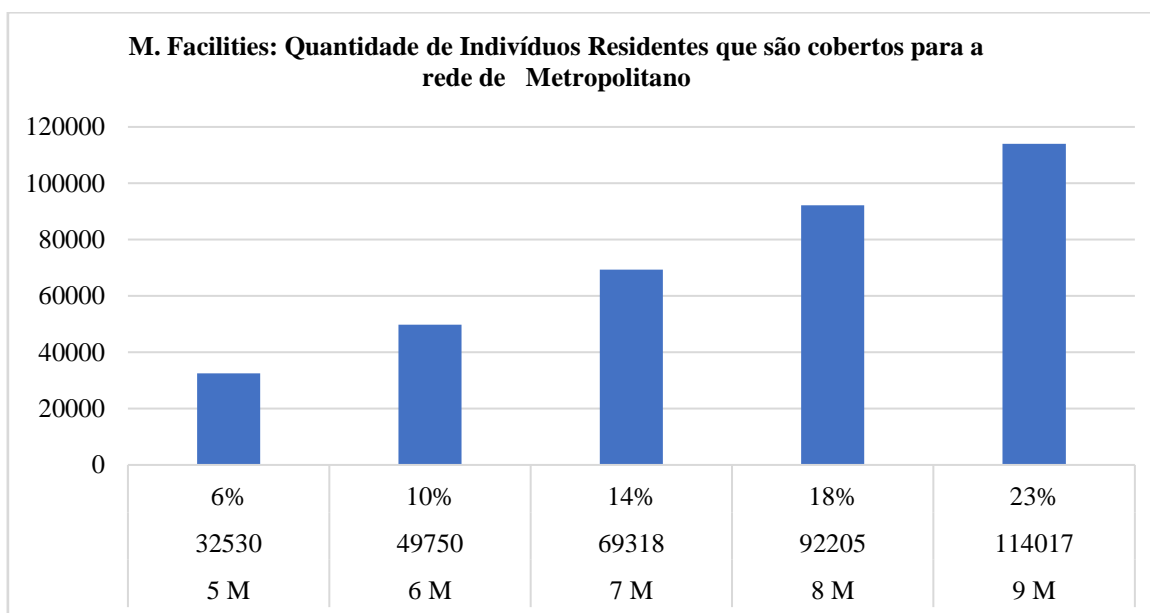


Gráfico 15: M. Facilities: Quantidade de Indivíduos Residentes que são cobertos pela rede de Metropolitano

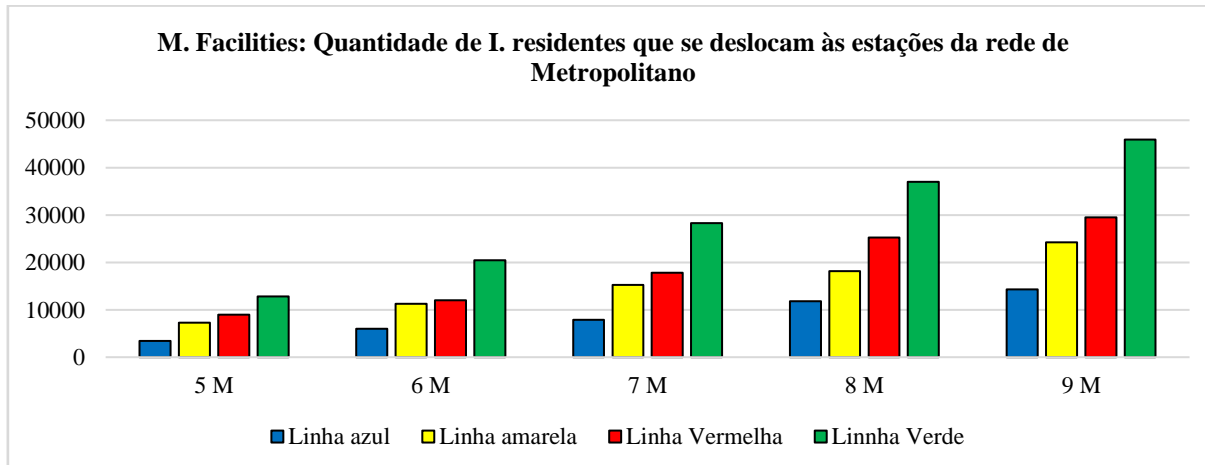


Gráfico 16: M. Facilities: Quantidade de I. residentes abrangidos por linha de Metropolitano

A Tabela 24 mostra a quantidade de indivíduos residentes por faixa etária que são cobertos pela rede de Metropolitano. A Tabela 25 mostra a quantidade de indivíduos residentes por faixa etária que são cobertos pela linha de Metropolitano. A rede de Metropolitano com menor cobertura são os indivíduos residentes com faixa etária entre

os 10 e 13, pois tem um menor peso entre a variável às estações, enquanto que os residentes entre os 20 e 64 tem um maior quantidade de pontos de procura e um maior peso entre as variáveis. A linha do Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde, a linha com menor potencial de utilização é a linha azul.

Na faixa etária de 10 e 13, 65% dos 18006 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1010 (6%), a 6 minutos são cobertos 1572 (9%), a 7 minutos são cobertos 2236 (12%), a 8 minutos são cobertos 3032 (17%) e a 9 minutos são cobertos 3797 (21%).

Na faixa etária 15 a 19, 69% dos 22932 é abrangida pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1441 (6%), a 6 minutos são cobertos 2218 (10%), a 7 minutos são cobertos 3063 (13%), a 8 minutos são cobertos 4033 (18%) e a 9 minutos são cobertos 5066 (22%).

Na faixa etária 14 a 19, 69% 22178 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1691 (6%), a 6 minutos são cobertos 2609 (10%), a 7 minutos são cobertos 3621 (13%), a 8 minutos são cobertos 4872 (18%), a 9 minutos são cobertos 6001 (22%).

Na faixa etária 20 a 24 74% dos 26812 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1886 (7%), a 6 minutos são cobertos 2820 (11%), a 7 minutos são cobertos 3797 (14%), a 8 minutos são cobertos 5125 (19%) e a 9 minutos são cobertos 6339 (24%).

Na faixa etária 65+, 32% dos 269060 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 7576 (3%), a 6 minutos são cobertos 11845 (4%), a 7 minutos são cobertos 16964 (6%), a 8 minutos são cobertos 22653 (8%) e a 9 minutos são cobertos 27708 (10%).

Na faixa etária de 20 a 64, 72% dos 326375 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 21548 (7%), a 6 minutos são cobertos 32871 (10%), a 7 minutos são cobertos 45425 (14%), a 8 minutos são cobertos 60062 (18%) e a 9 minutos são cobertos 74697 (23%).

M. Facilities: Quantidade de I. Residentes que se deslocam para a rede Metropolitano							
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	BGRI	%
10 a 13	1010	1572	2236	3032	3797	18006	65%
	6%	9%	12%	17%	21%		
15 a 19	1441	2218	3063	4033	5066	22932	69%
	6%	10%	13%	18%	22%		
14 a 19	1691	2609	3621	4782	6001	27178	
	6%	10%	13%	18%	22%		
20 a 24	1886	2820	3797	5125	6339	26812	74%
	7%	11%	14%	19%	24%		
Mais 65	7576	11845	16964	22653	27708	269060	32%
	3%	4%	6%	8%	10%		
20 a 64	21548	32871	45425	60062	74697	326375	72%
	7%	10%	14%	18%	23%		

Tabela 24: M. Facilities: Quantidade de Indivíduos Residentes abrangidos pela rede Metropolitano

I.R. 10 a 13						I.R. 15 a 19					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	266	404	549	648	871	Linha amarela	334	541	708	841	1137
Linha azul	107	201	276	414	506	Linha azul	142	248	332	497	623
Linha Verde	366	593	816	1096	1385	Linha Verde	538	843	1155	1495	1869
Linha Vermelha	271	374	595	874	1035	Linha Vermelha	427	586	868	1200	1437
I.R. 14 a 19						I.R. 20 a 24					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	389	623	824	979	1330	Linha amarela	454	668	884	1060	1413
Linha azul	170	303	405	603	754	Linha azul	182	310	396	627	752
Linha Verde	629	995	1365	1769	2211	Linha Verde	718	1138	1502	1964	2489
Linha Vermelha	503	688	1027	1431	1706	Linha Vermelha	532	704	1015	1474	1685
I.R. Mais 65						I.R. 20 a 64					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	1549	2557	3681	4398	5827	Linha amarela	4793	7227	9703	11553	15544
Linha azul	786	1324	1706	2573	2999	Linha azul	2268	4103	5471	8221	10351
Linha Verde	3283	5239	7444	9783	11887	Linha Verde	8658	13826	19029	24481	30303
Linha Vermelha	1958	2725	4133	5899	6995	Linha Vermelha	5829	7715	11222	15807	18499

Tabela 25: M. Facilities quantidade de i. residentes por faixa etária abrangidos por linha de Metropolitano

De acordo com a Tabela 27 verificamos que a linha do Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde, para os i.r.e.s. primário, secundário e terciário, pois há um maior conjunto de pontos de procura alocadas às instalações de solução. Para os i.r.e.s. primário a linha do Metropolitano com menor potencial de utilização é a linha vermelha pois há um menor conjunto de pontos de procura alocadas às instalações de solução. Para os i.r.e.s. secundário e terciário a linha de Metropolitano com menor potencial de utilização é a linha azul, pois há menor conjunto de pontos de procura alocadas às instalações de solução.

De acordo com as Tabelas 26 e 27 e o Gráfico 17 podemos concluir:

Os i.r.e.s. primário: apenas 90% dos 685 dos i.r.e.s. primário é coberto pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 57 (8%), a 6 minutos são cobertos 88 (13%), a 7 minutos são cobertos 112 (17%), a 8 minutos são cobertos 158 (23%) e a 9 minutos são cobertos 197 (29%).

Os i.r.e.s. secundário: 68% dos 24195 dos i.r.e.s. secundário é que estão cobertos pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 1521 (6%), a 6 minutos são cobertos 2275 (9%), a 7 minutos são cobertos 3170 (13%), a 8 minutos são cobertos 4260 (18%) e a 9 minutos são cobertos 5251 (22%).

Os i.r.e.s. terciário: 75% dos 204686 dos i.r.e.s. terciário são cobertos pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 13962 (7%), a 6 minutos são cobertos 21369 (10%), a 7 minutos são cobertos 29767 (15%), a 8 minutos são cobertos 39273 (19%) e a 9 minutos são cobertos 48897 (24%).

M. Facilities: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário abrangidos pela rede de Metropolitano							
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	BGRI	%
I.R.E.S. Primário	57	88	115	158	197	685	90%
	8%	13%	17%	23%	29%		
I.R.E.S. Secundário	1521	2275	3170	4260	5251	24195	68%
	6%	9%	13%	18%	22%		
I.R.E.S. Terciário	13962	21369	29767	39273	48897	204686	75%
	7%	10%	15%	19%	24%		

Tabela 26: M. Facilities: I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário abrangidos pela rede Metropolitano

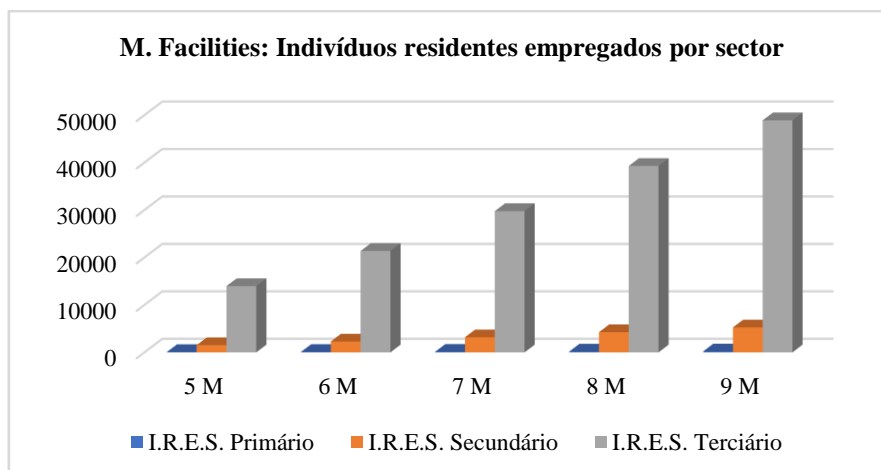


Gráfico 17: M. Facilities: I.r.e. sector abrangidos pela rede Metropolitano

M. Facilities: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário por linha de Metropolitano						
	Linha de Metropolitano	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
I.R.E.S. Primário	Linha amarela	30	40	51	59	83
	Linha azul	10	15	16	19	23
	Linha Verde	12	24	35	59	69
	Linha Vermelha	5	9	13	21	22
I.R.E.S. Secundário	Linha amarela	313	476	640	758	1001
	Linha azul	111	235	324	538	679
	Linha Verde	661	994	1371	1736	2112
	Linha Vermelha	436	570	835	1228	1459
I.R.E.S. Terciário	Linha amarela	3329	5011	6743	8037	10659
	Linha azul	1579	2825	3842	5640	7183
	Linha Verde	5527	8961	12375	16058	19911
	Linha Vermelha	3527	4572	6807	9538	11144

Tabela 27: M. Impedance: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário por linha de Metropolitano

Problema tipo: Maximize Coverage

Maximize Coverage - As instalações estão localizadas de forma a que o maior número possível de pontos de procura sejam alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação.

De acordo com a Tabela 28 e o Gráfico 18 verificamos que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 a 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes que trabalham e residem no município de residência que são cobertas pela rede Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 13604 (7%), a 6 minutos são cobertos 19892 (11%), a 7 minutos são cobertos 27622 (15%), a 8 minutos são cobertos 36500 (19%) e a 9 minutos são cobertos 45360 (24%).

No Gráfico 19 verificamos que a linha do Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde, pois apresenta um maior conjunto de pontos de procura alocadas às instalações de solução do que na linha azul.

Variável	I.R.T.R.M.R					Total
	Metropolitano (Dias uteis)					
Modo de Transporte	Metropolitano (feriado)					
	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	Total
Mazimize Coverage	13064	19892	27622	36500	45360	187703
Percentagem	7%	11%	15%	19%	24%	76%
Linha amarela	3028	4575	6154	7357	9741	
Linha azul	1401	2491	3386	5044	6422	
Linha Verde	5335	8542	11745	15201	18773	
Linha Vermelha	3300	4284	6337	8898	10424	

Tabela 28: M. Coverage - I.R.T.R.M.R abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

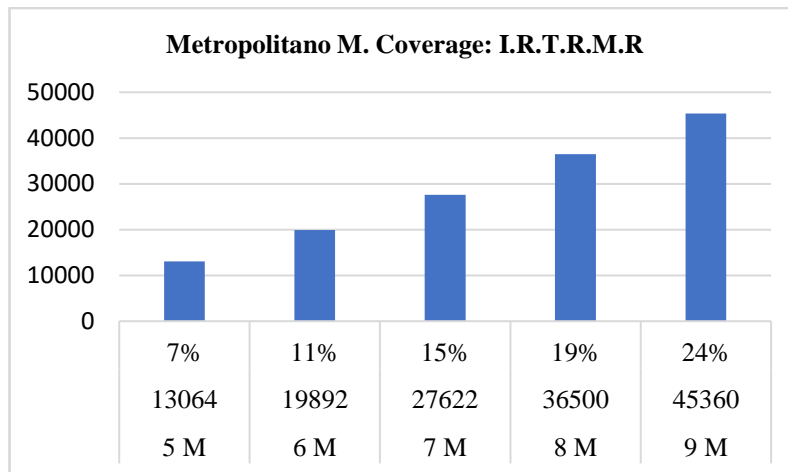


Gráfico 18: M. Coverage: I.R.T.R.M.R que se cobertos pela rede de Metropolitano

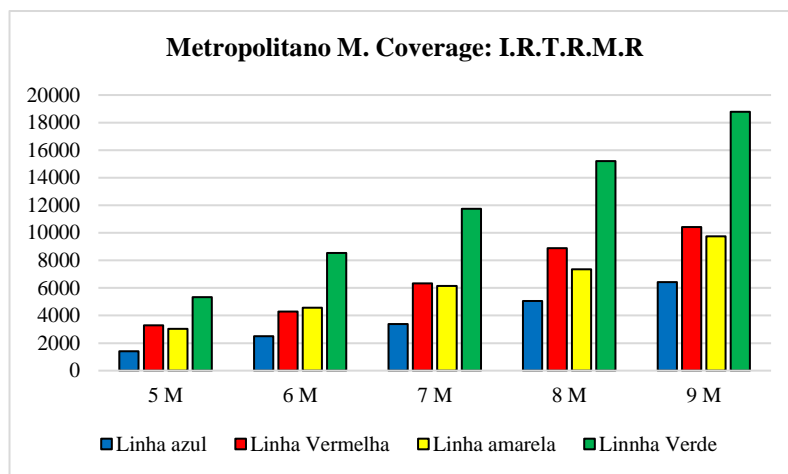


Gráfico 19: M. Coverage: I.R.T.R.M.R abrangidos por linha de Metropolitano

De acordo com a Tabela 29 e o Gráfico 20 podemos verificar que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes que são cobertos pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 12396 (5%), a 6 minutos são cobertos 23732 (10%), a 7 minutos são cobertos 33052 (14%), a 8 minutos são cobertos 43691 (19%) e a 9 minutos são cobertos 54345 (24%).

No Gráfico 21 verifica-se que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde pois apresenta um maior conjunto de pontos de procura alocadas às instalações de solução do que na linha azul.

Variável	I.R. Empregados					
	Metropolitano (Dias uteis)					
	Metropolitano (feriado)					Total
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	
Mazimize Coverage	12396	23732	33052	43691	54345	229566
Percentagem	5%	10%	14%	19%	24%	73%
Linha amarela	528	5527	7434	8854	11743	
Linha azul	1700	3075	4182	6197	7885	
Linha Verde	6200	9979	13781	17853	22092	
Linha Vermelha	3968	5151	7655	10787	12625	

Tabela 29: Mazimize Coverage - Quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

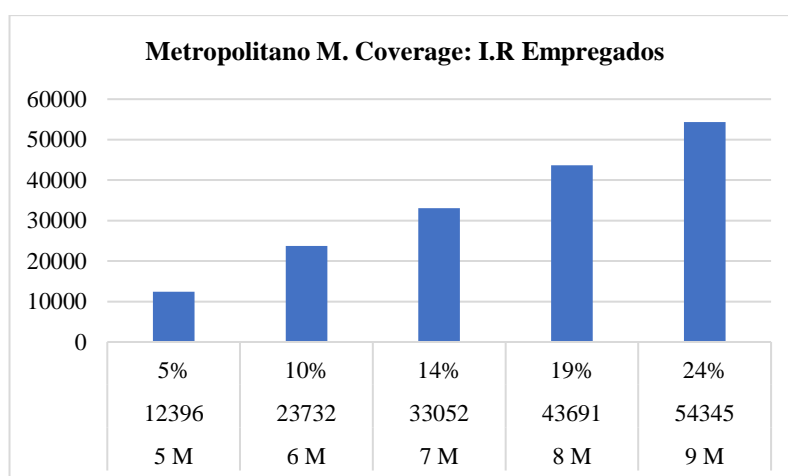


Gráfico 20: M. Coverage - quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano

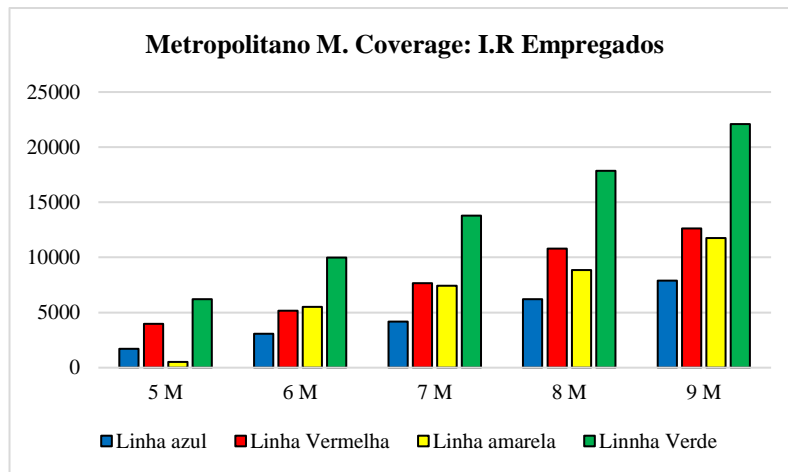


Gráfico 21: M. Coverage - I.R. Empregados abrangidos por linha de Metropolitano

De acordo com a Tabela 30 e o Gráfico 22 podemos verificar que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes que são abrangidos pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 32530 (6%), a 6 minutos são cobertos 49750 (10%), a 7 minutos são cobertos 69318 (14%), a 8 minutos são cobertos 92205 (18%) e a 9 minutos são cobertos 114017 (23%).

No Gráfico 23 verifica-se que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde pois apresenta um maior conjunto de pontos de procura alocadas às instalações de solução do que na linha azul.

Variável	Indivíduos Residentes					Total
	Metropolitano (Dias uteis)					
Modo de Transporte	Metropolitano (feriado)					
	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	Total
Mazimize Coverage	32530	49750	69318	92205	114017	502848
Porcentagem	6%	10%	14%	18%	23%	71%
Linha amarela	7290	11276	15288	18153	24250	
Linha azul	3411	6029	7922	11789	14290	
Linha Verde	12842	20461	28291	37012	45939	
Linha Vermelha	8987	11984	17817	25251	29538	

Tabela 30: Mazimize Coverage - Quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

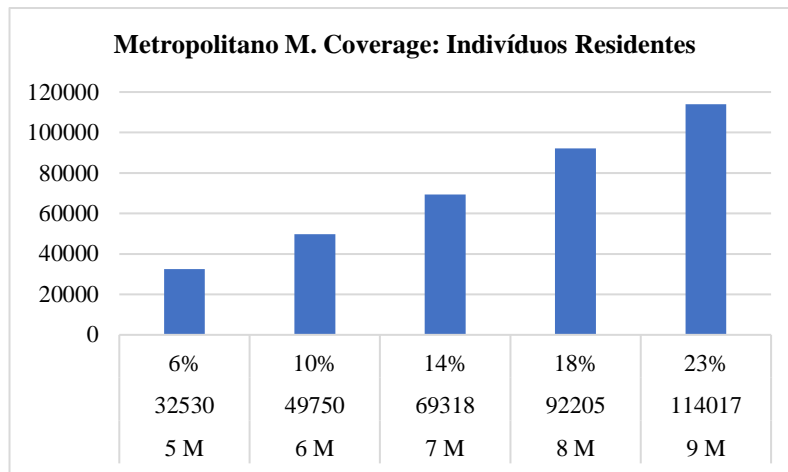


Gráfico 22: M. Coverage - quantidade de Indivíduos residentes abrangidos pela rede Metropolitano

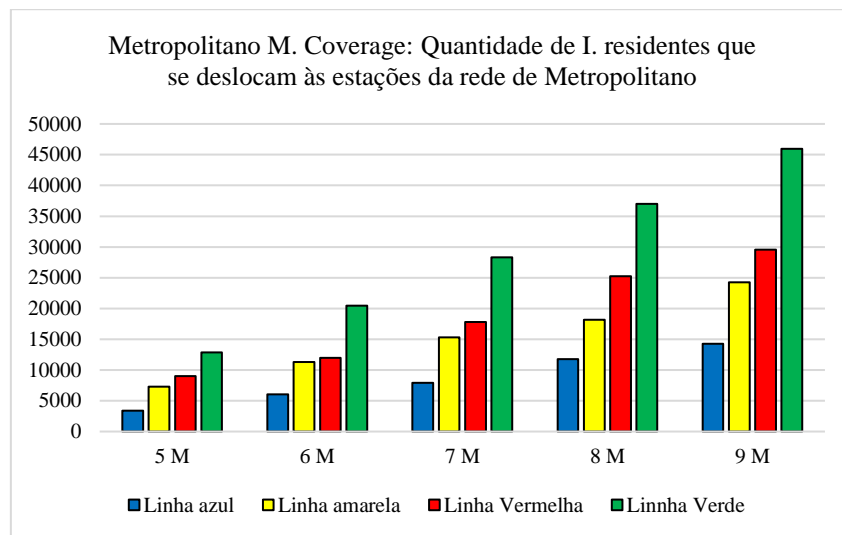


Gráfico 23: M. Coverage - quantidade de I. residentes abrangidos por linha de Metropolitano

A Tabela 31 mostra a quantidade de indivíduos residentes por faixa etária que são cobertos pela rede de Metropolitano. De acordo com a Tabela 32 verificamos que a rede de Metropolitano é menos abrangida pelos indivíduos residentes com faixa etária entre os 10 e 13 pois tem uma menor quantidade de pontos de procura alocadas às instalações de solução, enquanto os indivíduos residentes entre os 20 e 64 tem uma maior quantidade de pontos de procura alocadas às instalações de solução. A linha do Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde, a linha com menor potencial de utilização é a linha azul.

Na faixa etária de 10 a 13 65% dos 18006 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1010 (6%), a 6 minutos são cobertos 1572 (9%), a 7 minutos são cobertos 2236 (12%), a 8 minutos são cobertos 3032 (17%) e a 9 minutos são cobertos 3797 (21%).

Na faixa etária 15 a 19 69% dos 22932 é abrangida pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1441 (6%), a 6 minutos são cobertos 2218 (10%), a 7 minutos são cobertos 3063 (13%), a 8 minutos são cobertos 4033 (18%) e a 9 minutos são cobertos 5066 (22%).

Na faixa etária 14 a 19 69% 22178 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1691 (6%), a 6 minutos são cobertos 2609 (10%), a 7 minutos são cobertos 3621 (13%), a 8 minutos são cobertos 4872 (18%), a 9 minutos são cobertos 6001 (22%).

Na faixa etária 20 a 24 74% dos 26812 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 1886 (7%), a 6 minutos são cobertos 2820 (11%), a 7 minutos são cobertos 3797 (14%), a 8 minutos são cobertos 5125 (19%) e a 9 minutos são cobertos 6339 (24%).

Na faixa etária 65+ 32% dos 269060 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 7576 (3%), a 6 minutos são cobertos 11845 (4%), a 7 minutos são cobertos 16964 (6%), a 8 minutos são cobertos 22653 (8%) e a 9 minutos são cobertos 27708 (10%).

Na faixa etária de 20 a 64 72% dos 326375 é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 21548 (7%), a 6 minutos são cobertos 32871 (10%), a 7 minutos são cobertos 45425 (14%), a 8 minutos são cobertos 60062 (18%) e a 9 minutos são cobertos 74697 (23%).

M. Coverage: Indivíduos Residentes por faixa etária							
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	BGRI	%
10 a 13	1010	1572	2236	3032	3797	18006	65%
	6%	9%	12%	17%	21%		
15 a 19	1441	2218	3063	4033	5066	22932	69%
	6%	10%	13%	18%	22%		
14 a 19	1691	2609	3621	4782	6001	27178	
	6%	10%	13%	18%	22%		
20 a 24	1886	2820	3797	5125	6339	26812	74%
	7%	11%	14%	19%	24%		
Mais 65	7576	11845	16964	22653	27708	269060	32%
	3%	4%	6%	8%	10%		
20 a 64	21548	32871	45425	60062	74697	326375	72%
	7%	10%	14%	18%	23%		

Tabela 31: M. Coverage - quantidade de I.r. faixa etária abrangidos pela rede Metropolitano

I.R. 10 a 13						I.R. 15 a 19					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	266	404	549	648	871	Linha amarela	334	541	708	841	1137
Linha azul	107	201	276	414	506	Linha azul	142	248	332	497	623
Linha Verde	366	593	816	1096	1385	Linha Verde	538	843	1155	1495	1869
Linha Vermelha	271	374	595	874	1035	Linha Vermelha	427	586	868	1200	1437
I.R. 14 a 19						I.R. 20 a 24					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	389	623	824	979	1330	Linha amarela	454	668	884	1060	1413
Linha azul	170	303	405	603	754	Linha azul	182	310	396	627	752
Linha Verde	629	995	1365	1769	2211	Linha Verde	718	1138	1502	1964	2489
Linha Vermelha	503	688	1027	1431	1706	Linha Vermelha	532	704	1015	1474	1685
I.R. 65+						I.R. 20 a 64					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	1549	2557	3681	4398	5827	Linha amarela	4793	7227	9703	11553	15544
Linha azul	786	1324	1706	2573	2999	Linha azul	2268	4103	5471	8221	10351
Linha Verde	3283	5239	7444	9783	11887	Linha Verde	8658	13826	19029	24481	30303
Linha Vermelha	1958	2725	4133	5899	6995	Linha Vermelha	5829	7715	11222	15807	18499

Tabela 32: M. Coverage: I. r. por faixa etária abrangidos por linha de Metropolitano

De acordo com as tabelas 33 e 34 e o gráfico 24:

Os i.r.e.s. primário: 90% dos 685 dos i.r.e.s. primário é coberto pela rede de Metropolitano.; a 5 minutos são cobertos 57 (8%), a 6 minutos são cobertos 88 (13%), a 7 minutos são cobertos 112 (17%), a 8 minutos são cobertos 158 (23%) e a 9 minutos são cobertos 197 (29%).

Os i.r.e.s. secundário: 68% dos 24195 dos i.r.e.s. secundário é coberto pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 1521 (6%), a 6 minutos são cobertos 2275 (9%), a 7 minutos são cobertos 3170 (13%), a 8 minutos são cobertos 4260 (18%) e a 9 minutos são cobertos 5251 (22%).

Os i.r.e.s. terciário: 75% dos 204686 dos i.r.e.s. terciário é coberto pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 13962 (7%), a 6 minutos são cobertos 21369 (10%), a 7 minutos são cobertos 29767 (15%), a 8 minutos são cobertos 39273 (19%) e a 9 minutos são cobertos 48897 (24%).

De acordo com tabela 34, verificamos que a linha do Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde, para os i.r.e.s. primário, secundário e terciário, pois há um maior conjunto de pontos de procura alocadas às instalações de solução. Para os i.r.e.s. primário a linha do Metropolitano com menor potencial de utilização é a linha vermelha pois há um menor conjunto de pontos de procura alocadas às instalações de solução. Para os i.r.e.s. secundário e terciário a linha de Metropolitano com menor potencial de utilização é a linha azul, pois há menor conjunto de pontos de procura alocadas às instalações de solução.

M. Coverage: Quantidade de I.R.E.S. que se deslocam para a rede de Metropolitano							
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	BGRI	%
I.R.E.S. Primário	57	88	115	158	197	685	90%
	8%	13%	17%	23%	29%		
I.R.E.S. Secundário	1521	2275	3170	4260	5251	24195	68%
	6%	9%	13%	18%	22%		
I.R.E.S. Terciário	13962	21369	29767	39273	48897	204686	75%
	7%	10%	15%	19%	24%		

Tabela 33: M. Coverage - quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário que são cobertas pela rede de Metropolitano

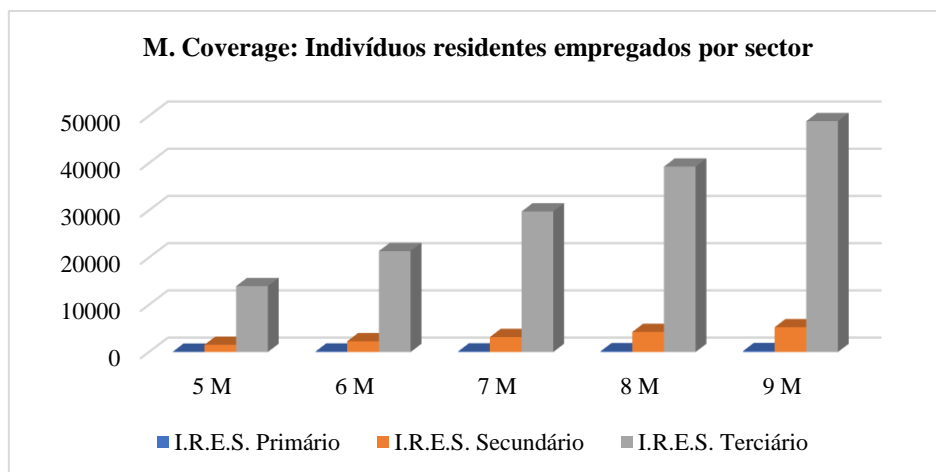


Gráfico 24: M. Coverage – quantidade de I.R.E. por sector abrangidos pela rede Metropolitana

M. Coverage: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário por linha de Metropolitano						
	Linha de Metropolitano	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
I.R.E.S. Primário	Linha amarela	30	40	51	59	83
	Linha azul	10	15	16	19	23
	Linha Verde	12	24	35	59	69
	Linha Vermelha	5	9	13	21	22
I.R.E.S. Secundário	Linha amarela	313	476	640	758	1001
	Linha azul	111	235	324	538	679
	Linha Verde	661	994	1371	1736	2112
	Linha Vermelha	436	570	835	1228	1459
I.R.E.S. Terciário	Linha amarela	3329	5011	6743	8037	10659
	Linha azul	1579	2825	3842	5640	7183
	Linha Verde	5527	8961	12375	16058	19911
	Linha Vermelha	3527	4572	6807	9538	11144

Tabela 34: M. Coverage: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário abrangidos por linha de Metropolitano

Problema tipo: Maximize Attendance

Maximize Attendance - As instalações são escolhidas de tal forma que tanto quanto possível o peso da procura é alocado para as instalações, assumindo que o peso da procura diminui em relação à distância entre a instalação e o ponto de procura. Ou seja, quanto maior a distância a percorrer até à estação do Metropolitano menor o número de indivíduos a usarem essa estação e menor é o peso de procura dos pontos.

De acordo com a Tabela 35 e o Gráfico 25 podemos verificar que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 a 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes que se deslocam para a rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 4059 (2%), a 6 minutos são cobertos 6175 (3%), a 7 minutos são cobertos 8674 (5%), a 8 minutos são cobertos 411610 (6%) e a 9 minutos são cobertos 14822 (8%).

No Gráfico 26 verifica-se que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde pois há um maior peso de procura alocado entre a instalação e os pontos de procura, ou seja quanto maior a distância a percorrer até à estação de Metropolitano menor o número de pessoas a usarem essa estação de Metropolitano e menor é o peso dos pontos.

Variável	I.R.T.R.M.R					Total
	Metropolitano (Dias uteis)					
Modo de Transporte	Metropolitano (feriado)					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	Total
Maximize Attendance	4059	6175	8674	11610	14822	187703
Percentagem	2%	3%	5%	6%	8%	24%
Linha amarela	1117	1572	2125	2696	3324	
Linha azul	291	559	888	1283	1772	
Linha Verde	1689	2609	3672	4945	6257	
Linha Vermelha	963	1435	1989	2686	3470	

Tabela 35: I.R.T.R.M.R abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

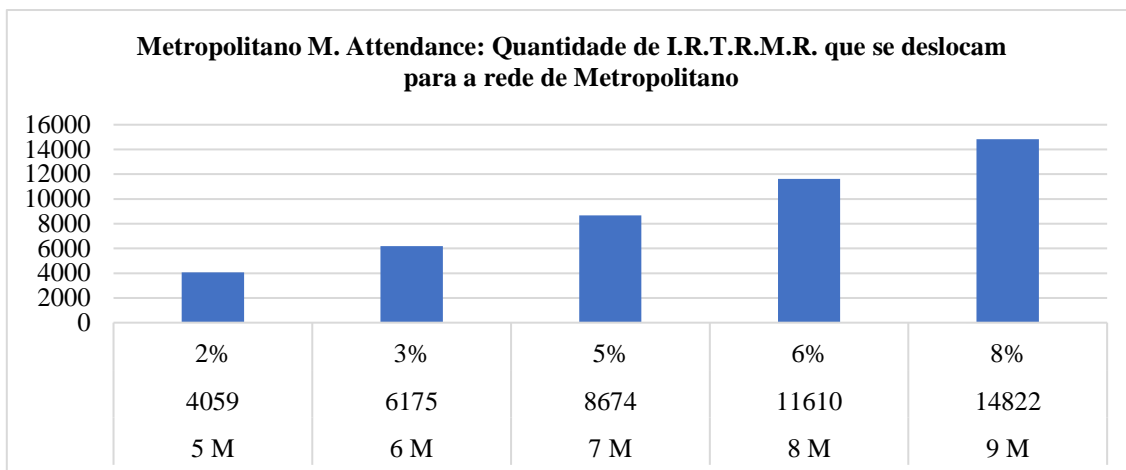


Gráfico 25: M. Attendance - Quantidade de I.R.T.R.M.R. abrangidos pela rede Metropolitano

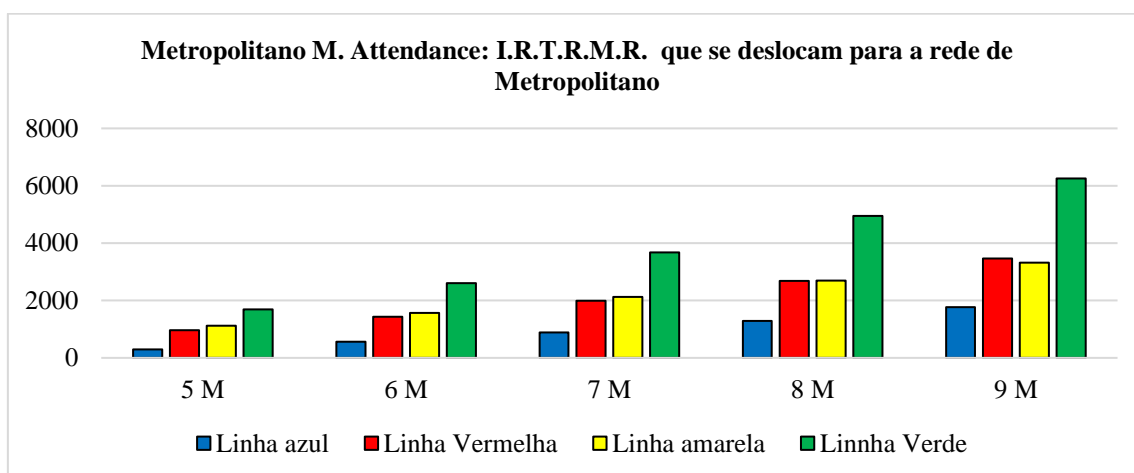


Gráfico 26: M. Attendance - I.R.T.R.M.R. abrangidos por linha de Metropolitano

De acordo com a Tabela 36 e o Gráfico 27 podemos verificar que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes que se deslocam para a rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 4059 (2%), a 6 minutos são cobertos 6175 (3%), a 7 minutos são cobertos 8674 (5%), a 8 minutos são cobertos 11610 (6%) e a 9 minutos são cobertos 14822 (8%).

No Gráfico 28 verifica-se que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde pois há um maior peso de procura alocado entre a instalação e os pontos de procura, ou seja quanto maior a distância a percorrer até à estação de Metropolitano menor o número de pessoas a usarem essa estação de Metropolitano e menor é o peso dos pontos.

Variável	I.R. Empregados que se deslocam para a rede de Metropolitano					
	Metropolitano (Dias uteis)					Total
	Metropolitano (feriado)					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	
Maximize Attendance	4851	7368	10352	13871	17717	229566
Percentagem	2%	3%	5%	6%	8%	24%
Linha amarela	1381	1927	2590	3275	4026	
Linha azul	347	678	1083	1573	2173	
Linha Verde	1954	3027	4276	5773	7318	
Linha Vermelha	1169	1735	2403	3250	4200	

Tabela 36: M. Attendance - I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

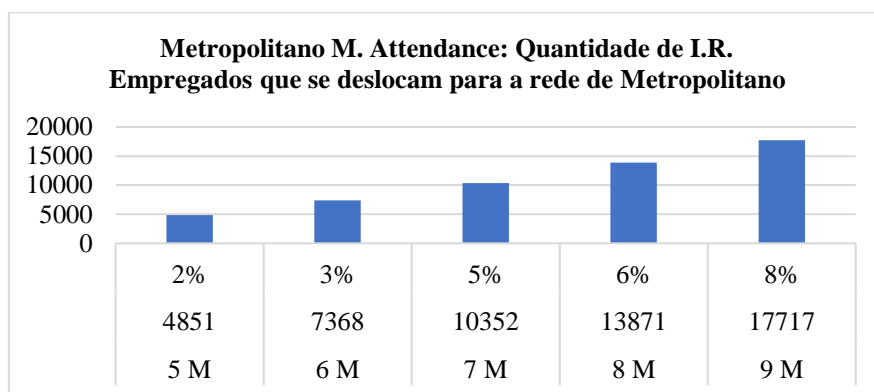


Gráfico 27: M. Attendance - quantidade de I.R. Empregados abrangidos pela rede Metropolitano

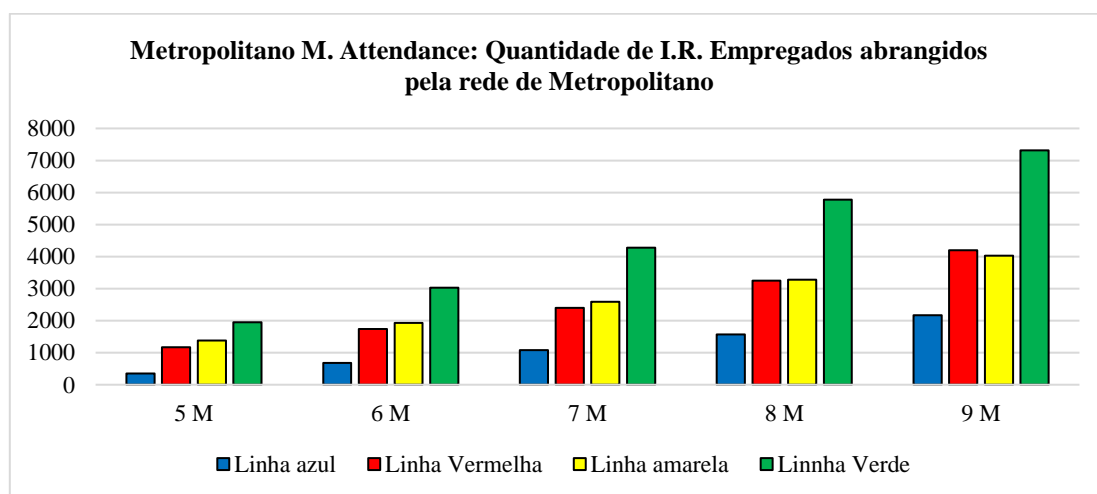


Gráfico 28: M. Attendance: quantidade de I.R. Empregados abrangidos por linha

De acordo com a Tabela 37 e o Gráfico 29 podemos verificar que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes que se deslocam para a rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 10211 (2%), a 6 minutos são cobertos 15499 (3%), a 7 minutos são cobertos 21742 (5%), a 8 minutos são cobertos 29124 (6%) e a 9 minutos são cobertos 37254 (7%).

No Gráfico 30 verifica-se que a linha de Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde pois há um maior peso de procura alocado entre a instalação e os pontos de procura, ou seja quanto maior a distância a percorrer até à estação de Metropolitano menor o número de pessoas a usarem essa estação de Metropolitano e menor é o peso dos pontos.

Variável	I. Residentes					
Modo de Transporte	Metropolitano (Dias uteis)					Total
	Metropolitano (feriado)					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	
Maximize Attendance	10211	15499	21742	29124	37254	502848
Percentagem	2%	3%	4%	6%	7%	23%
Linha amarela	2756	3869	5243	6657	8209	
Linha azul	654	1311	2102	3018	4128	
Linha Verde	4061	6288	8820	11912	15131	
Linha Vermelha	2740	4031	5577	7538	9785	

Tabela 37: I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano e por linha

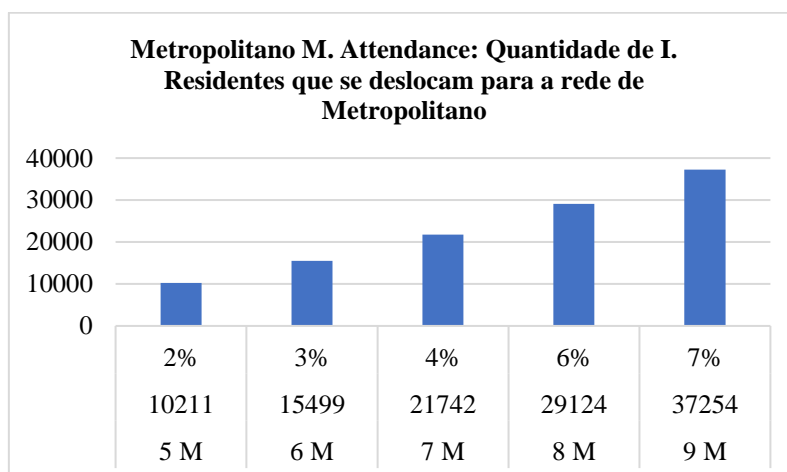


Gráfico 29: M. Attendance - quantidade de I. Residentes abrangidos pela rede Metropolitano

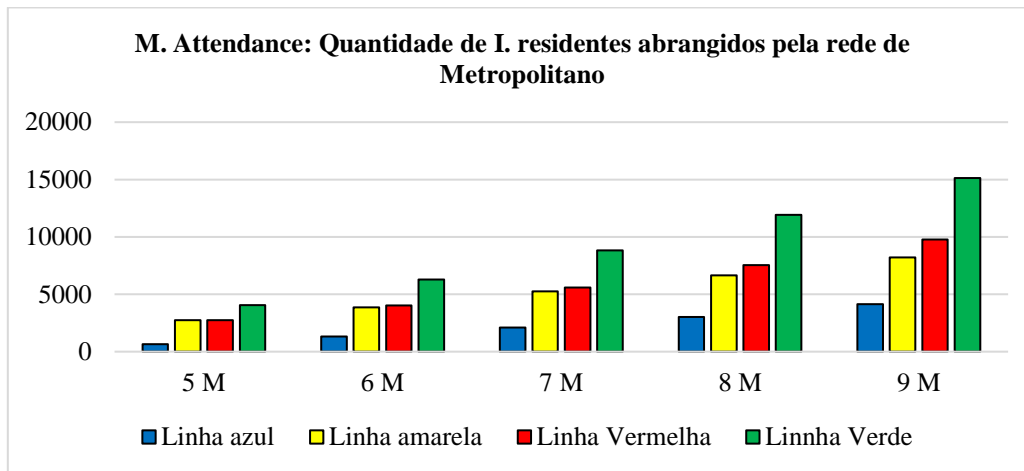


Gráfico 30: M. Attendance - quantidade de I. residentes abrangidos por linha de Metropolitano

A Tabela 38 mostra a quantidade de indivíduos residentes por faixa etária que são cobertas pela rede de Metropolitano. A Tabela 39 mostra a quantidade de indivíduos residentes por faixa etária que são cobertas por linha de Metropolitano.

Verifica-se que os indivíduos residentes entre 10 e 13 anos tem um menor peso de procura alocado entre as instalações e os pontos de procura, enquanto que os indivíduos residentes 65+ tem um maior peso de procura alocado entre a instalação e os pontos de procura, ou seja quanto maior a distância a percorrer até à estação de Metropolitano maior o número de pessoas a usarem essa estação de Metropolitano e menor é o peso dos pontos. A linha do Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde, a linha do Metropolitano com menor potencial de utilização é a linha azul.

Na faixa etária de 10 a 13, 20% dos 310 indivíduos residentes é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 310 (2%), a 6 minutos são cobertos 479 (3%), a 7 minutos são cobertos 680 (4%), a 8 minutos são cobertos 921 (5%) e a 9 minutos são cobertos 1193 (7%).

Na faixa etária 15 a 19, 22% dos 22932 indivíduos residentes é abrangida pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 443 (2%), a 6 minutos são cobertos 674 (3%),

a 7 minutos são cobertos 954 (4%), a 8 minutos são cobertos 1277 (6%) e a 9 minutos são cobertos 1635 (7%).

Na faixa etária 14 a 19, 22% 22178 indivíduos residentes é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 508 (2%), a 6 minutos são cobertos 792 (3%), a 7 minutos são cobertos 1123 (4%), a 8 minutos são cobertos 1505 (6%), a 9 minutos são cobertos 1930 (7%).

Na faixa etária 20 a 24, 24% dos 26812 indivíduos residentes é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 590 (2%), a 6 minutos são cobertos 893 (3%), a 7 minutos são cobertos 1236 (5%), a 8 minutos são cobertos 1637 (6%) e a 9 minutos são cobertos 2086 (8%).

Na faixa etária 65+, apenas 10% dos 269060 indivíduos residentes é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 2467 (1%), a 6 minutos são cobertos 3709 (1%), a 7 minutos são cobertos 5239 (2%), a 8 minutos são cobertos 7060 (3%) e a 9 minutos são cobertos 9062 (3%).

Na faixa etária de 20 a 64, 23% dos 326375 indivíduos residentes é coberta pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 6832 (2%), a 6 minutos são cobertos 10292 (3%), a 7 minutos são cobertos 14386 (14%), a 8 minutos são cobertos 19190 (6%) e a 9 minutos são cobertos 24468 (7%).

M. Attendance: I. Residentes por faixa etária cobertos pela rede Metropolitano							
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	BGRI	%
10 a 13	310	479	680	921	1193	18006	20%
	2%	3%	4%	5%	7%		
15 a 19	433	674	954	1277	1635	22932	22%
	2%	3%	4%	6%	7%		
14 a 19	508	792	1123	1505	1930	27178	22%
	2%	3%	4%	6%	7%		
20 a 24	590	893	1236	1637	2086	26812	24%
	2%	3%	5%	6%	8%		
Mais 65	2467	3709	5239	7060	9062	269060	10%
	1%	1%	2%	3%	3%		
20 a 64	6832	10292	14386	19190	24468	326375	23%
	2%	3%	4%	6%	7%		

Tabela 38: M. Attendance - I. Residentes por faixa etária que se cobertos pela rede de Metropolitano

I.R. 10 a 13					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	93	134	184	236	291
Linha azul	19	41	69	101	141
Linha Verde	117	181	254	343	440
Linha Vermelha	81	123	173	240	321
I.R. 14 a 19					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	133	196	273	351	437
Linha azul	29	63	105	152	211
Linha Verde	193	303	426	574	728
Linha Vermelha	154	230	319	427	555
I.R. 15 a 19					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	115	170	237	304	377
Linha azul	24	52	86	125	174
Linha Verde	165	258	363	487	617
Linha Vermelha	128	194	269	360	468
I.R. 20 a 24					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	173	240	317	398	487
Linha azul	36	70	110	156	215
Linha Verde	228	351	487	650	823
Linha Vermelha	152	232	322	433	561
I.R. 20 a 64					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	1813	2526	3391	4283	5267
Linha azul	462	904	1441	2083	2878
Linha Verde	2708	4199	5920	7972	10088
Linha Vermelha	1849	2663	3634	4852	6234
I.R. 65+					
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
Linha amarela	591	845	1181	1531	1915
Linha azul	139	287	463	660	896
Linha Verde	1066	1636	2300	3112	3955
Linha Vermelha	671	941	1295	1757	2297

Tabela 39: M. Attendance - I. Residentes por faixa etária que se cobertos por linha de Metropolitano

De acordo com a tabela 40 e 41 e o gráfico 31 podemos concluir:

Os i.r.e.s. primário: 28% dos 685 dos i.r.e.s. primário é coberto pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 16 (2%), a 6 minutos são cobertos 26 (4%), a 7 minutos são cobertos 37 (5%), a 8 minutos são cobertos 50 (7%) e a 9 minutos são cobertos 64 (9%).

Os i.r.e.s. secundário: 22% dos 24195 dos i.r.e.s. secundário estão cobertos pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 475 (2%), a 6 minutos são cobertos 716 (3%), a 7 minutos são cobertos 999 (4%), a 8 minutos são cobertos 1338 (6%) e a 9 minutos são cobertos 1715 (7%).

Os i.r.e.s. terciário: 24% dos 204686 dos i.r.e.s. terciário são cobertos pela rede de Metropolitano; a 5 minutos são cobertos 4360 (2%), a 6 minutos são cobertos 6626 (3%), a 7 minutos são cobertos 9317 (5%), a 8 minutos são cobertos 12483 (6%) e a 9 minutos são cobertos 15939 (8%).

De acordo com a tabela 40 verifica-se que os i.r.e.s. primário tem um menor peso de procura alocado entre as instalações e os pontos de procura, enquanto os i.r.e.s secundário e terciário tem um maior peso de procura alocado entre a instalação e os pontos de procura, ou seja, quanto maior a distância a percorrer até à estação de Metropolitano menor o número de pessoas a usarem essa estação de Metropolitano e menor é o peso dos pontos.

Na tabela 41 verifica-se que a linha do Metropolitano com maior potencial de utilização é a linha verde, para os i.r.e.s. primário, secundário e terciário, pois a distância a percorrer até à instalação de solução é menor e maior é o peso de procura dos pontos. Para os i.r.e.s. primário a linha do Metropolitano com menor potencial de utilização é a linha vermelha pois a distância a percorrer até à instalação de solução é maior e menor é o peso de procura dos pontos. Para os i.r.e.s. secundário e terciário a linha de Metropolitano com menor potencial de utilização é a linha azul, pois a distância a percorrer até à instalação de solução é maior e menor é o peso de procura dos pontos

M. Attendance: Indivíduos residentes empregados por sector que se deslocam para a rede Metropolitana							
D-T	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	BGRI	%
I.R.E.S. Primário	16	26	37	50	64	685	28%
	2%	4%	5%	7%	9%		
I.R.E.S. Secundário	475	716	999	1338	1715	24195	22%
	2%	3%	4%	6%	7%		
I.R.E.S. Terciário	4360	6626	9317	12483	15939	204686	24%
	2%	3%	5%	6%	8%		

Tabela 40: M. Attendance: Indivíduos residentes empregados por sector cobertos pela rede Metropolitana

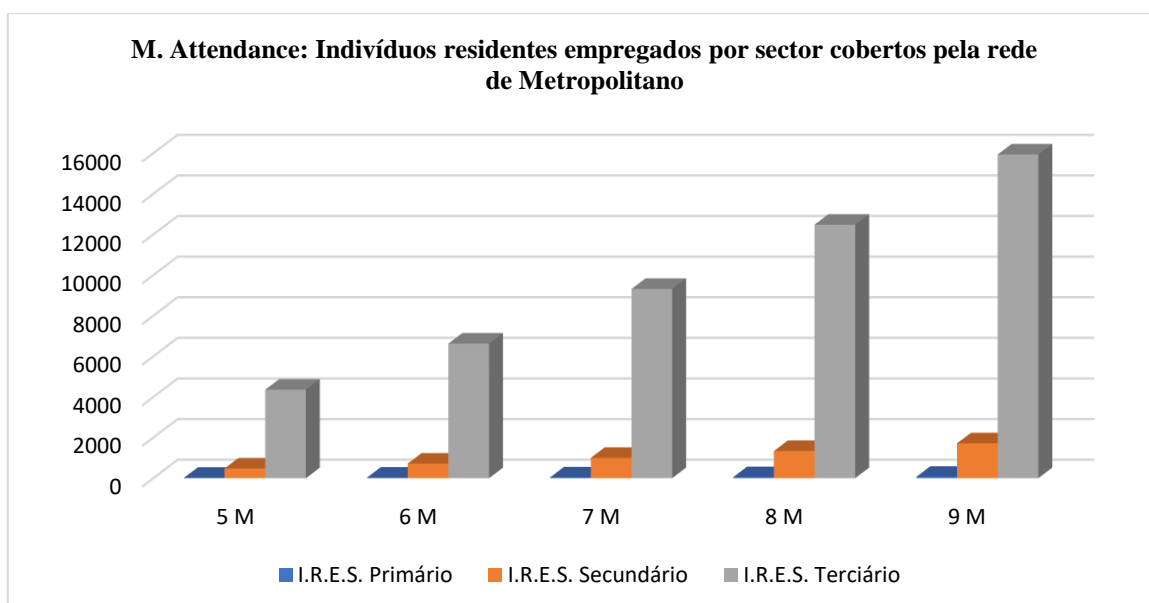


Gráfico 31: M. Attendance: Indivíduos residentes empregados por sector cobertos pela rede de Metropolitana

M. Attendance: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário por linha de Metropolitano						
	Linha de Metropolitano	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M
I.R.E.S. Primário	Linha amarela	11	15	20	24	29
	Linha azul	2	3	5	7	8
	Linha Verde	2	5	9	14	19
	Linha Vermelha	1	2	3	5	7
I.R.E.S. Secundário	Linha amarela	124	170	226	284	348
	Linha azul	21	46	78	119	174
	Linha Verde	202	310	432	578	724
	Linha Vermelha	127	190	263	357	469
I.R.E.S. Terciário	Linha amarela	1246	1741	2344	2966	3649
	Linha azul	324	629	1001	1447	1990
	Linha Verde	1749	2712	3835	5181	6575
	Linha Vermelha	1041	1543	2137	2888	3724

Tabela 41: M. Attendance: Quantidade de I.R.E.S. Primário, Secundário e Terciário cobertos por linha de Metropolitano

7.2 Estudo da rede da Carris da cidade de Lisboa com o modelo Localização-Alocação: análise dos problemas tipo

Problema tipo: Minimize Impedance (P-Median)

Minimize Impedance (P-Median) - As instalações são localizadas de tal forma que a soma de todos os custos ponderados entre os pontos de procura e as instalações da solução é minimizada. Se o total custo ponderado entre as variáveis às estações do Metropolitano o custo de deslocação é mínimo, caso contrário, o total custo ponderado é máximo.

De acordo com o Gráfico 32 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 e 25 minutos, aumenta a cobertura dos i.r.t.r.m.r na rede da Carris. 66105 i.r.t.r.m.r são cobertos a 100% pela rede da Carris. A 5 minutos são cobertos 64667 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 65696 (99%), a 20 minutos são cobertos 65703 (99%) e a 25 minutos são cobertos 65712 (99%). Como a deslocação até às estações da carris tem uma cobertura máxima, o custo total ponderado das estações da Carris até às variáveis é mínimo.

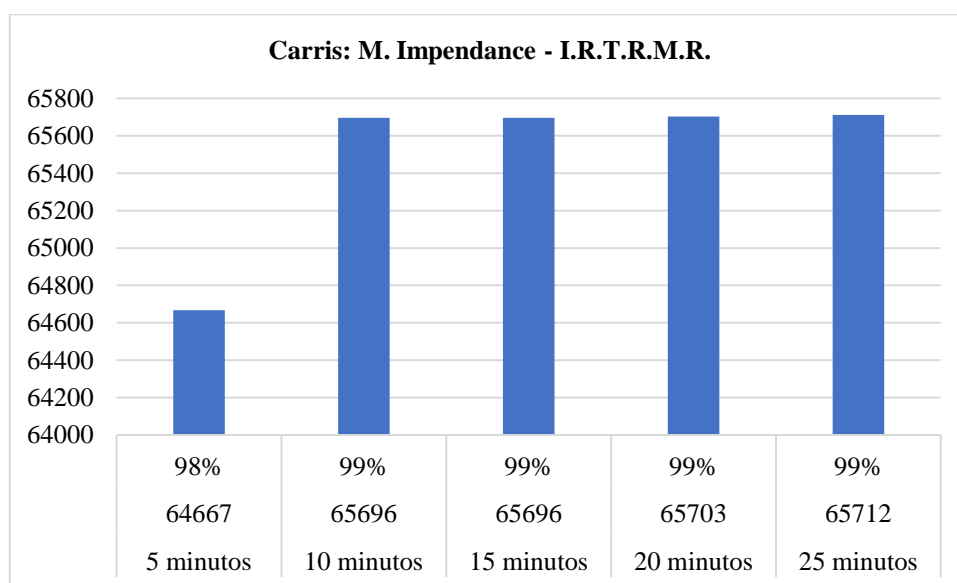


Gráfico 32: Localização-Alocação (M. Impendance): I.R.T.R.M.R

De acordo com o Gráfico 33 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 e 25 minutos, aumenta a cobertura dos i.r. na rede da Carris. 87644 i. residentes são cobertos a 100% pela rede da Carris. A 5 minutos são cobertos 85802 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 87137 (99%), a 20 minutos são cobertos 87146 (99%) e a 25 minutos são cobertos 87156 (99%). Como a deslocação até às estações da Carris tem uma a cobertura máxima, o custo total ponderado das estações da Carris até às variáveis é mínimo.

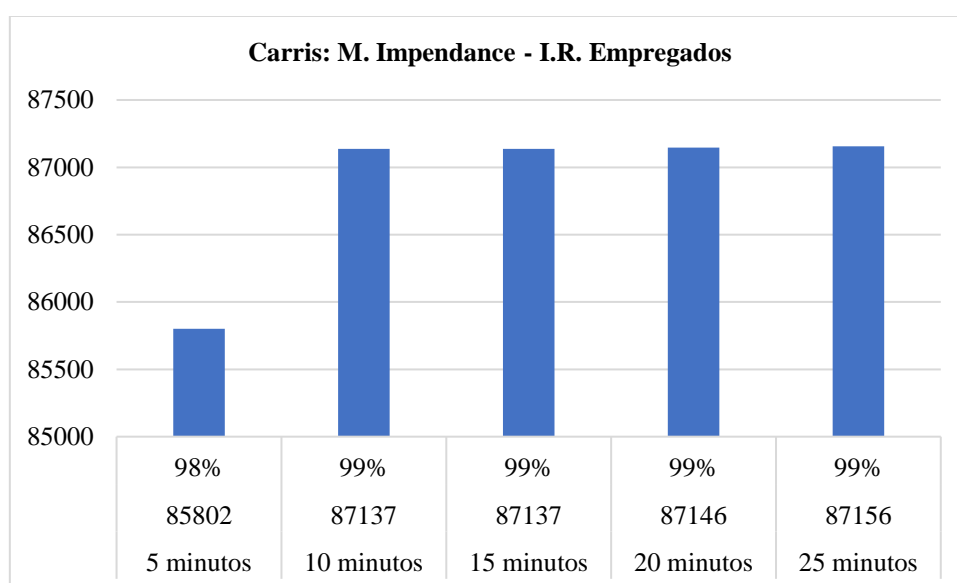


Gráfico 33: Localização-Alocação (M. Impendance): I. R. Empregados

De acordo com o gráfico 34 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 e 25 minutos, aumenta a cobertura dos indivíduos residentes na rede da Carris. 208844 i. residentes são cobertos a 100% pela rede da Carris. A 5 minutos são cobertos 204840 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 207671 (99%), a 20 minutos são cobertos 207700 (99%) e a 25 minutos são cobertos 207729 (99%). Como a deslocação até às estações da Carris tem uma a cobertura máxima, o custo total ponderado das estações da Carris até às variáveis é mínimo.

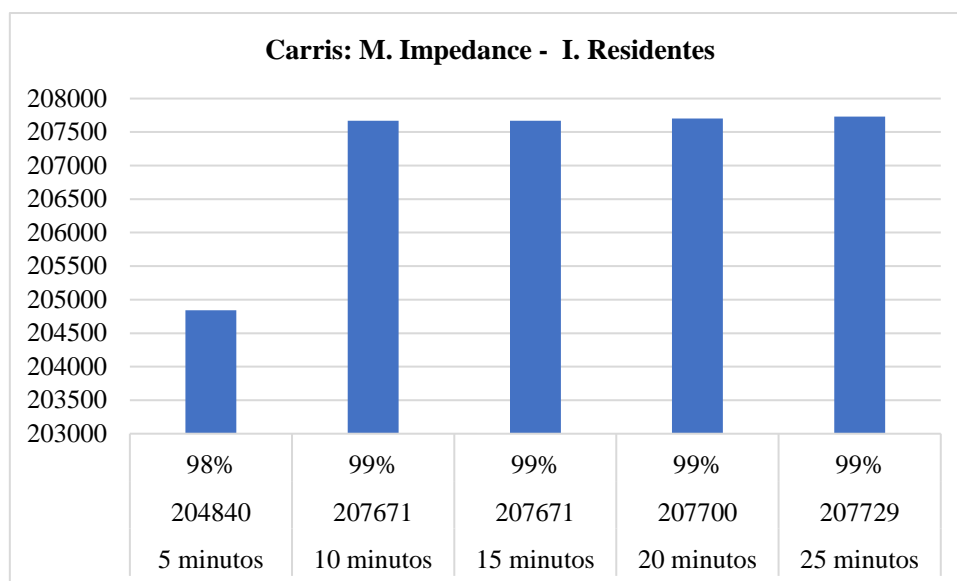


Gráfico 34: Localização-Alocação (M. Impedance): I. Residentes

De acordo com a tabela 42 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 a 25 minutos, a cobertura da rede da Carris é superior a 82% na seguinte variável: indivíduos residentes na faixa etária 15 a 19. As faixas etárias entre 10 a 13, 14 a 19, 20 a 24 e 20 a 64 têm uma cobertura da rede da Carris superior a 98%, pois a soma do custo total ponderado das estações da carris até às variáveis é minimizado, enquanto que os indivíduos residentes 15 a 19 tem um custo total ponderado maior.

I. residentes (10-13): a 5 minutos são cobertos 7240 (98%), de 10 a 25 minutos são cobertos 7363 (99%).

I. residentes (14-19): a 5 minutos são cobertos 10912 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 11086 (98%), a 20 minutos são cobertos 11089 (99%) e a 25 minutos são cobertos 11090 (99%).

I. residentes (15-19): a 5 minutos são cobertos 9196 (82%), a 10 e 15 minutos são cobertos 9349 (84%), a 20 minutos são cobertos 9352 (84%) e a 25 minutos são cobertos 9353 (84%).

I. residentes (20-24): a 5 minutos são cobertos 10782 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 10908 (100%), a 20 minutos são cobertos 10912 e a 25 minutos são cobertos 10914 (100%).

I. residentes (20-64): a 5 minutos são cobertos 119688 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 121333 (99%), a 20 minutos são cobertos 121349 (99%) e a 25 minutos são cobertos 121360 (99%).

I. residentes 65+: a 5 minutos são cobertos 49551 (99%), a 10 e 15 minutos são cobertos 50089 (100%), a 20 minutos são cobertos 50097 (100%) e a 25 minutos são cobertos 50114 (100%).

Carris: M. Impedance - I.R. por faixa etária						
F. Etária	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	BGRI
10 a 13	7240	7363	7363	7363	7363	7414
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%
15 a 19	9196	9349	9349	9352	9353	11150
%	82%	84%	84%	84%	84%	100%
20 a 24	10782	10908	10908	10912	10914	10961
%	98%	100%	100%	100%	100%	100%
14 a 19	10912	11086	11086	11089	11090	11150
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%
Mais 65	49551	50089	50089	50097	50114	50303
%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
20 a 64	119688	121333	121333	121349	121360	122030
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%

Tabela 42: Localização-Alocação (M. Impedance): Indivíduos residentes por faixa etária

Na tabela 43 verificamos que à medida que aumenta a distância-tempo 5 e 25 minutos, os i.r.e.s. primário, secundário e terciário são abrangidos por mais de 98% pela rede da Carris.

I.r.e.s primário: a 5 minutos são cobertos 268 (96%), de 10 a 25 minutos são cobertos 276 (99%).

I.r.e.s secundário: a 5 minutos são cobertos 9084 (98%), de 10 a 25 minutos são cobertos 9213 (99%).

I.r.e.s terciário: a 5 minutos são cobertos 76450 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 77648 (99%), a 20 minutos são cobertos 77657 (99%) e a 25 minutos são cobertos 77667 (99%)

Carris: M.I - I.R.E.S. Primário						
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	Total
Quantidade	268	276	276	276	276	280
%	96%	99%	99%	99%	99%	100%
Carris: M.I - I.R.E.S. Secundário						
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	Total
Quantidade	9084	9213	9213	9213	9213	9281
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%
Carris: M.I - I.R.E.S. Terciário						
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	Total
Quantidade	76450	77648	77648	77657	77667	78083
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%

Tabela 43: Localização-Alocação (M.Impedance): I. Residentes Empregados por sector

Problema tipo: Maximize Coverage

Maximize Coverage - As instalações estão localizadas de forma a que o maior número possível de pontos de procura sejam alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação.

De acordo com o Gráfico 35 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 e 25 minutos, aumenta a cobertura dos i.r.t.r.m.r na rede da Carris. 66105 i.r.t.r.m.r são cobertos a 100% pela rede da Carris. A 5 minutos são cobertos 64667 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 65696 (99%), a 20 minutos são cobertos 65703 (99%) e a 25 minutos são cobertos 65712 (99%). Os pontos de procura alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação 5 a 25 minutos abrange mais de 98% da variável em estudo.

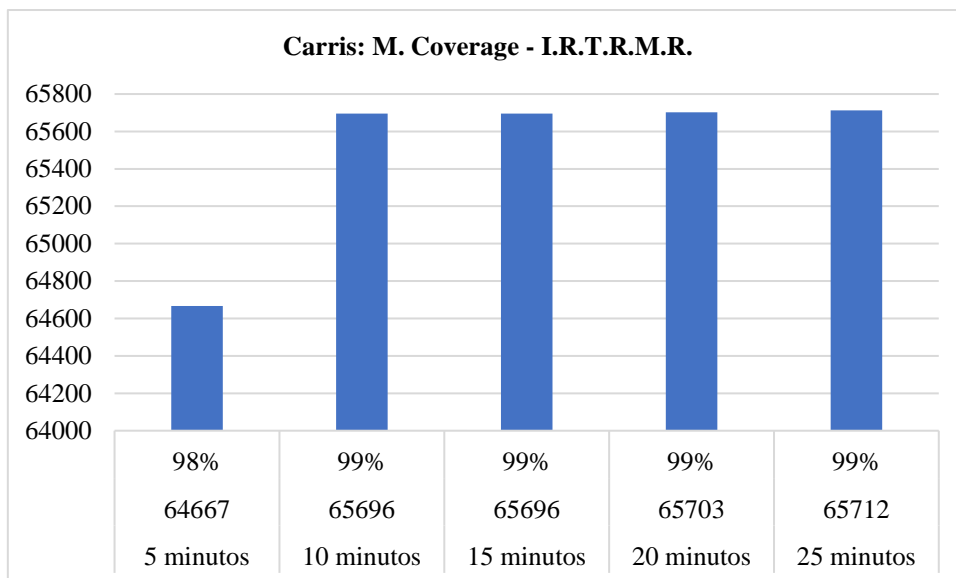


Gráfico 35: Localização-Alocação (M. Coverage): I.R.T.R.M.R

De acordo com o Gráfico 36 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 e 25 minutos, aumenta a cobertura dos indivíduos residentes empregados na rede da Carris. 87644 i. residentes são cobertos a 100% pela rede da Carris. A 5 minutos são cobertos 85802 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 87137 (99%), a 20 são cobertos 87146 (99%) e a 25 minutos são cobertos 87156 (99%). Os pontos de procura alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação 5 a 25 minutos abrange mais de 98% da variável em estudo.

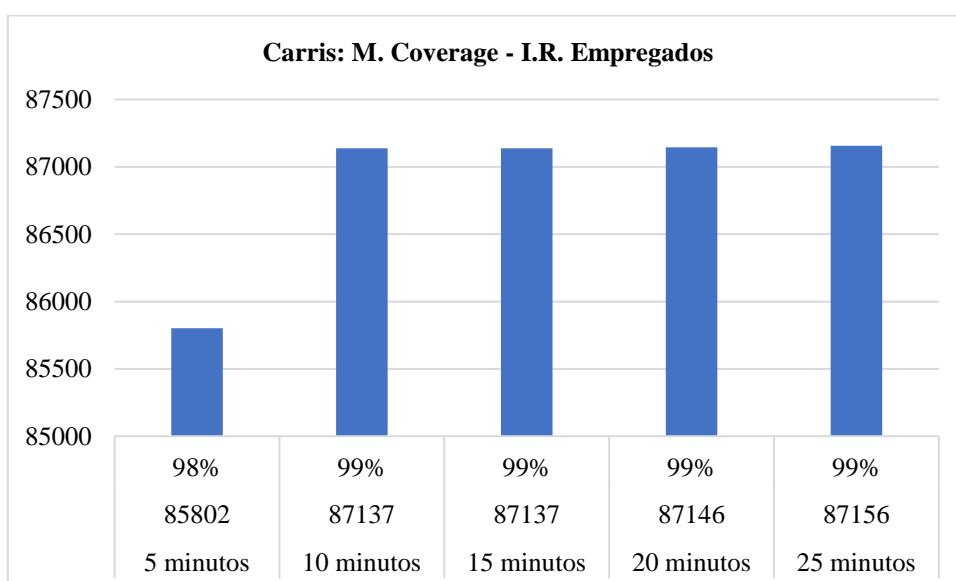


Gráfico 36: Localização-Alocação (M. Coverage): I. R. Empregados

De acordo com o Gráfico 37 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 e 25 minutos, aumenta a cobertura dos i.residentes na rede da Carris. 208844 i. residentes são cobertos a 100% pela rede da Carris. A 5 minutos são cobertos 204840 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 207671 (99%), a 20 minutos são cobertos 207700 (99%) e a 25 minutos são cobertos 207729 (99%). Os pontos de procura alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação 5 a 25 minutos abrange mais de 98% da variável em estudo.

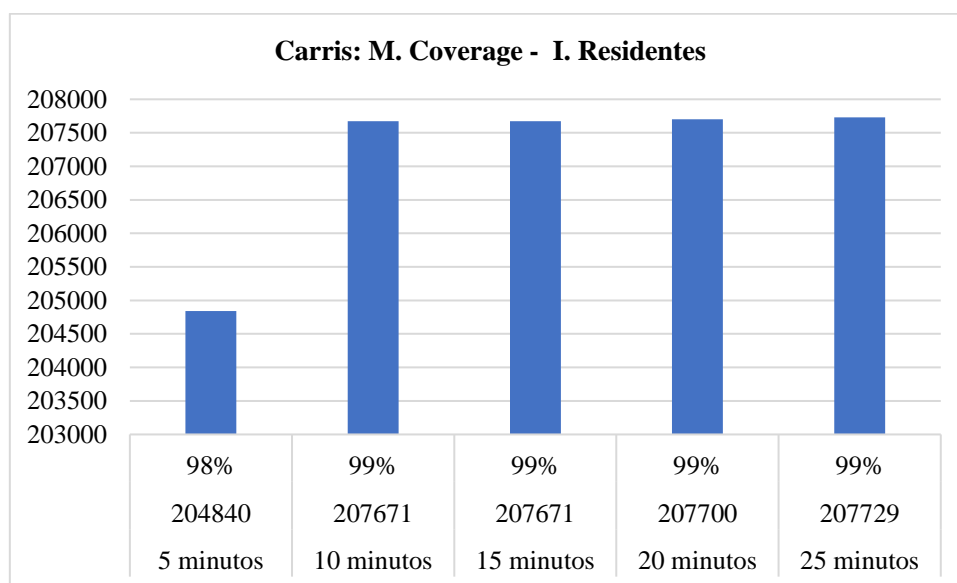


Gráfico 37: Localização-Alocação (M. Coverage): I. Residentes

De acordo com a Tabela 44 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 a 25 minutos, a cobertura da rede da Carris é superior a 82% para a seguinte variável: na faixa etária 15 a 19. As faixas etárias entre 10 a 13, 14 a 19, 20 a 24 e 20 a 64 têm mais pontos de procura alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação, enquanto que na faixa etária 15 a 19 os pontos de procura alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação, 5 a 25 minutos é maior.

I. residentes (10-13): a 5 minutos são cobertos 7240 (98%), de 10 a 25 minutos são cobertos 7363 (99%).

I. residentes (14-19): a 5 minutos são cobertos 10912 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 11086 (98%), a 20 minutos são cobertos 11089 (99%) e a 25 minutos são cobertos 11090 (99%).

I. residentes (15-19): a 5 minutos são cobertos 9196 (82%), a 10 e 15 minutos são cobertos 9349 (84%), a 20 minutos são cobertos 9352 (84%) e a 25 minutos são cobertos 9353 (84%).

I. residentes (20-24): a 5 minutos são cobertos 10782 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 10908 (100%), a 20 minutos são cobertos 10912 e a 25 minutos são cobertos 10914 (100%).

I. residentes (20-64): a 5 minutos são cobertos 119688 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 121333 (99%), a 20 minutos são cobertos 121349 (99%) e a 25 minutos são cobertos 121360 (99%).

I. residentes 65+: a 5 minutos são cobertos 49551 (99%), a 10 e 15 minutos são cobertos 50089 (100%), a 20 minutos são cobertos 50097 (100%) e a 25 minutos são cobertos 50114 (100%).

Carris: M. Coverage - I.R. por faixa etária						
F. Etária	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	BGRI
10 a 13	7240	7363	7363	7363	7363	7414
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%
15 a 19	9196	9349	9349	9352	9353	11150
%	82%	84%	84%	84%	84%	100%
20 a 24	10782	10908	10908	10912	10914	10961
%	98%	100%	100%	100%	100%	100%
14 a 19	10912	11086	11086	11089	11090	11150
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%
Mais 65	49551	50089	50089	50097	50114	50303
%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
20 a 64	119688	121333	121333	121349	121360	122030
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%

Tabela 44: Localização-Alocação (M. Coverage): Indivíduos residentes por faixa etária

Na Tabela 45 verificamos que os pontos de procura alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação 5 a 25 minutos abrangem mais de 96% da variável em estudo.

I.r.e.s primário: a 5 minutos são cobertos 268 (96%), de 10 a 25 minutos são cobertos 276 (99%).

I.r.e.s secundário: a 5 minutos são cobertos 9084 (98%), de 10 a 25 minutos são cobertos 9213 (99%).

I.r.e.s terciário: a 5 minutos são cobertos 76450 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 77648 (99%), a 20 minutos são cobertos 77657 (99%) e a 25 minutos são cobertos 77667 (99%).

Carris: M. Coverage - I.R.E.S. Primário						
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	Total
Quantidade	268	276	276	276	276	280
%	96%	99%	99%	99%	99%	100%
Carris: M. Coverage - I.R.E.S. Secundário						
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	Total
Quantidade	9084	9213	9213	9213	9213	9281
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%
Carris: M. Coverage - I.R.E.S. Terciário						
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	Total
Quantidade	76450	77648	77648	77657	77667	78083
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%

Tabela 45: Localização-Alocação (M.Coverage): I. Residentes Empregados por setor

Problema tipo: Minimize Facilities

Minimize Facilities - As instalações estão localizadas de forma que tantos pontos de procura quanto possível sejam alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação. O número de instalações necessárias para cobrir os pontos de procura é minimizado.

De acordo com o Gráfico 38 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 e 25 minutos, aumenta a cobertura dos i.r.t.r.m.r na rede da Carris. 66105 i.r.t.r.m.r são cobertos a 100% pela rede da Carris. A 5 minutos são cobertos 64667 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 65696 (99%), a 20 minutos são cobertos 65703 (99%) e a 25 minutos são cobertos 65712 (99%). Mais de 98% da variável em estudo é coberta pelos pontos de procura da rede da Carris, alocados às instalações de solução entre 5 e 25 minutos.

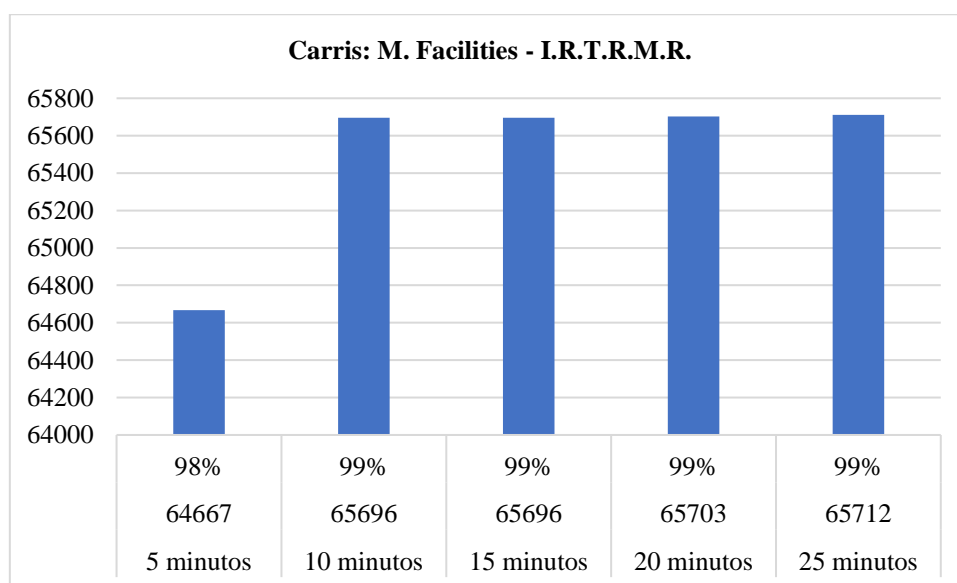


Gráfico 38: Localização-Alocação (M. Facilities): I.R.T.R.M.R

De acordo com o Gráfico 39 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 e 25 minutos, aumenta a cobertura dos i.r. na rede da Carris. 87644 i. residentes são cobertos a 100% pela rede da Carris. A 5 minutos são cobertos 85802 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 87137 (99%), a 20 são cobertos 87146 (99%) e a 25 minutos são

cobertos 87156 (99%). Mais de 98% da variável em estudo é coberta pelos pontos de procura da rede da Carris, alocados às instalações de solução entre 5 e 25 minutos.

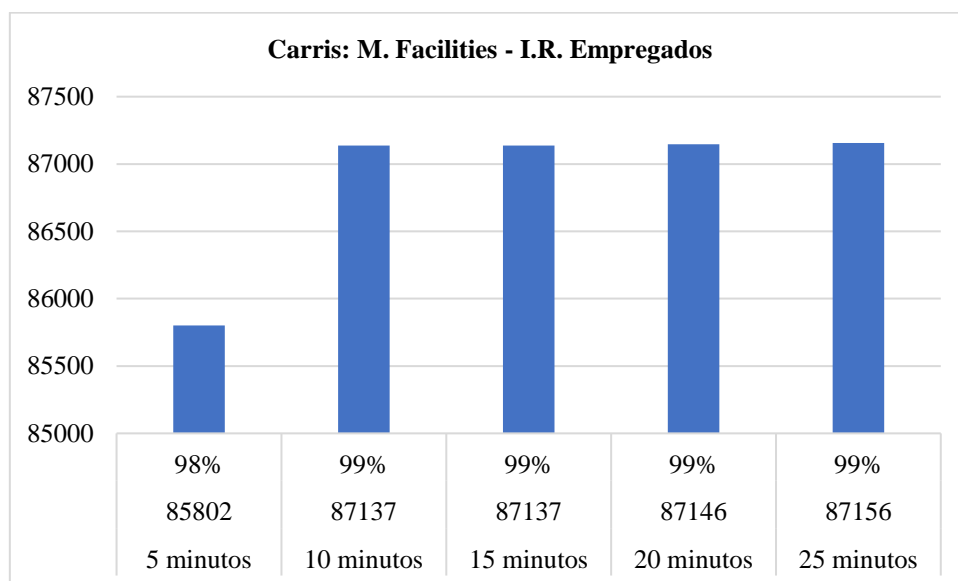


Gráfico 39: Localização-Alocação (M. Facilities): I. R. Empregados

De acordo com o Gráfico 40 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 e 25 minutos, aumenta a cobertura dos indivíduos residentes na rede da Carris. 208844 i. residentes são cobertos a 100% pela rede da Carris. A 5 minutos são cobertos 204840 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 207671 (99%), a 20 minutos são cobertos 207700 (99%) e a 25 minutos são cobertos 207729 (99%). Os pontos de procura alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação 5 a 25 minutos abrange mais de 98% da variável em estudo.

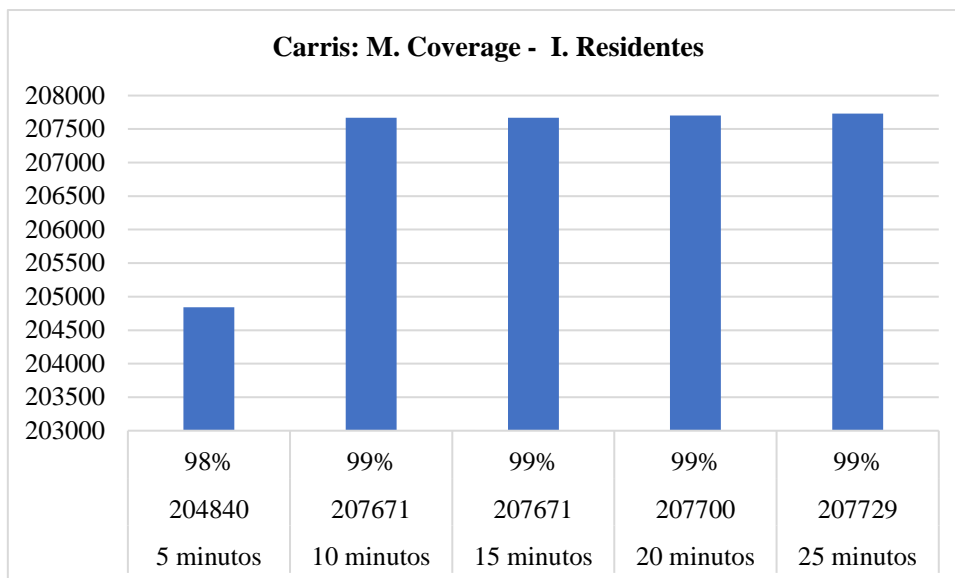


Gráfico 40: Localização-Alocação (M. Coverage): I. Residentes

De acordo com a Tabela 46 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 a 25 minutos, a cobertura da rede da carris é superior a 82% para a seguinte variável: na faixa etária 15 a 19, ou seja, há menos instalações localizadas de forma que os pontos de procura sejam alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação, para que a quantidade necessária de instalações para cobrir os pontos de procura sejam minimizados. As faixas etárias entre 10 a 13, 14 a 19, 20 a 24 e 20 a 64 tem as instalações localizadas de forma que tantos pontos de procura quanto possível sejam alocados às instalações de solução dentro do limite de deslocação e o número de instalações necessárias para cobrir os pontos de procura é minimizado.

I. residentes (10-13): a 5 minutos são cobertos 7240 (98%), de 10 a 25 minutos são cobertos 7363 (99%).

I. residentes (14-19): a 5 minutos são cobertos 10912 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 11086 (98%), a 20 minutos são cobertos 11089 (99%) e a 25 minutos são cobertos 11090 (99%).

I. residentes (15-19): a 5 minutos são cobertos 9196 (82%), a 10 e 15 minutos são cobertos 9349 (84%), a 20 minutos são cobertos 9352 (84%) e a 25 minutos são cobertos 9353 (84%).

I. residentes (20-24): a 5 minutos são cobertos 10782 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 10908 (100%), a 20 minutos são cobertos 10912 e a 25 minutos são cobertos 10914 (100%).

I. residentes (20-64): a 5 minutos são cobertos 119688 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 121333 (99%), a 20 minutos são cobertos 121349 (99%) e a 25 minutos são cobertos 121360 (99%).

I. residentes 65+: a 5 minutos são cobertos 49551 (99%), a 10 e 15 minutos são cobertos 50089 (100%), a 20 minutos são cobertos 50097 (100%) e a 25 minutos são cobertos 50114 (100%).

Carris: M. Facilities - I.R. por faixa etária						
F. Etária	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	BGRI
10 a 13	7240	7363	7363	7363	7363	7414
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%
15 a 19	9196	9349	9349	9352	9353	11150
%	82%	84%	84%	84%	84%	100%
20 a 24	10782	10908	10908	10912	10914	10961
%	98%	100%	100%	100%	100%	100%
14 a 19	10912	11086	11086	11089	11090	11150
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%
Mais 65	49551	50089	50089	50097	50114	50303
%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
20 a 64	119688	121333	121333	121349	121360	122030
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%

Tabela 46: Localização-Alocação (M. Coverage): Indivíduos residentes por faixa etária

Na Tabela 47 verificamos que mais de 96% dos i.r.e.s. primário, secundário e terciário tem a quantidade mínima de pontos de procura alocados às instalações de solução entre 5 a 25 minutos.

I.r.e.s primário: a 5 minutos são cobertos 268 (96%), de 10 a 25 minutos são cobertos 276 (99%).

I.r.e.s secundário: a 5 minutos são cobertos 9084 (98%), de 10 a 25 minutos são cobertos 9213 (99%).

I.r.e.s terciário: a 5 minutos são cobertos 76450 (98%), a 10 e 15 minutos são cobertos 77648 (99%), a 20 minutos são cobertos 77657 (99%) e a 25 minutos são cobertos 77667 (99%).

Carris: M. Facilities - I.R.E.S. Primário						
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	Total
Quantidade	268	276	276	276	276	280
%	96%	99%	99%	99%	99%	100%
Carris: M. Facilities - I.R.E.S. Secundário						
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	Total
Quantidade	9084	9213	9213	9213	9213	9281
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%
Carris: M. Facilities - I.R.E.S. Terciário						
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	Total
Quantidade	76450	77648	77648	77657	77667	78083
%	98%	99%	99%	99%	99%	100%

Tabela 47: Localização-Alocação (M. Facilities): I. Residentes Empregados por sector

Problema tipo: Maximize Attendance

Maximize Attendance - As instalações são escolhidas de tal forma que tanto quanto possível o peso da procura é alocado para as instalações, assumindo que o peso da procura diminui em relação à distância entre a instalação e o ponto de procura. Ou seja, quanto maior a distância a percorrer até às paragens da Carris menor o número de pessoas a usarem essa estação de carris e menor é o peso de procura dos pontos.

De acordo com o Gráfico 41 verificamos que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 e 25 minutos aumenta o peso de procura alocado entre a instalação e os pontos de procura, dos indivíduos residentes trabalham e residem no município de residência ou seja, quanto maior a distância a percorrer até à estação da carris maior o número de pessoas a usarem essa estação de carris e menor é o peso dos pontos. A 5 minutos são cobertos 48190 (73%), a 10 minutos são cobertos 56751 (86%), a 15 minutos são cobertos

59732 (90%), a 20 minutos são cobertos 61225 (93%) e a 25 minutos são cobertos 62122 (94%).

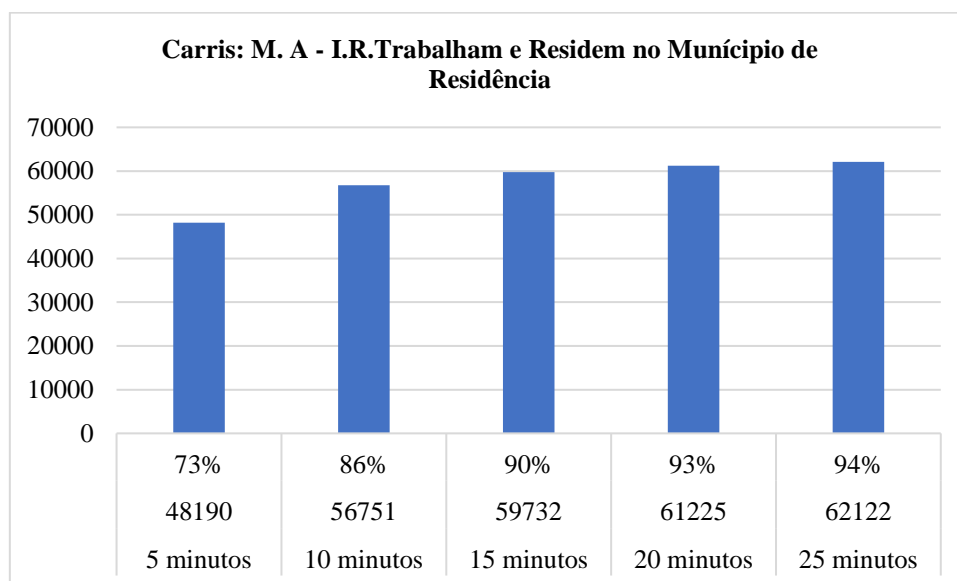


Gráfico 41: Localização-Alocação (M. Attendance): I. R. Trabalham no Município de Residência

De acordo com o Gráfico 42 verificamos que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 e 25 minutos, aumenta o peso de procura alocado entre a instalação e os pontos de procura dos indivíduos residentes empregados, ou seja, quanto maior a distância a percorrer até à estação da Carris maior o número de pessoas a usarem essa estação de Carris e menor é o peso dos pontos. A 5 minutos são cobertos 64026 (73%), a 10 minutos são cobertos 75327 (86%), a 15 minutos são cobertos 79264 (90%), a 20 minutos são cobertos 81234 (93%) e a 25 minutos são cobertos 82418 (94%).

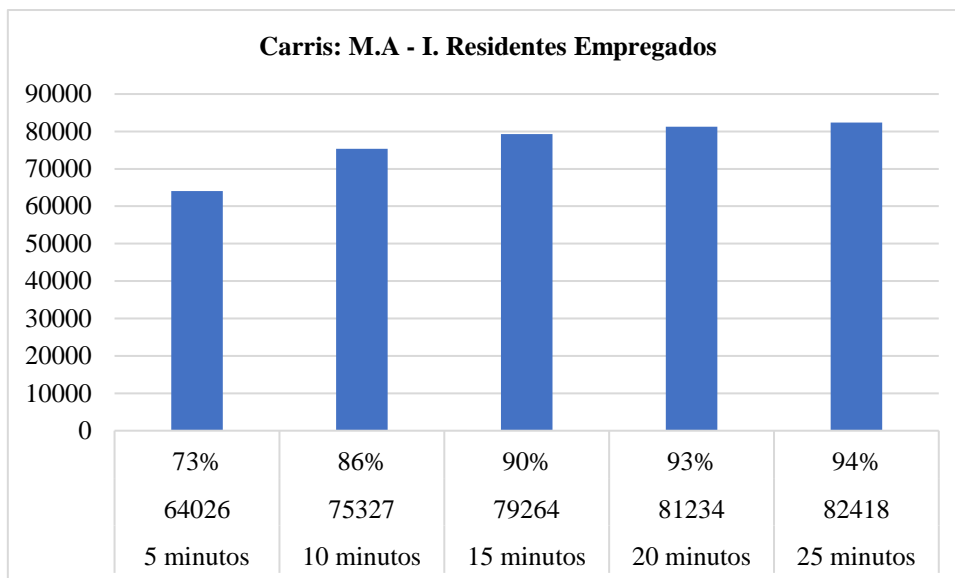


Gráfico 42: Localização-Alocação (M. Attendance): I. R. Empregados

De acordo com o gráfico 43 verificamos que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 e 25 minutos aumenta o peso de procura alocado entre a instalação e os pontos de procura, ou seja quanto maior a distância a percorrer até à estação da carris maior o número de pessoas a usarem essa estação de carris e menor é o peso dos pontos. A 5 minutos são cobertos 153399 (73%), a 10 minutos são cobertos 179996 (86%), a 15 minutos são cobertos 189221 (91%), a 20 minutos são cobertos 193839 (93%) e a 25 minutos são cobertos 196616 (94%).

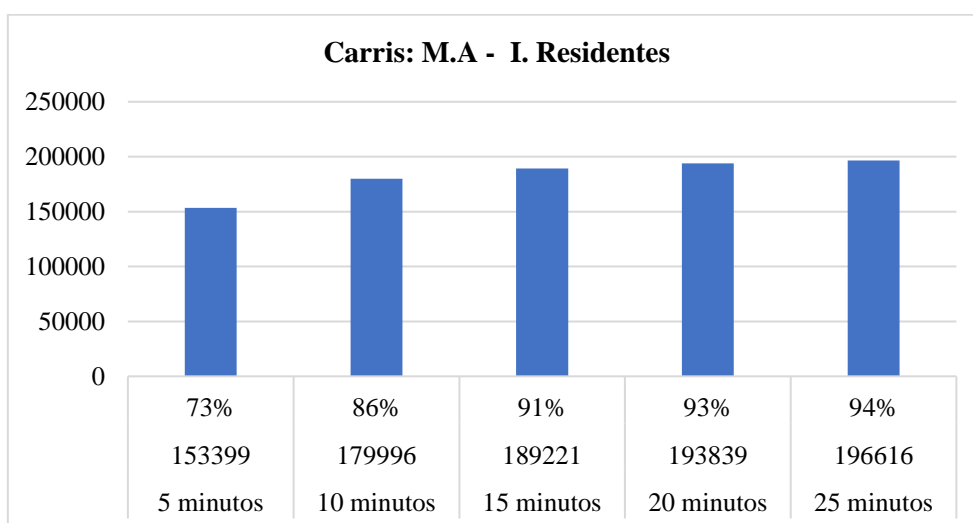


Gráfico 43: Localização-Alocação (M. Attendance): I. Residentes

De acordo com a tabela 48 observamos que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 a 25 minutos para as variáveis, 14 a 19, 15 a 19, 20 a 24 e 20 a 64 aumenta o peso de procura alocado entre a instalação e os pontos de procura, ou seja, quanto maior a distância a percorrer até à estação da carris maior o número de pessoas a usarem essa estação de carris e menor é o peso dos pontos. A variável 10 a 13 tem um menor peso de procura alocado entre a instalação e o ponto de procura, ou seja, maior é o peso dos pontos e maior é a sua deslocação até às estações da Carris.

I. residentes (10-13): a 5 minutos são cobertos 5447 (73%), a 10 minutos são cobertos 6382 (86%) a 15 minutos são cobertos 6709 (90%), a 20 minutos são cobertos 6872 (93%) e a 25 minutos são cobertos 7363 (99%).

I. residentes (14-19): a 5 minutos são cobertos 8224 (74%), a 10 são cobertos 9627 (86%), a 15 minutos são cobertos 10113 (91%), a 20 minutos são cobertos 10357 (93%) e a 25 minutos são cobertos 10504 (94%).

I. residentes (15-19): a 5 minutos são cobertos 9641 (62%), a 10 minutos são cobertos 8122 (73%), a 15 minutos são cobertos 8531 (77%), a 20 minutos são cobertos 8736 (78%) e a 25 minutos são cobertos 8859 (79%).

I. residentes (20-24): a 5 minutos são cobertos 8084 (74%), a 10 minutos são cobertos 9476 (86%), a 15 minutos são cobertos 9953 (91%), a 20 minutos são cobertos 10193 e a 25 minutos são cobertos 10337 (94%).

I. residentes (20-64): a 5 minutos são cobertos 89494 (73%), a 10 são cobertos 105094 (86%), a 15 minutos são cobertos 110507 (91%), a 20 minutos são cobertos 113217 (93%) e a 25 minutos são cobertos 114845 (99%).

I. residentes 65+: a 5 minutos são cobertos 37203 (74%), a 10 minutos são cobertos 43550, a 15 minutos são cobertos 45729 (91%), a 20 minutos são cobertos 46821 (93%) e a 25 minutos são cobertos 47479 (94%).

Carris: M.A - I.R. por faixa etária						
F. Etária	5 minutos	10 minutos	15 minutos	20 minutos	25 minutos	BGRI
10 a 13	5447	6382	6709	6872	7363	7414
%	73%	86%	90%	93%	99%	100%
15 a 19	6941	8122	8531	8736	8859	11150
%	62%	73%	77%	78%	79%	100%
20 a 24	8084	9476	9953	10193	10337	10961
%	74%	86%	91%	93%	94%	100%
14 a 19	8224	9627	10113	10357	10504	11150
%	74%	86%	91%	93%	94%	100%
Mais 65	37203	43550	45729	46821	47479	50303
%	74%	87%	91%	93%	94%	100%
20 a 64	89494	105094	110507	113217	114845	122030
%	73%	86%	91%	93%	94%	100%

Tabela 48: Localização-Alocação (M. Attendance): I. Residentes por faixa etária

7.3 Comparação da rede de Metropolitano modelo Localização-Alocação

De acordo com o Gráfico 44 podemos observar que entre 5 e 9 minutos os indivíduos residentes utilizam mais a rede de Metropolitano, do que os indivíduos residentes empregados e os indivíduos residentes que trabalham e residem no município de residência, pois a soma de todos os custos ponderados entre os pontos de procura e as instalações da solução é minimizada.

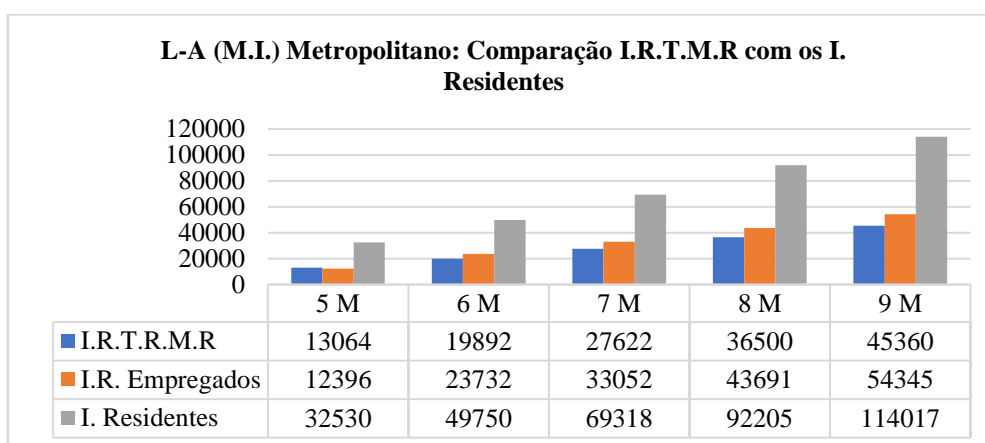


Gráfico 44: L-A (M.I.) Metropolitano: Comparação I.R.T.M.R com os I. Residentes

De acordo com o Gráfico 45 verificamos que os indivíduos residentes utilizam mais a rede de Metropolitano, do que os indivíduos residentes empregados e os indivíduos residentes que trabalham no município de residência, pois tem um maior peso de procura alocado entre as instalações e os pontos de procura.

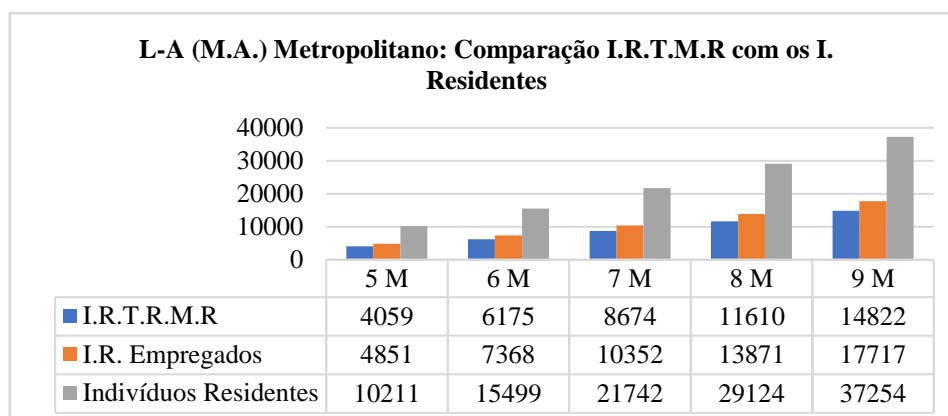


Gráfico 45: L-A (M.A.) Metropolitano: Comparação I.R.T.M.R com os I. Residentes

7.4 Comparação rede da Carris modelo Localização-Alocação

De acordo com o Gráfico 46 podemos observar que entre 5 e 9 minutos os indivíduos residentes utilizam mais a rede da Carris, do que os indivíduos residentes empregados e os indivíduos residentes que trabalham e residem no município de residência, pois a soma de todos os custos ponderados entre os pontos de procura e as instalações da solução é minimizada.

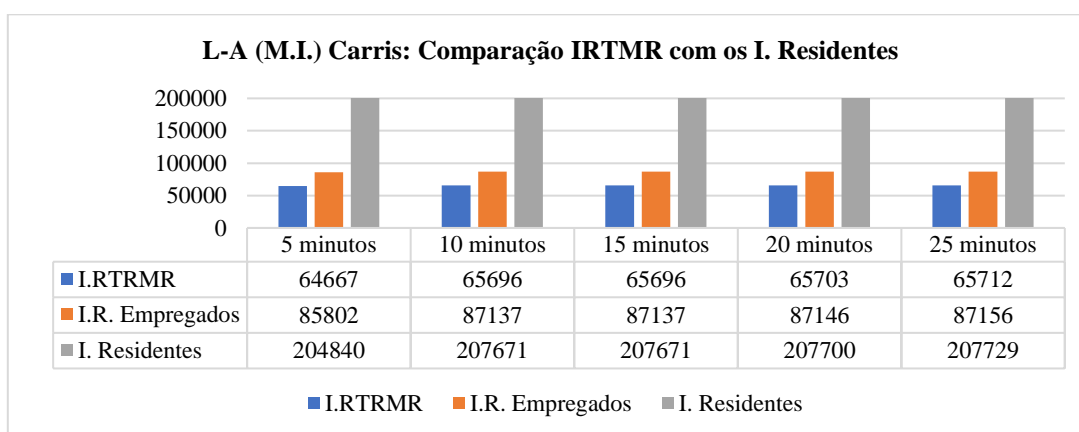


Gráfico 46: L-A (M.I.) Carris: Comparação IRTMR com os I. Residentes

De acordo com o Gráfico 47 verificamos que são os I. residentes que utilizam mais a rede da Carris, do que os indivíduos residentes empregados e os indivíduos residentes que trabalham e residem no município de residência, pois tem um maior peso de procura alocado entre as instalações e os pontos de procura.

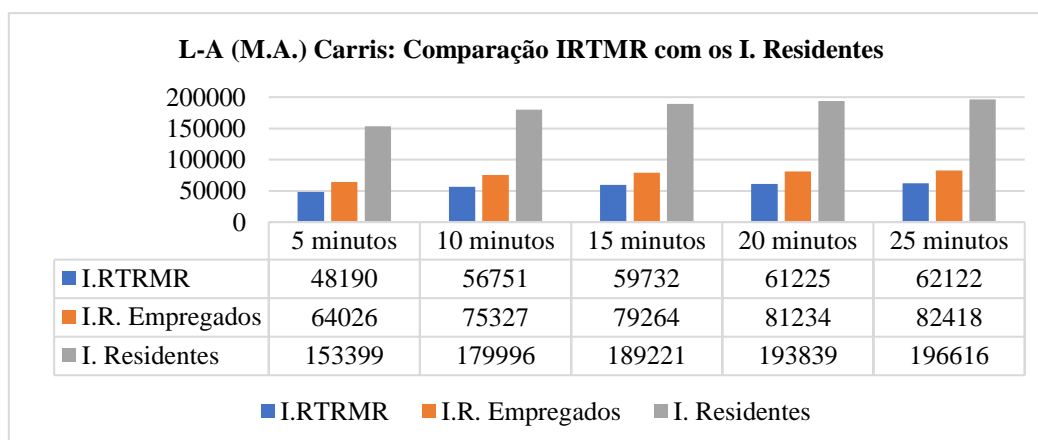


Gráfico 47: L-A (M.A.) Carris: Comparação IRTMR com os I. Residentes

8. CARATERIZAÇÃO DAS REDES DE TRANSPORTE DE METROPOLITANO E DA CARRIS QUANTO À POPULAÇÃO E ATIVIDADES ECONÓMICAS SERVIDAS

8.1 Área de influência da rede Metropolitano e carris: quantidade de população

Uma área de serviço de rede mostra todas as áreas que estão ao alcance de uma instalação. Por exemplo, a área de serviço de cinco quilómetros para um ponto numa rede inclui todas as ruas que podem ser servidas pela respetiva instalação num raio de cinco quilómetros. A área de serviço ajuda a calcular a acessibilidade de uma instalação ou a escolher a instalação mais próxima entre as instalações dentro da área de serviço.

8.2 Área de influência da rede Metropolitano

De acordo com a Tabela 49 e o Gráfico 48 verifica-se que à medida que aumenta a distância-tempo da área de serviço da rede Metropolitano, entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes que residem e trabalham no município de residência cobertos pela rede de Metropolitano e 78% dos 187703 são cobertos pela área de serviço da rede Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 12757 (7%), a 6 minutos são cobertos 21094 (11%), a 7 minutos são cobertos 28179 (15%), a 8 minutos são cobertos 38070 (20%) e a 9 minutos são cobertos 47092 (25%).

Área de influência da Rede Metropolitano: I.R. Trabalham e Residem no município de Residência						
D-T	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	Total
S.A	12757	21094	28179	38070	47092	187703
%	7%	11%	15%	20%	25%	78%

Tabela 49: área de Serviço da rede Metropolitano com a variável indivíduos residentes que trabalham e residem no município de residência

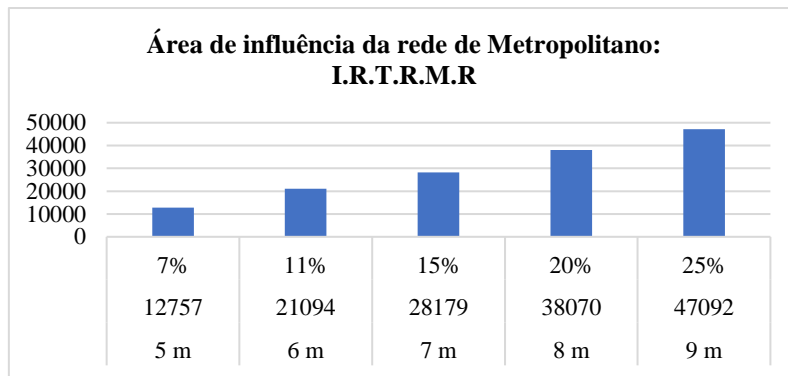


Gráfico 48: Área de Serviço da rede Metropolitano com a variável indivíduos residentes que trabalham e residem no município de residência

De acordo com a Tabela 50 e o Gráfico 49 à medida que aumenta a distância-tempo da área de serviço da rede Metropolitano, entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes e 74% dos 502848 são cobertos pela rede Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 31744 (6%), a 6 minutos são cobertos 53674 (11%), a 7 minutos são cobertos 70420 (14%), a 8 minutos são cobertos 95737 (19%) e a 9 minutos são cobertos 119729 (24%).

Área de influência da Rede Metropolitano: I. Residentes						
D-T	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	Total
S.A	31744	53674	70420	95737	119729	502848
%	6%	11%	14%	19%	24%	74%

Tabela 50 área de serviço: I. Residentes

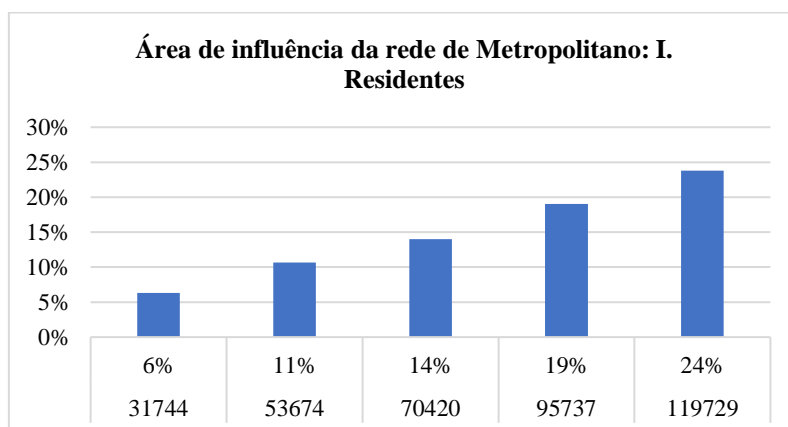


Gráfico 49: Área de influência da rede de Metropolitano: I. Residentes

De acordo com a Tabela 51 e o Gráfico 50 verifica-se que à medida que aumenta a distância-tempo da área de serviço da rede Metropolitano, entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes por faixa etária cobertos pela rede de Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 979 (5%), a 6 minutos são cobertos 1682 (9%), a 7 minutos são cobertos 2248 (12%), a 8 minutos são cobertos 3094 (17%) e a 9 minutos são cobertos 3987 (22%).

Na faixa etária 10 a 13, 67% dos 18006 são cobertos pela área de serviço. Na faixa etária 15 a 19 71% dos 22932 são cobertos pela área de serviço. A 5 minutos são cobertos 1370 (6%), a 6 minutos são cobertos 2383 (10%), a 7 minutos são cobertos 3102 (14%), a 8 minutos são cobertos 4199 (18%) e a 9 minutos são cobertos 5322.

Na faixa etária 14 a 19, 71% são cobertos pela área de serviço. A 5 minutos são cobertos 1626 (6%), a 6 minutos são cobertos 2810 (10%), a 7 minutos são cobertos 3659 (13%), a 8 minutos são cobertos 4956 (18%) e a 9 minutos são cobertos 6302 (23%).

Na faixa etária 20 a 24, 77% 26812 são cobertos pela área de serviço. A 5 minutos são cobertos 1822 (7%), a 6 minutos são cobertos 3032 (11%), a 7 minutos são cobertos 3882 (14%), a 8 minutos são cobertos 5243 (20%) e a 9 minutos são cobertos 6646 (25%).

Na faixa etária 65+, 34% dos 269060 são cobertos pela área de serviço da rede Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 7608 (3%), a 6 minutos são cobertos 13164 (5%), a 7 minutos são cobertos 17116 (6%), a 8 minutos são cobertos 23557 (9%) e a 9 minutos são cobertos 29273 (11%).

Na faixa etária 20 a 64, 74% dos 326375 são cobertos pela área de serviço da rede Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 21013 (6%), a 6 minutos são cobertos 34816 (11%), a 7 minutos são cobertos 46462 (14%), a 8 minutos são cobertos 62380 (19%) e a 9 minutos são cobertos 77826 (24%).

D-T	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	Total
10 a 13	979	1682	2248	3094	3987	18006
%	5%	9%	12%	17%	22%	67%
15 a 19	1370	2383	3102	4199	5322	22932
%	6%	10%	14%	18%	23%	71%
14 a 19	1626	2810	3659	4956	6302	27178
%	6%	10%	13%	18%	23%	71%
20 a 24	1822	3032	3882	5243	6646	26812
%	7%	11%	14%	20%	25%	77%
mais 65	7608	13164	17116	23557	29273	269060
%	3%	5%	6%	9%	11%	34%
20 a 64	21013	34816	46462	62380	77826	326375
%	6%	11%	14%	19%	24%	74%

Tabela 51: Área de influência da rede de Metropolitano: I. Residentes por faixa etária

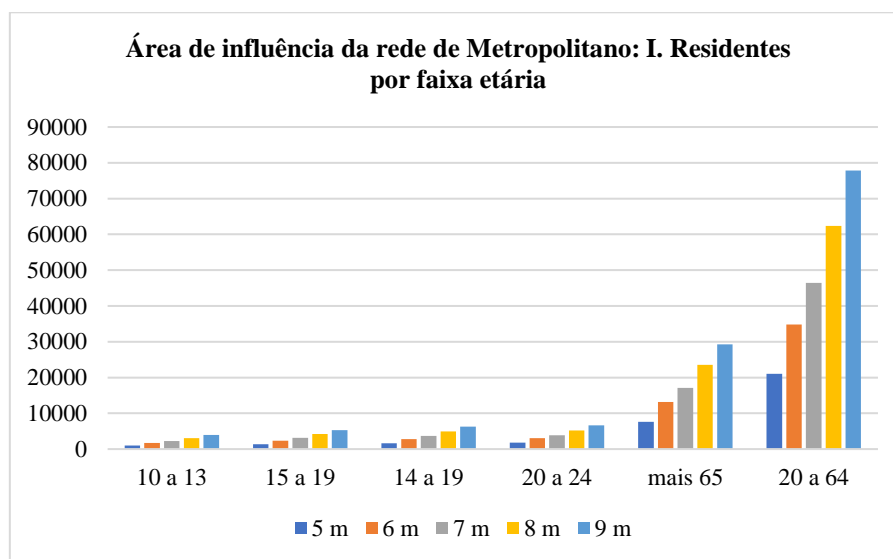


Gráfico 50: Área de influência da rede de Metropolitano: I. Residentes por faixa etária

De acordo com a Tabela 52 e o Gráfico 51 à medida que aumenta a distância-tempo da área de serviço da rede Metropolitano, entre 5 e 9 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes empregados, 77% dos 229566 são cobertos pela rede Metropolitano. A 5 minutos são cobertos 15159 (7%), a 6 minutos são cobertos 25139 (11%), a 7 minutos são cobertos 33725 (15%), a 8 minutos são cobertos 45554 (25%) e a 9 minutos são cobertos 56451 (25%).

Área de influência: I. Residentes Empregados						
D-T	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	Total
S.A	15159	25139	33725	45554	56451	229566
%	7%	11%	15%	20%	25%	77%

Tabela 52: Área de influência: I. Residentes Empregados

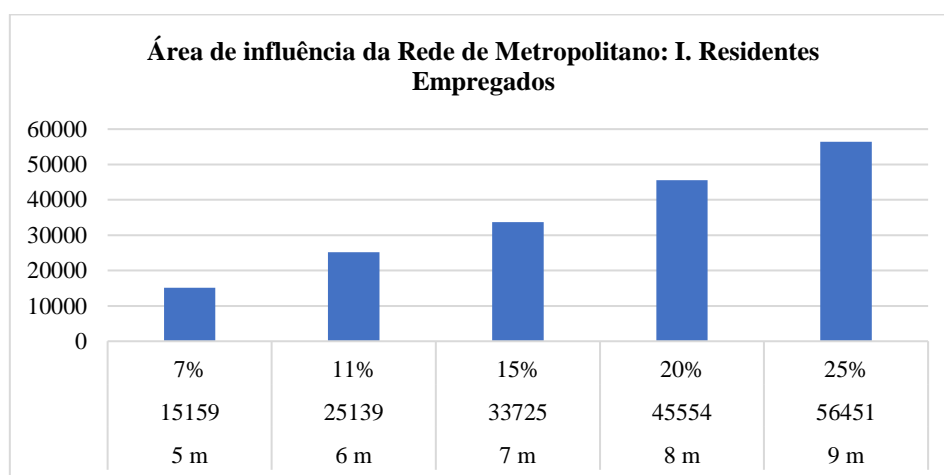


Gráfico 51: Área de influência da Rede de Metropolitano: I. Residentes Empregados

Na Tabela 53 e no Gráfico 52 podemos verificar que os indivíduos residentes empregados do setor secundário e terciário são mais abrangidos pela área de serviço da rede Metropolitana, do que os indivíduos residentes empregados do setor primário.

I.r.e.s. primário: 91% dos 685 são cobertos pela área de serviço da rede Metropolitana; a 5 minutos são cobertos 56 (8%), a 6 minutos são cobertos 92 (13%), a 7 minutos são cobertos 116 (17%), a 8 minutos são cobertos 163 (24%), a 9 minutos são cobertos 197 (29%).

I.r.e.s. secundário: 70% dos 24195 são cobertos pela área de serviço da rede Metropolitana; a 5 minutos são cobertos 1434 (6%), a 6 minutos são cobertos 2443 (10%), a 7 minutos são cobertos 3215 (13%), a 8 minutos são cobertos 4392 (18%), a 9 minutos temos 5570 (23%).

I.r.e.s. terciário: 77% dos 204686 são cobertos pela área de serviço da rede Metropolitana; a 5 minutos são cobertos 13669 (7%), a 6 minutos são cobertos 22604 (11%), a 7 minutos são cobertos 30394 (15%), a 8 minutos são cobertos 40999 (20%), a 9 minutos são cobertos 50684 (77%).

S.A rede Metropolitana: I. R. Sector Primário						
D-T	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	Total
S.A	56	92	116	163	197	685
%	8%	13%	17%	24%	29%	91%
S.A rede Metropolitana: I. R. Sector Secundário						
D-T	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	Total
S.A	1434	2443	3215	4392	5570	24195
%	6%	10%	13%	18%	23%	70%
S.A rede Metropolitana: I. R. Sector Terciário						
D-T	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	Total
S.A	13669	22604	30394	40999	50684	204686
%	7%	11%	15%	20%	25%	77%

Tabela 53: S.A rede Metropolitana: I. R. Setor

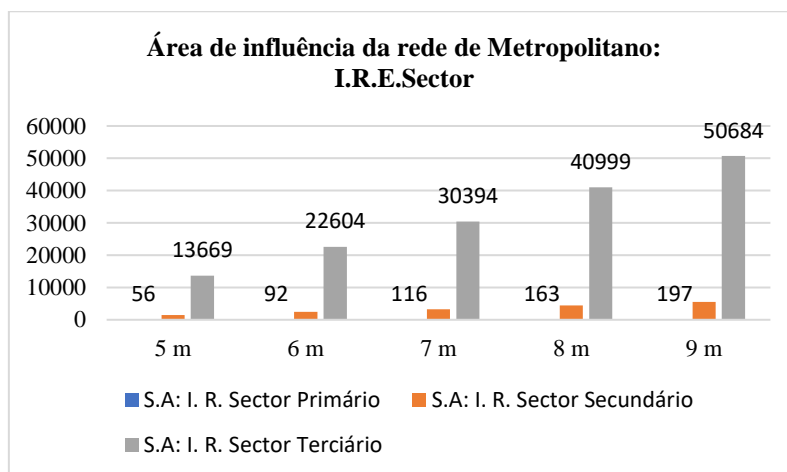


Gráfico 52: Área de influência da rede de Metropolitana: I.R.E.Sector

8.3 Área de influência da rede Carris

No Gráfico 53 e na Tabela 54 podemos observar que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 a 15 minutos aumenta a quantidade de indivíduos residentes empregados abrangidos pela área de serviço. A 5 minutos são cobertos 84843 (33%), a 10 minutos são cobertos 86901 (34%) e a 15 minutos são cobertos 87550 (34%).

Área de influência Rede Carris: I.R. Empregados				
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	Total
Quantidade	84843	86901	87550	259294
%	33%	34%	34%	100%

Tabela 54: Área de influência Rede Carris: I.R. Empregados

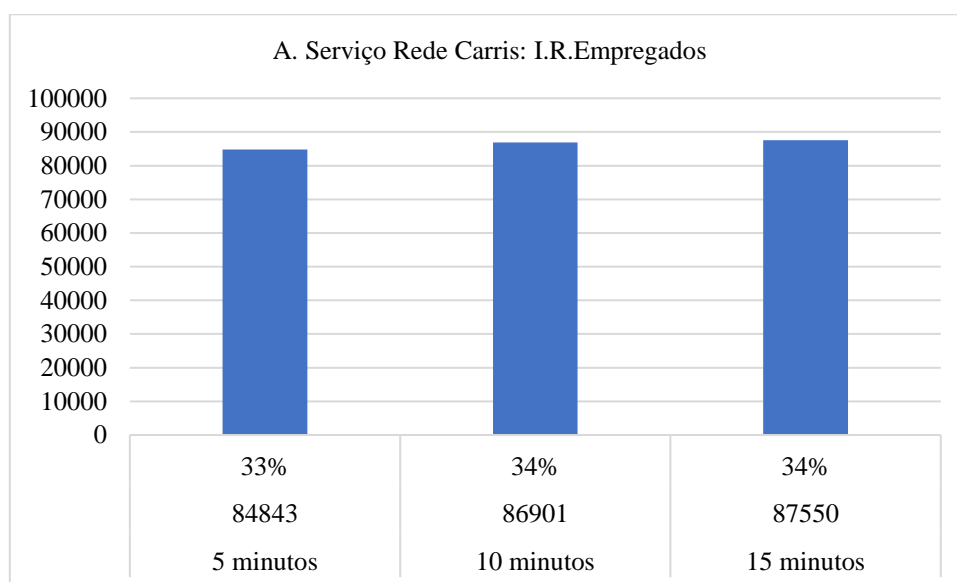


Gráfico 53: Área de influência Rede Carris: I.R. Empregados

No Gráfico 54 e na Tabela 55 podemos observar, que à medida que aumenta a distância-tempo, entre 5 a 15 minutos aumenta a quantidade de indivíduos residentes que trabalham e residem no município de residência abrangidos pela área de serviço. A 5 minutos são cobertos 64020 (33%), a 10 minutos são cobertos 65601 (34%) e a 15 minutos são cobertos 66073 (34%).

Área de influência Rede Carris: I.R.T.R.M.R				
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	Total
Quantidade	64020	65601	66073	195694
%	33%	34%	34%	100%

Tabela 55: Área de influência Rede Carris: I.R.T.R.M.R.

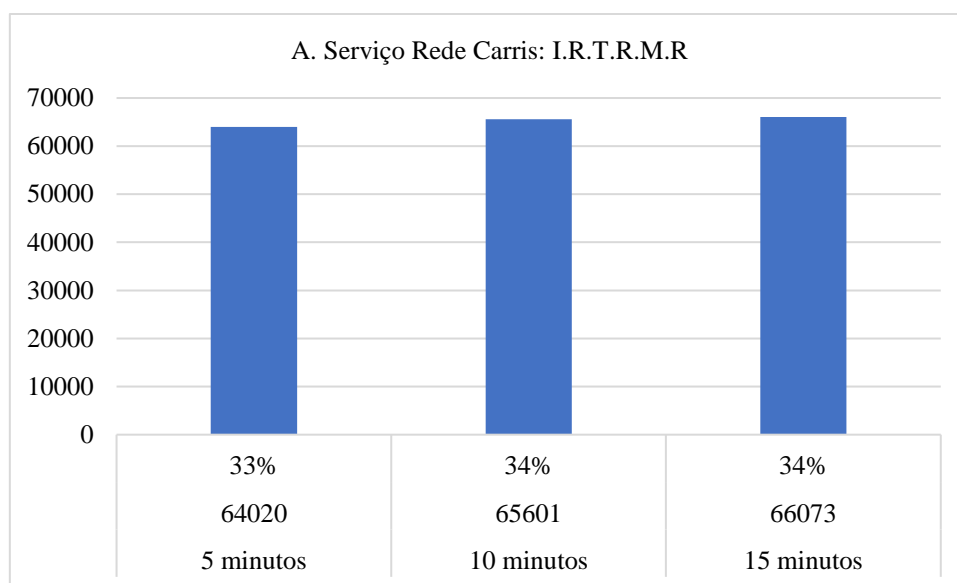


Gráfico 54: Área de influência Rede Carris: I.R.T.R.M.R.

De acordo com a Tabela 56 e o Gráfico 55 à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 a 15 minutos aumenta a cobertura dos indivíduos residentes de 10 a 13, 14 a 19, 15 a 19, 20 a 24, 20 a 64 e 65+.

Na faixa etária 10 a 13, a 5 minutos são abrangidos 7154 (33%), a 10 minutos são abrangidos 7368 (34%) e a 15 minutos são abrangidos 7407 (34%).

Na faixa etária 15 a 19, a 5 minutos são abrangidos 9083 (33%), a 10 minutos são abrangidos 9351 (34%) e a 15 minutos abrange 9390 (34%).

Na faixa etária 20 a 24, a 5 minutos temos 10569 (42%), a 10 minutos temos 10861 (34%) e a 15 minutos temos 10935 (34%).

Na faixa etária 14 a 19, a 5 minutos temos 10788 (33%), a 10 minutos temos 11084 (34%) e a 15 minutos temos 11132 (34%).

Na faixa etária 65+ a 5 minutos temos 49274 (33%), a 10 minutos temos 50136 (33%) e a 15 minutos temos 50282 (34%).

Na faixa etária 20 a 64, a 5 minutos temos 117982 (33%), a 10 minutos temos 120974 (34%) e a 15 minutos temos 121866 (34%).

Área de influência Rede Carris: I.R. por faixa etária				
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	Total
10 a 13	7154	7368	7407	21929
%	33%	34%	34%	100%
15 a 19	9083	9351	9390	27824
%	33%	34%	34%	100%
20 a 24	10569	10861	10935	32365
%	33%	34%	34%	100%
14 a 19	10788	11084	11132	33004
%	33%	34%	34%	100%
65+	49274	50136	50282	149692
%	33%	33%	34%	100%
20 a 64	117982	120974	121866	360822
%	33%	34%	34%	100%

Tabela 56: Área de influência Rede Carris: I.R. por faixa etária

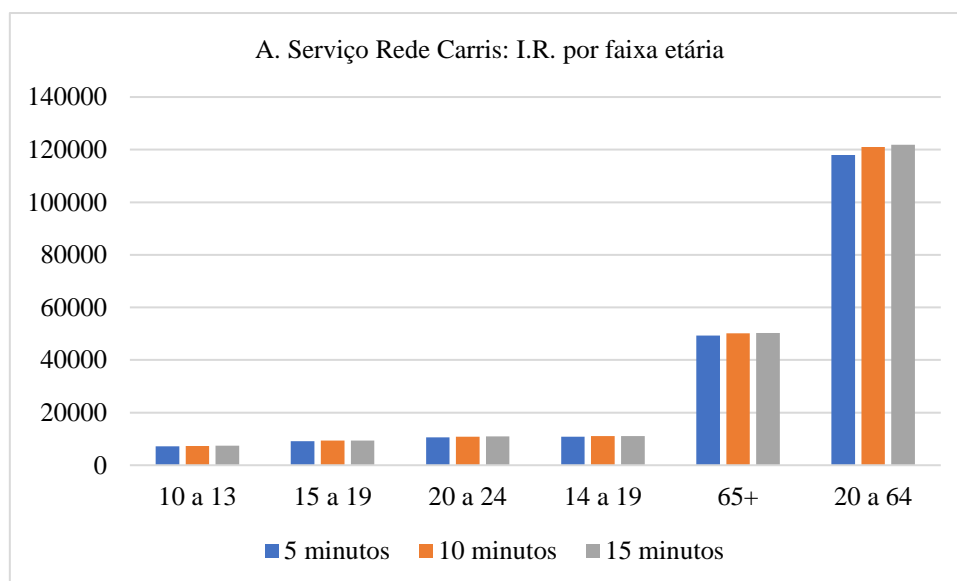


Gráfico 55: Área de influência Rede Carris: I.R. por faixa etária

De acordo com o Gráfico 56 e a Tabela 57 verificamos que à medida que aumenta a distância-tempo da área de serviço da rede da Carris, entre 5 a 15 minutos, aumenta a quantidade de indivíduos residentes empregados por setores primário, secundário e terciário. Os i.r.e.s. primário, a 5 minutos são abrangidos 267 (32%), a 10 minutos abrange 275 (33%) e a 15 minutos abrange 280 (34%). Os i.r.e.s. secundário, a 5 minutos abrange 8949 (33%), a 10 minutos abrange 9180 (34%) e a 15 minutos abrange 9263 (34%). Os i.r.e.s. terciário, a 5 minutos abrange 75627 (33%), a 10 minutos abrange 77446 (34%) e a 15 minutos abrange 78007 (34%).

Área de influência Rede Carris: I.R.E.S.				
D-T	5 minutos	10 minutos	15 minutos	Total
I.R.E.S. Primário	267	275	280	822
%	32%	33%	34%	100%
I.R.E.S. Secundário	8949	9180	9263	27392
%	33%	34%	34%	100%
I.R.E.S. Terciário	75627	77446	78007	231080
%	33%	34%	34%	100%

Tabela 57: Área de influência Rede Carris: I.R.E.S.

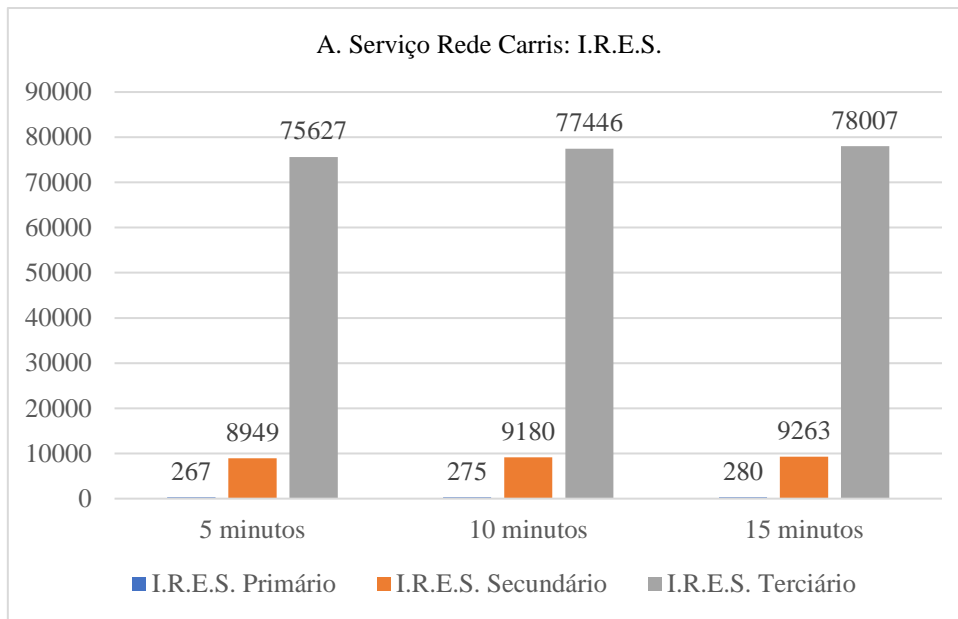


Gráfico 56: Área de influência Rede Carris: I.R.E.S.

8.4 Comparação das variáveis, da área de influência da rede da Carris

De acordo com o Gráfico 57 verificamos que os indivíduos residentes empregados é a variável com maior cobertura entre 5 a 15 minutos, seguido pela variável indivíduos residentes empregados no setor terciário e depois pelos indivíduos residentes que trabalham e residem no município. A variável indivíduos residentes empregados do setor primário e secundário apresenta a menor cobertura com uma diferença acentuada das outras variáveis.

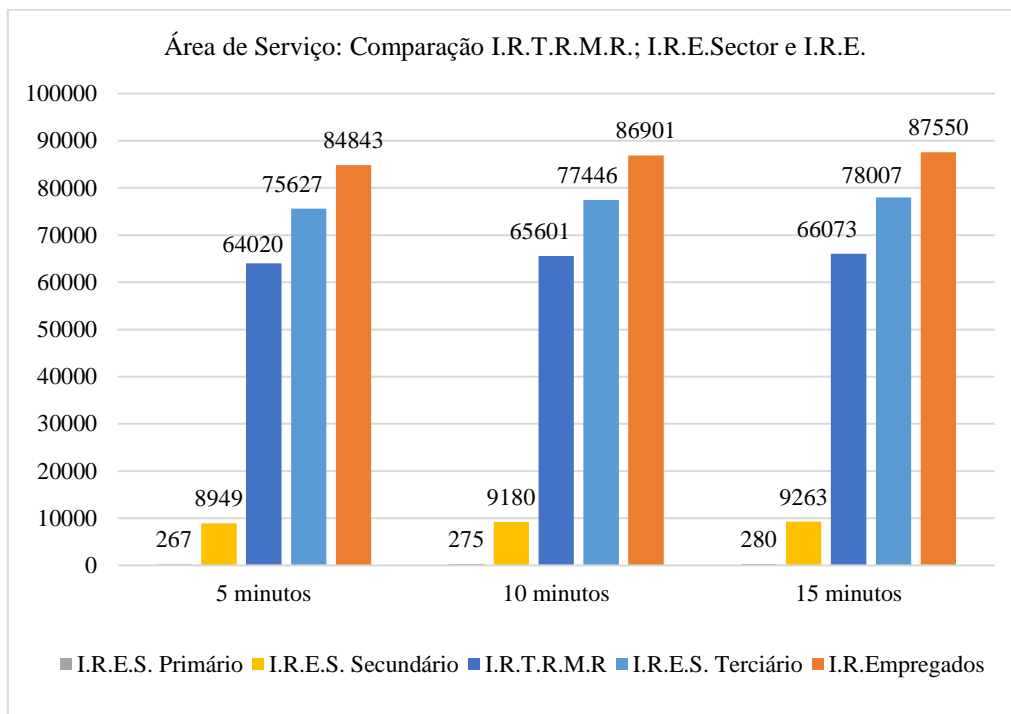


Gráfico 57: Área de Serviço: Comparação I.R.T.R.M.R.; I.R.E.Sector e I.R.E.

8.5 Área de influência da rede Metropolitano e carris: quantidade de atividades económicas

8.5.1 Área de influência rede Metropolitano

De acordo com o Gráfico 58 verificamos que à medida que aumenta a distância tempo entre 5 e 9 minutos, há um maior aumento da quantidade de centros comerciais, do que feiras e mercados na área de serviço da rede de Metropolitano.

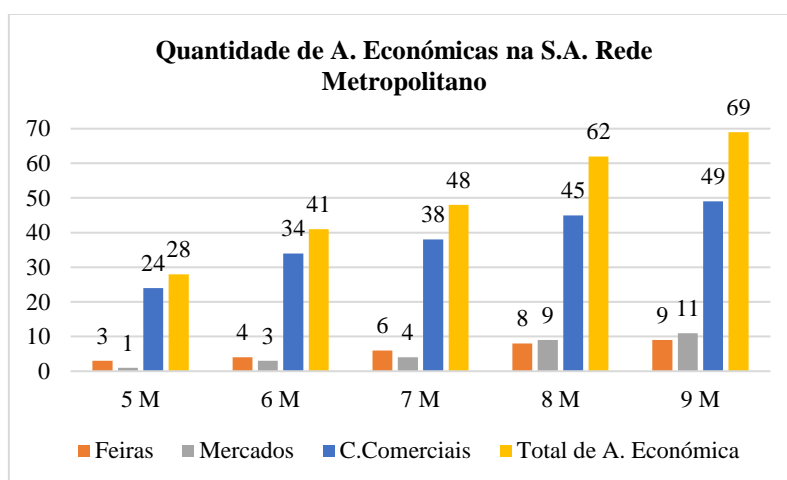


Gráfico 58: Quantidade de A. Económicas S.A. da Rede Metropolitano

8.5.2 Área de influência da rede carris

De acordo com a tabela 58 e o Gráfico 59 verifica-se que à medida que aumenta a distância-tempo entre 5 a 15 minutos, aumenta a cobertura da área de serviço das atividades económicas, à exceção dos centros comerciais.

A 5 minutos são abrangidas 23 feiras, a 10 minutos 26 feiras e a 15 minutos 27 feiras. Na atividade comercial dos mercados verificamos que a 5 minutos são 29 mercados, a 10 minutos são abrangidos 30 mercados e a 15 minutos são abrangidos 31 mercados. A 5 minutos temos 70 centros comerciais, a 10 e 15 minutos temos 72 centros comerciais.

Área de influência rede Carris: A. Económicas				
D-T	5 m	10 m	15 m	Total
Feiras	23	26	27	76
Mercados	29	30	31	90
C. comerciais	70	72	72	214

Tabela 58: Área de influência rede Carris: A. Económicas

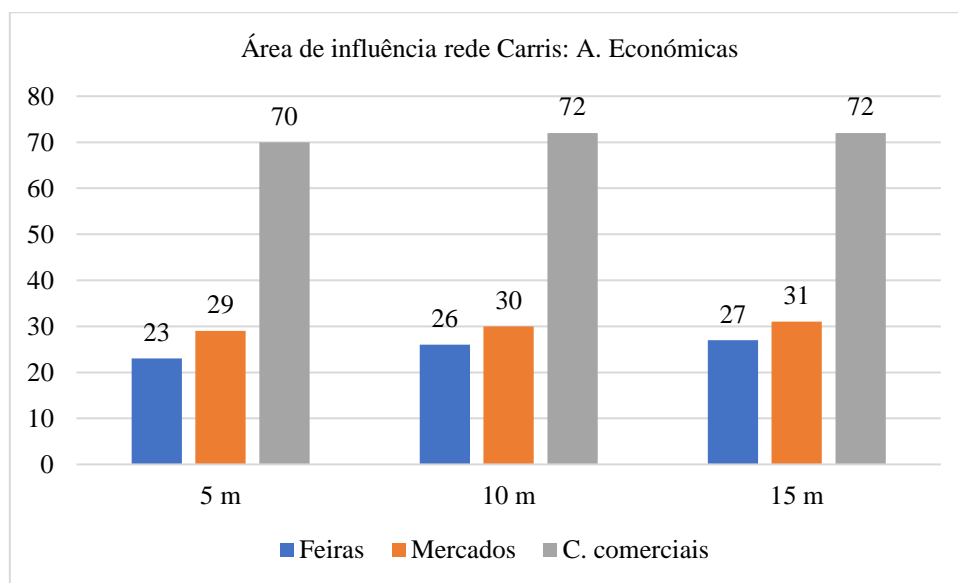


Gráfico 59: Área de influência rede Carris: A. Económicas

9. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O resultado dos dados foram obtidos a partir dos modelos de localização e da análise das métricas da teoria dos grafos.

Usou-se quatro problemas-tipo dos modelos de localização, o minimize impedance, o minimize facilities, o maximize coverage e o maximize attendance, para analisar a quantidade de pessoas que se deslocam para as estações/paragens da rede de transporte públicos, identificar a quantidade mínima e máxima de pontos de procura (quantidade de indivíduos) para abranger as estações/paragens da rede de transporte público, e analisar o peso de procura entre a variável e as estações/paragens da rede de transporte público. Para a rede da Carris usou-se uma distancia-tempo de 5 a 25 minutos, para a rede do Metropolitano usou-se uma distancia-tempo de 5 a 9 minutos. Com os modelos de localização executou-se uma área de serviço para a rede da Carris (5 a 15 minutos) e do Metro (5 a 9 minutos).

Com a teoria dos grafos analisou-se a centralidade da rede de transporte do Metropolitano, de acordo com as métricas betweenness, degree, closeness e o eigenvector. A métrica betweenness permitiu-nos identificar o número de caminhos mais curtos entre os nós da rede; a métrica degree analisa a quantidade total de ligações diretas entre os nós da rede; a métrica closeness calcula o caminho mais curto entre os nós e todos os outros nós da rede; a métrica eigenvector avalia o quão bem ligado um nó está ligado às partes da rede com maior conectividade, ou seja, os nós com maior pontuação tem muitas ligações e estas tem outras ligações.

Resultados com os modelos de localização

De acordo com os modelos de localização da rede do Metropolitano, e para todos os problemas-tipos usados, conclui-se que à medida que aumenta a distancia-tempo de 5 a 9 minutos, incrementa as diferentes variáveis analisadas: o número de indivíduos residentes que trabalham e residem no município, aumenta o número de indivíduos residentes empregados, o número de indivíduos residentes, o número de indivíduos residentes por faixa etária e o número de indivíduos residentes empregados por setor (primário, secundário e terciário).

Com os modelos de localização, concluímos que na rede do Metropolitano a linha servida para todos os problemas-tipos e variáveis é a linha verde, seguida pela linha amarela, a linha vermelha e a linha azul.

Ainda com os modelos de localização criamos uma área de serviço para quantificar o número de indivíduos abrangidos e o total de atividades económicas (feiras, mercados e centros comerciais) que são servidas pela rede do Metropolitano (5 a 9 minutos) e da Carris (5 a 25 minutos).

Para as redes do Metropolitano e da Carris concluímos que todas as variáveis em estudo, (número de indivíduos residentes que trabalham e residem no município, aumenta o número de indivíduos residentes empregados, o número de indivíduos residentes, o número de indivíduos residentes por faixa etária e o número de indivíduos residentes empregados por setor (primário, secundário e terciário) aumentam com a distancia-tempo.

Para a área de serviço da rede da Carris fez-se a comparação entre os indivíduos residentes que trabalham e residem no município, os indivíduos residentes empregados por setor (primário, secundário e terciário) e os indivíduos residentes empregados. Conclui-se que existem diferenças entre as variáveis, sendo a variável indivíduos residentes empregados do setor primário e secundário a que apresenta a menor cobertura com uma diferença acentuada em relação às outras variáveis. A variável que apresenta maior cobertura são os indivíduos residentes empregados.

A análise da quantidade de atividades económicas na área de serviço da rede do Metropolitano, conclui-se que à medida que aumenta a distancia-tempo entre 5 a 9 minutos, aumenta a quantidade das atividades económicas. Dos dados observa-se que a atividade económica centros comerciais é a que prevalece, em comparação com os mercados e as feiras.

A análise da quantidade de atividades económicas na área de serviço da rede da Carris, conclui-se que à medida que aumenta a distancia-tempo entre 5 a 15 minutos, aumenta o número de atividades económicas. Dos dados observa-se que a atividade económica centros comerciais é a que prevalece, seguindo-se os mercados e por último as feiras.

De acordo com os dados obtidos dos modelos localização verificamos que a rede da Carris apresenta uma maior cobertura do que a rede do Metropolitano. Pensamos que isto se deve a que a rede da Carris apresenta uma maior extensão na cidade de Lisboa.

Resultados com a Teoria dos Grafos

De acordo com a métrica degree centrality que mede o total de ligações diretas aos nós (estações) da rede do Metropolitano as estações com mais ligações diretas aos nós da rede são o Saldanha, Marquês do Pombal e Alameda.

A métrica closeness centrality que identifica o comprimento médio entre os nós (estações) da rede. As estações que apresentam o comprimento médio mais curto entre o nó e todos os outros nós da rede são: Roma, Entrecampos, Jardim Zoológico, Anjos, Bela Vista, Marquês de Pombal, Parque, Praça de Espanha Areeiro, Campo Pequeno, Arroios, Picoas, Olaias, São Sebastião, Alameda e Saldanha.

A métrica betweenness identifica se os nós (estações) atuam mais vezes ou menos vezes como pontes ao longo do caminho mais curto entre os nós e todos os nós da rede. As estações com maior betweenness são, Rossio, Avenida, Oriente, Carnide, Martim Moniz, Cabo Ruivo, Colégio Militar, Picoas, Intendente, Alto dos Moinhos, Olivais, Marquês de Pombal, Chelas, Anjos, Laranjeiras, Arroios, Bela Vista, Jardim Zoológico, Praça de Espanha, Olaias, São Sebastião, Saldanha e Alameda.

A métrica eigenvector quantifica o total de ligações diretas de cada nó (estações) e também a sua importância em toda a rede. As estações com maior eigenvector são: Baixa-Chiado, Laranjeiras, Intendente, Chelas, Campo Grande, Alvalade, Cidade Universitária, Restauradores, Jardim Zoológico, Anjos, Bela Vista, Roma, Entrecampos, Rato, Avenida, Praça de Espanha, Arroios, Olaias, Areeiro, Campo Pequeno, Parque, Picoas, Marquês de Pombal, São Sebastião, Alameda e Saldanha.

De acordo com a medida de centralidade closeness, betweenness, eigenvector e degree existem três nós (estações) com elevada centralidade: São Sebastião, Saldanha e Alameda. A estas estações junta-se também a do Marquês de Pombal para a medida de centralidade Degree.

Num estudo elaborado em 2017 por Albuquerque & Sampaio sobre avaliação da rede do metro de Lisboa e de cenários de expansão utilizando medidas de centralidade, os autores referem que as estações mais centrais, Saldanha, Alameda e São Sebastião, de acordo com as medidas de centralidade Betweenness e Closeness.

Destes resultados conclui-se que a centralidade dos nós (estações) diminui à medida que estes se afastam dos nós (estações) mais centrais.

10. CONCLUSÕES

O trabalho realizado pretendeu estudar a rede de transportes públicos (Carris e Metropolitano) da cidade de Lisboa, com os modelos de localização e com as medidas de centralidade (Teoria dos Grafos).

A partir das métricas Betweenness, Closeness, Degree e eigenvector, conclui-se que à medida que aumenta a distância entre os nós (estações), desde as estações mais centrais, diminui a centralidade das métricas.

Ainda de acordo com as métricas aplicadas verifica-se que as estações mais centrais são: Saldanha, Alameda e São Sebastião.

De acordo com os modelos de localização conclui-se que para a rede do Metropolitano, à medida que aumenta a distância-tempo (5 a 9 minutos), aumenta a quantidade de: indivíduos residentes que trabalham e residem no município, indivíduos residentes empregados, indivíduos residentes, indivíduos residentes por faixa etária (10-13; 14-19; 15-19; 20-24; 20-64; +65), indivíduos residentes empregados por setor (primário, secundário e terciário).

Nas 4 linhas da rede do Metropolitano, tendo em conta as variáveis em estudo, conclui-se que umas são mais usadas do que outras. A mais usada é a linha verde, depois a linha amarela, segue-se a linha vermelha e por último a linha azul.

Para a rede do Metropolitano estudou-se a área de serviço, concluindo-se que à medida que aumenta a distância-tempo (5 a 9 minutos), maior é o número de indivíduos, das variáveis em estudo.

Estudou-se também as atividades económicas (feiras, mercados e centro comerciais) abrangidas pela rede do Metropolitano. Numa distância-tempo de 5 a 9 minutos, a atividade económica mais abrangida são os centros comerciais, seguindo-se os mercados e por último as feiras.

A rede da Carris foi estudada com os modelos de localização. Com o cálculo dos problemas-tipos, também usados para o Metropolitano, conclui-se que à medida que aumenta a distância-tempo (5 a 25 minutos), aumenta, tal como para a rede do Metropolitano, a quantidade de: indivíduos residentes que trabalham e residem no município, indivíduos residentes empregados, indivíduos residentes, indivíduos residentes por faixa etária (10-13; 14-19; 15-19; 20-24; 20-64; +65), indivíduos residentes empregados por setor (primário, secundário e terciário).

Para a área de serviço da rede da Carris quando aumenta a distancia-tempo (5 a 15 minutos) aumenta a o número de indivíduos das variáveis em estudo.

Na área de serviço da rede da Carris comparou-se os indivíduos residentes que trabalham e residem no município, os indivíduos residentes empregados por setor (primário, secundário e terciário) e os indivíduos residentes empregados. Desta análise conclui-se que a variável que apresenta maior cobertura são os indivíduos residentes empregados. A variável indivíduos residentes empregados do setor primário e secundário é a que apresenta a menor cobertura com uma diferença acentuada em relação às outras variáveis.

Para as atividades económicas da rede da Carris quando aumenta a distância-tempo (5 a 15 minutos), a atividade mais abrangida são os centros comerciais, depois os mercados e por último as feiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, S. & Sampaio, M. (2017). Avaliação da rede do Metropolitano de Lisboa e de cenários de expansão utilizando medidas de centralidade. In ICEUBI2017 – International Congress on Engineering – A Vision for the Future. Covilhã: University of Beira Interior <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/16478>

ALMEIDA, A. R. F. da S. de. (2019). *Modelo geográfico de suporte à localização de estabelecimentos comerciais de proximidade*. Universidade de Lisboa, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território.

https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/37725/1/TM_igotul011489.pdf

AUSIELLO, G., Firmani, D., & Laura, L. (2013). *The (betweenness) centrality of critical nodes and network cores*. 2013 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2013, July, 90–95. <https://doi.org/10.1109/IWCMC.2013.6583540>

AZEVEDO, João (1998). *Lisboa 125 anos Sobre Carris*. Lisboa. Roma Editora

BIHARI, A., & Pandia, M. K. (2015). *Eigenvector centrality and its application in research professionals relationship network*. 2015 1st International Conference on Futuristic Trends in Computational Analysis and Knowledge Management, ABLAZE 2015, February. <https://doi.org/10.1109/ABLAZE.2015.7154915>

BRAZ, A., & Costa, N. (2017). *TEORIA DOS GRAFOS E GEOPROCESSAMENTO : aplicação na cidade de Três Lagoas / MS. October*. https://www.researchgate.net/publication/325904394_TEORIA_DOS_GRAFOS_E_GEOPROCESSAMENTO_aplicacao_na_cidade_de_Tres_LagoasMS

BRITO, Ricardo Filipe de Oliveira (2015), *Avaliação da Perceção da Qualidade do Serviço Prestado pela Empresa CARRIS*. ISCTE Business School <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/12064>

Carris. (2008 a 2020). *Relatório de Sustentabilidade*. <https://www.carris.pt/a-carris/empresa/relatorios-e-legislacao/>

Carris. (2008 a 2020). *Relatório de Contas*. <https://www.carris.pt/a-carris/empresa/relatorios-e-legislacao/>

CASTRO, António Paes de Sande e (1955) *A Carris e a expansão de lisboa subsídios para a História dos transportes coletivos na cidade de Lisboa*.

COSTA, Nuno Manuel Sessarego Marques da (2007), *Mobilidade e Transporte em Áreas Urbanas - O caso da Área Metropolitana de Lisboa*, IGOT <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/556>

DGTT. (2000). *Mobilidade e Transportes na AML*. https://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/BibliotecaeArquivo/RepertorioIMTTanteriora2008/Estudos eRelatorios/Documents/Mobilidade_na_AML.pdf

DIAS, Marina T. (2005). *História do Eléctrico da Carris*. Lisboa, Quimera/Carris

DOMINGOS, S. (2006). *Sistemas de Informação Geográfica-Uma aplicação aos transportes urbanos de Guimarães*. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. <https://run.unl.pt/bitstream/10362/8444/1/TSIG0012.pdf>

ERDOĞAN, S. D. (2004). *A REVIEW OF NETWORK LOCATION THEORY AND MODELS* (Issue June) [Institute of Engineering and Science of Bilkent University]. <https://core.ac.uk/download/pdf/52939864.pdf>

FERCONSULT. *Estudos de expansão da rede ML*. Ferconsult e Metropolitano de Lisboa E.N., Lisboa, Portugal, Maio de 2003, (Inédito).

HAGGETT, P., & Chorley, R. J. (1969). *Network Analysis in Geography*. *Geographical Review*, 61(2), 332. <https://doi.org/10.2307/214004>

HARARY, F. (1969). *Graph theory* Reading, Massachusetts : Addison-Wesley Publishing Company.

JONATHAN L. Gross, Jay Yellen, M. A. (2019). *Graph Theory and Its Applications* (3^a). Taylor & Francis.

INE, Anuário Estatístico de Portugal (AEP). (1945 a 1969).
https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOEStipo=ea&PUBLICACOEScolecao=107683&selTab=tab0&xlang=pt

KAZERANI, a, & Winter, S. (2009). *Can betweenness centrality explain traffic flow*. Proceedings of the 12th AGILE International.
<https://people.eng.unimelb.edu.au/winter/pubs/kazerani09centrality.pdf>

LOURO, Ana, Costa, Nuno M. da (2017), *Indicadores de Transporte e Mobilidade Urbana Para as Cidades Saudáveis – Caso da Área Metropolitana de Lisboa*, Portugal, Geo UERJ, Rio de Janeiro, n. 30, p. 99-121 <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/40309>

LOURO, A., Marques da Costa, N. (2019), *Mobilidade Urbana e Municípios Saudáveis na AML: tendências entre as últimas duas décadas (2000 e 2010)*, Finisterra, LIV(112), pp. 71-95, Centro de Estudos Geográficos
<https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/17105>

MATSUO, Paulo Kenji (2014), *Modelagem de redes de transporte para terminais multialocados e capacitados de carga parcelada*. Universidade de São Paulo
https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-13082015-171021/publico/Dissertacao_PauloMatsuo.pdf

MELO, G. S. de. (2013). *Teoria dos Grafos Introdução*. Universidade Federal da Paraíba Centro de Ciências Exatas e da Natureza.
<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/7549/5/arquivototal.pdf>

MENDONÇA, Manuela (coord.), António Ventura, Francisco Santana, António Vicente. (2006). *História da Companhia Carris de Ferro de Lisboa em Portugal*. Academia Portuguesa de História

METROPOLITANO de Lisboa E.P. e Atkins. (2008). *Estudo de Impacte Ambiental do prolongamento da Linha Vermelha entre São Sebastião e Campolide* <http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA1869/RNT1869.pdf>

METROPOLITANO de Lisboa, E.P. (2004 a 2020). *Relatório e Contas*. <https://www.metrolisboa.pt/institucional/informar/relatorios-e-documentos/>

METROPOLITANO de Lisboa, E.P. (2004 a 2016). *Relatório de Sustentabilidade* <https://www.metrolisboa.pt/institucional/informar/relatorios-e-documentos/>

MORGADO, Paulo. (2010). *Efeito Estruturante das Redes de Transporte no Território - Modelo de Análise* [IGOT]. <http://hdl.handle.net/10451/2418>

MURRAY, A. T., Xu, J., Wang, Z., & Church, R. L. (2019). *Commercial GIS location analytics: capabilities and performance*. Taylor & Francis, 33(5), 26.

PACHECO, Elsa (2004). *Alteração das acessibilidades e dinâmicas territoriais na Região Norte: expectativas, intervenções e resultantes*. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto, GEDES <https://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/140.pdf>

PADEIRO, Miguel (2018), *Dominação e Reprodução da Automobilidade: A Rede de Auto-estradas das Áreas Metropolitanas de Lisboa e Porto*, Revista Finisterra LIII(108), pp. 161-188 <https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/12218>

PEREIRA, Luiz Andrei Gonçalves, Sandra Dalvi Quintaes de Moraes, William Rodrigues Ferreira (2012), *A Geografia dos Transportes na Organização do Espaço Urbano: Mobilidade e Acidentes de Trânsito*, Caminhos de Geografia Uberlândia v. 13, n. 42 jun/2012 p. 240–257, Instituto de Geografia <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16682/0>

PEREIRA Maria Olga Monteiro (2018), *Qualidade de Serviço e Satisfação do Consumidor: o caso dos transportes públicos da Área Metropolitana de Lisboa*, ISEG, Lisboa <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/20001>

PEREIRA, M. F. V. (2009). Redes, sistemas de transportes e as novas dinâmicas do território no período atual: notas sobre o caso brasileiro. *Sociedade & Natureza*. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132009000100008>

PORTA, S., & Scheurer, J. (2006). *Centrality and connectivity in public transport networks and their significance for transport sustainability in cities*. World Planning Schools Congress. <http://strathprints.strath.ac.uk/18466/>

RABBANI, M., & Yousefnejad, H. (2013). A novel approach for solving a capacitated location allocation problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 4(2), 12. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2013.02.003>

RODRIGUES, David & Sampayo, Mafalda (sd). *The Public Space as a Consequence of Subway Expansion The Case Study of Lisbon Subway – 1959 through 2009*. ISCTE-IUL Lisbon University Institute <https://www.davidrodrigues.org/pdfs/2009/sousa-rodrigues-sampayo-2009-public-space-as-consequence-of-subway-expansion.pdf>

ROLO, Maria Fernanda, (coord.) Martins, António Alves, revisor; Pereira, Nuno Teotónio. (1999-2001). *Um Metropolitano e uma Cidade: História do Metropolitano de Lisboa*. Lisboa.

RUHNAU, B. (2000). *Eigenvector-centrality - a node-centrality?* *Social Networks*, 22(4), 357–365. [https://doi.org/10.1016/S0378-8733\(00\)00031-9](https://doi.org/10.1016/S0378-8733(00)00031-9)

SALGUEIRO, Teresa, Barata. (1971). *A rede de transportes coletivos na aglomeração de Lisboa*. Lisboa. C.E.G.

SANTOS, S. (2017). *Mobility and spatial planning in Lisbon Metropolitan Area*. *Finisterra*, 52(104), 17. <https://doi.org/10.18055/Finis6970>

SCHEURER, Jan; Porta, Sergio (2006). *Centrality and Connectivity in Public Transport Networks and their Significance for Transport Sustainability in Cities*. World Planning Schools Congress, Mexico DF, 13-16 July 2006.
https://www.researchgate.net/publication/266497232_Centrality_and_Connectivity_in_Public_Transport_Networks_and_their_Significance_for_Transport_Sustainability_in_Cities

SILVA, Liliana Mota Cardoso Marques da. (2009). *A teoria dos grafos no ensino*. Universidade Portucalense Infante D. Henrique.
<http://repositorio.uportu.pt/xmlui/bitstream/handle/11328/529/TMMAT%20113.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

SOUZA, A. L. DE. (2013). *Teoria Dos Grafos E Aplicações*. In Synergismus scyentifica UTFPR. Universidade Federal do Amazonas Instituto de Ciências Exatas.
<https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/4788/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Audemir%20Lima%20de%20Souza.pdf>

TAFAZZOLI, S., & Mozafari, M. (2009). Classification of Location Models and Location Softwares. In Contributions to Management Science (Issue August, p. 544).
https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2151-2_21

TEIXEIRA, Orozina Maristela João (2004). *Mobilidade e Acessibilidade Urbana - Estudo de caso do Município de Viana*. Instituto Superior de Educação e Ciências, Escola de Educação, Gestão, Design, Engenharia, Aeronáutica e Design
<https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/21551/1/TFM.pdf>

TINKLER, K. J. (1977). *An introduction to graph theoretical methods in geography*. In L. J. W. and the editor of G. Annaler (Ed.), Concepts and techniques in modern geography (Vol. 14). Geografiska Annaler

VAN Oudheusden, D. L., Ranjithan, S., & Singh, K. N. (1987). *The design of bus route systems - An interactive Localização-Alocação approach*. *Transportation*, 14(3), 18. <https://doi.org/10.1007/BF00837532>

VICENTE, Daniel Carvalho (2017). *Otimização da Qualidade de Serviço da Carris em Lisboa*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa <https://run.unl.pt/handle/10362/40899>

WANG, W., & Tang, C. Y. (2015). *Distributed estimation of closeness centrality*. Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control, 54th IEEE Conference on Decision and Control, CDC 2015(Cdc), 4860–4865. <https://doi.org/10.1109/CDC.2015.7402978>

ZHANG, J., & Luo, Y. (2017). *Degree Centrality, Betweenness Centrality, and Closeness Centrality in Social Network*. 132(Msam), 300–303. <https://doi.org/10.2991/msam-17.2017.68>

Sítios da Internet

<https://www.carris.pt/a-carris/historia/>

<https://www.Metropolitanolisboa.pt/institucional/conhecer/historia-do-Metropolitano/>

ANEXOS

ANEXO 1: METODOLOGIA

Começámos por seleccionar todos os polígonos da BGRI_AE, que intersectavam com as paragens da rede da Carris, como podemos observar na Figura 41, para depois exportar como uma nova shapefile.

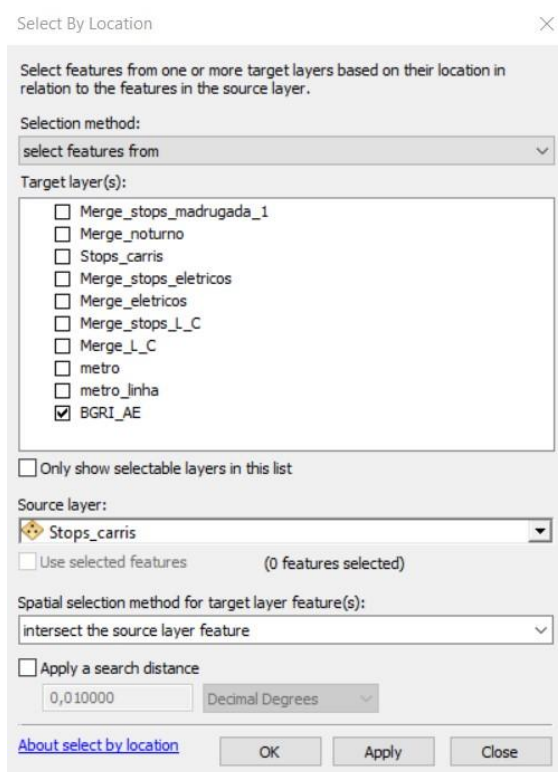


Figura 41: Seleção espacial da área de estudo

As freguesias que incluem as paragens da rede da Carris são: Algés, Amadora, Cruz-Quebrada-Dafundo, Linda-a-Velha, Lisboa, Miraflores, Moscavide, Odivelas, Olival Basto, Outurela-Portela, Pontinha, Portela, Prior Velho, Residual e Sacavém.

No ficheiro csv da BGRI criámos um csv para cada variável em estudo:

- Indivíduos residentes que trabalham e residem no município;
- Indivíduos residentes empregados;
- Indivíduos residentes;

- Indivíduos empregados por setor (primário, secundário e terciário);
- Indivíduos residentes por faixa etária (10 a 13; 14 a 19; 15 a 19; 20 a 24; 20 a 64 e 65+).

Seguidamente, fez-se o *join* com a tabela csv com a shapefile da área de estudo para cada variável, para depois exportar cada variável para uma nova shapefile (Figura 42).

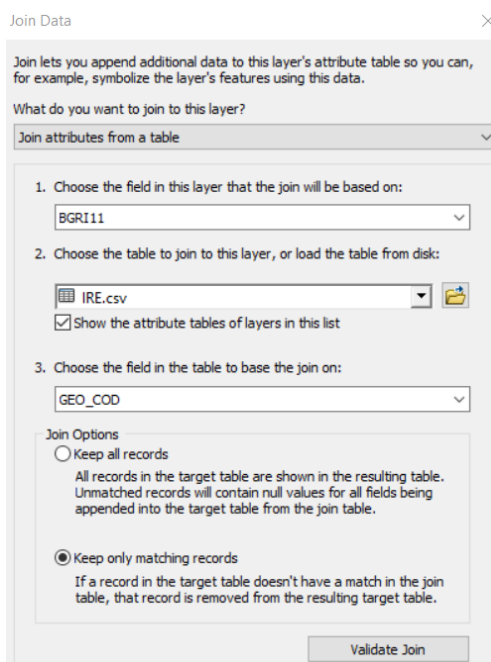


Figura 42: *join* da tabela csv das variáveis em estudo com a shapefile de Lisboa

Fez-se uma seleção por atributos para eliminar todos os polígonos iguais a 0 (zero), utilizando as seguintes queries:

“*I_r_trab*” = 0 (155)

“*i_r_empregados*” = 0 (147)

“*N_INDIVIDU*” = 0 (134)

“*indi_10_13*” = 0 (270)

“*indi_14_19*” = 0 (233)

“*indi_15_19*” = 0 (242)

“*indi_20_24*” = 0 (222)

“*indi_20_64*” = 0 (269)

“*indi_m_65*” = 0 (166)

"sec_pri" = 0 (889)

"sec_secun" = 0 (243)

"sec_terci" = 0 (148)

Para converter os polígonos em pontos usámos a ferramenta *feature to point* para cada uma das variáveis, com a opção *inside* seleccionada para obter os centros representativos das características de input (Figura 43).

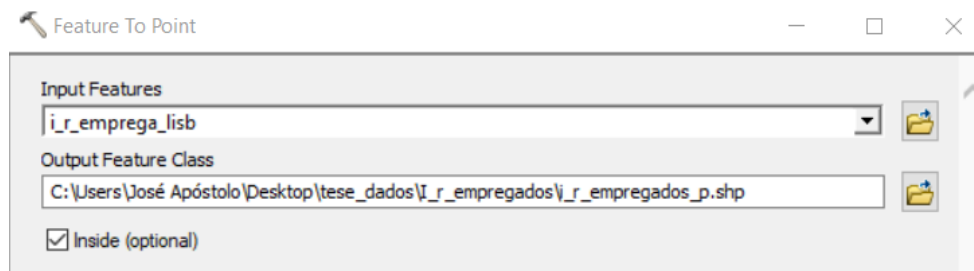


Figura 43: feature to point da shapefile indivíduos residentes empregados em Lisboa

Antes de proceder à criação do *network dataset* calculámos a densidade de cada variável, com as seguintes formulas:

- Indivíduos residentes que trabalham e residem no município: $([I_r_trab/area])$
- Indivíduos residentes empregados: $([i_r_empregados/area])$
- Indivíduos residentes: $([N_INDIVIDU/area])$
- Indivíduos empregados no sector primário: $([sec_pri/area])$
- Indivíduos empregados no sector secundário: $([sec_secun/area])$
- Indivíduos empregados no setor terciário: $([sec_terci/area])$
- Indivíduos residentes por faixa etária:
 - $([indi_10_13/area])$
 - $([indi_14_19/area])$
 - $([indi_15_19/area])$
 - $([indi_20_24/area])$
 - $([indi_20_64/area])$
 - $([indi_m_65/area])$

De seguida calculámos o total para cada variável em análise para cada campo, com as seguintes fórmulas:

- Indivíduos residentes que trabalham e residem no município: $([D_i_r_trab*area])$
- Indivíduos residentes empregados: $([D_empregados*area])$
- Indivíduos residentes: $([D_INDIVIDU*area])$
- Indivíduos empregados por sector primário: $([D_sec_pri*area])$
- Indivíduos empregados por sector secundário: $([D_sec_secun*area])$
- Indivíduos empregados por sector terciário: $([D_sec_terci*area])$
- Indivíduos residentes por faixa etária:
 - $([D_indi_10_13*area])$
 - $([D_indi_14_19*area])$
 - $([D_indi_15_19*area])$
 - $([D_indi_20_24*area])$
 - $([D_indi_10_13*area])$
 - $([D_indi_20_64*area])$
 - $([D_indi_m_65*area])$

Para a criação do *network dataset* para as redes em estudo, começámos por criar duas *personal geodatabase*, uma para a rede do Metropolitano e outra para a rede da Carris. De seguida criámos um *feature dataset* nas *personals geodatabases*, que irão armazenar a *shapefile* das vias de Lisboa para poder calcular os quatro problemas tipo (Figuras 44 e 45):

- *Minimize impedance (M.I)*
- *Maximize coverage (M.C)*
- *Minimize facilities (M.F)*
- *Maximize attendance (M.A)*

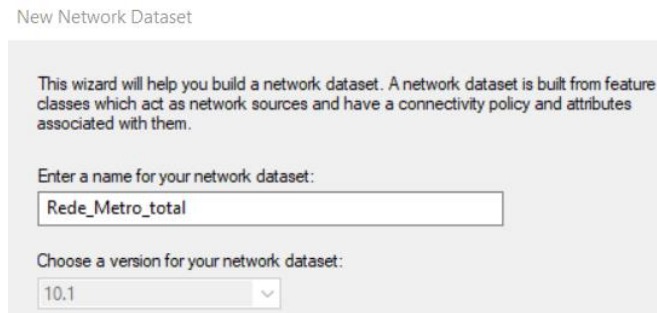


Figura 44: Criação do Network dataset

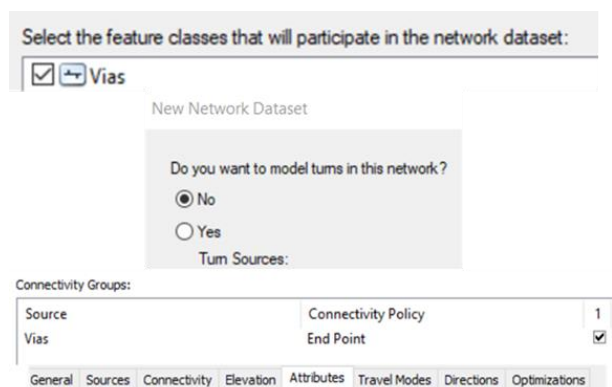


Figura 45: Definições do Network dataset

Para calcularmos a distância-tempo entre as paragens da Carris e do Metropolitano às variáveis em estudo, criou-se o campo time com a seguinte fórmula:

$([Shape_Length]*60)/3600$ (Figura 46, 47 e 48).

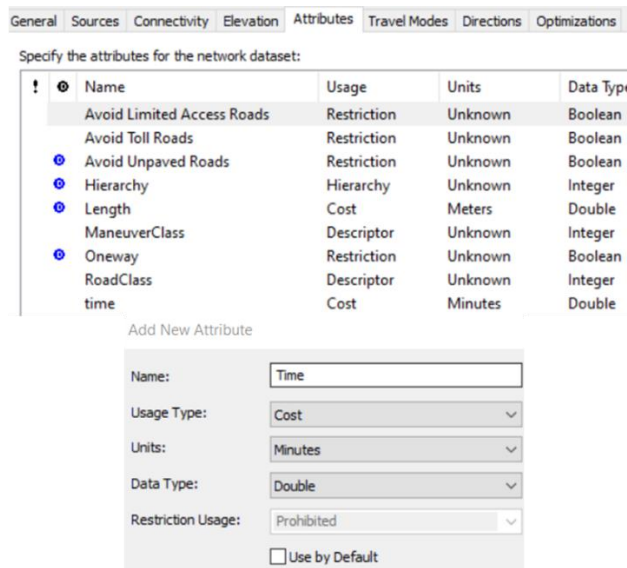


Figura 46: Criação do campo time para calcular a distância tempo em minutos

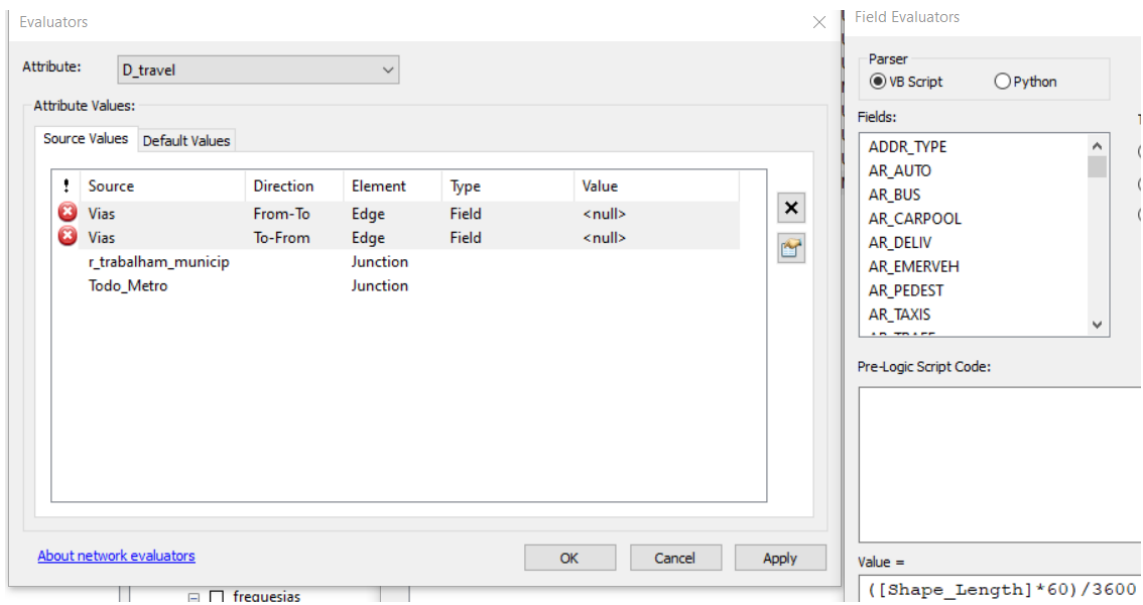


Figura 47: Criação do campo time para calcular a distância tempo em minutos

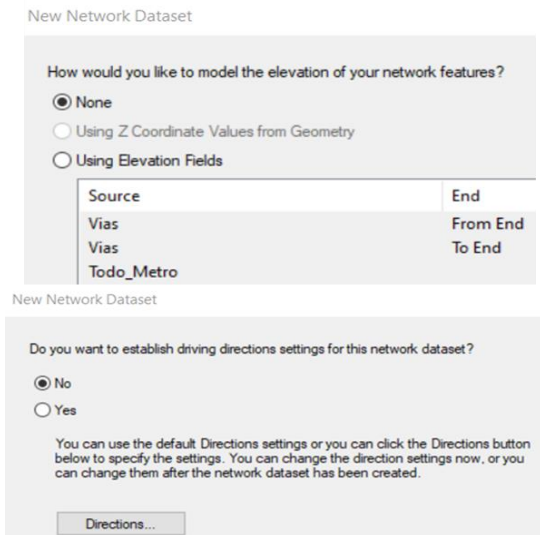


Figura 48: Criação do Network dataset

Para o Localização-Alocação da rede do Metropolitano carregámos as *facilities* com os pontos da rede com o campo INF_NOME, para obter o nome das estações, e os *demand points* no property peso carregamos os pontos das variáveis em estudo.

Para o cálculo da distância-tempo das variáveis às estações utilizámos os seguintes tempos: 5 minutos, 6 minutos, 7 minutos, 8 minutos e 9 minutos para a rede do Metropolitano (44 paragens). Para a rede da Carris (6640 paragens) executámos o mesmo processo, a distância-tempo utilizada foi de 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 20 minutos e 25 minutos (Figura 49).

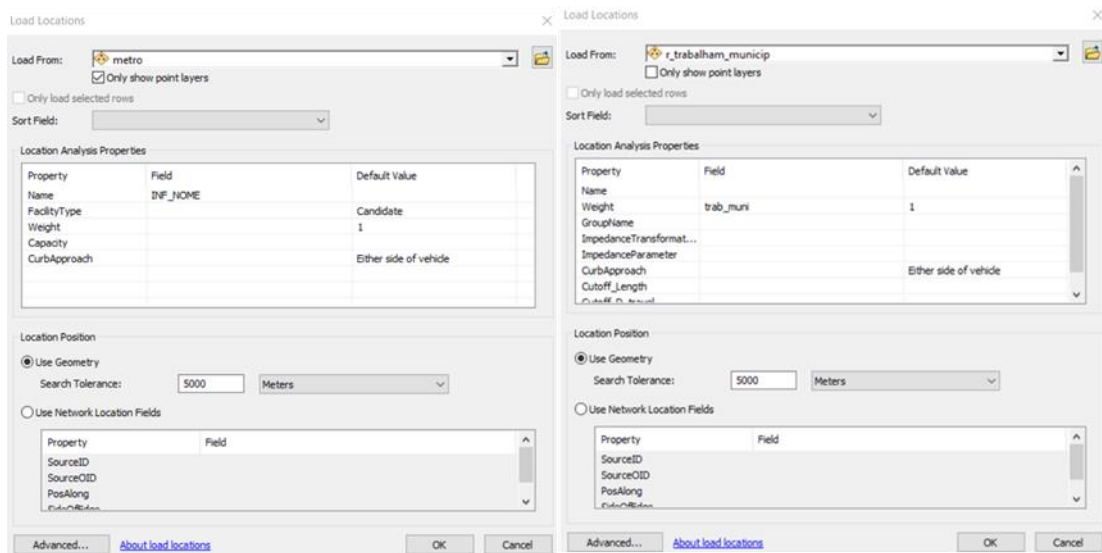


Figura 49: Carregamento dos *facilities* e dos *demand points* para poder calcular os 4 problemas tipo

Nas Figuras 50 e 51 podemos ver as definições do network dataset usadas para a rede do Metropolitano e da Carris, de acordo com as variáveis em estudo.

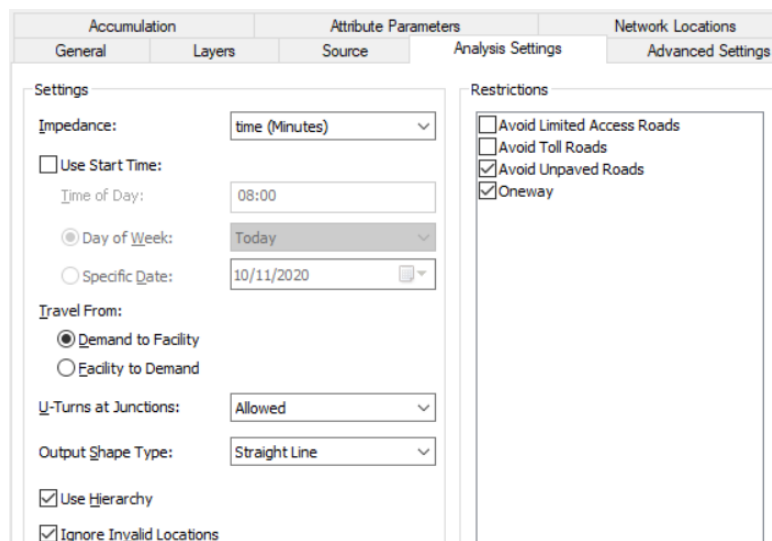


Figura 50: Definições do network dataset rede metro e carris

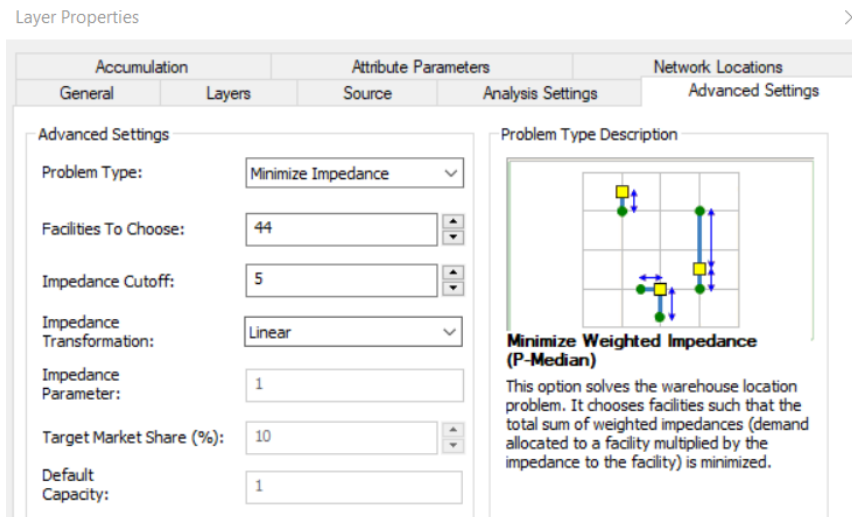


Figura 51: Definições do network dataset rede metro e carris

A seguir iremos apresentar as etapas para a execução da área de serviço das redes do Metropolitano e da Carris.

Criámos uma área de serviço para a rede da Carris, com uma distância tempo de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos, com as seguintes definições (Figura 52), para depois analisar os indivíduos abrangidos pela respetiva área de serviço.

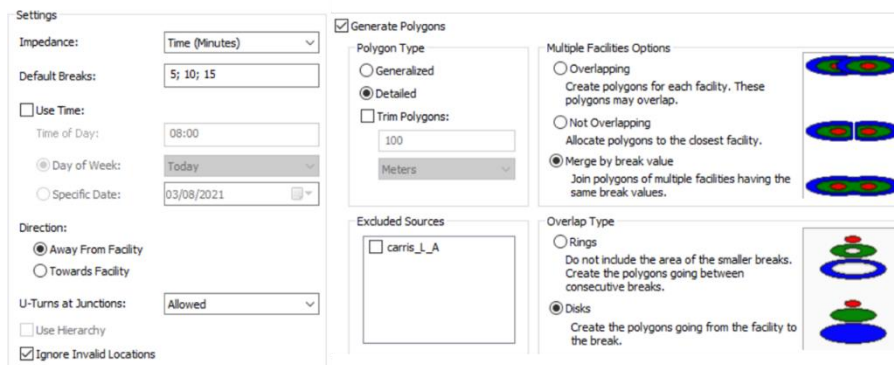


Figura 52: Definições do network dataset para a criação da área de serviço

Abaixo apresenta-se a metodologia utilizada para o cálculo das medidas de centralidade da teoria dos grafos para a rede do Metropolitano.

Para a rede do Metropolitano apenas foi necessário editar a linha para que não houvesse interseções entre 2 linhas, fizemos o *split* das linhas em cada nó (estação) para acrescentamos nós, como podemos observar na Figura 53.

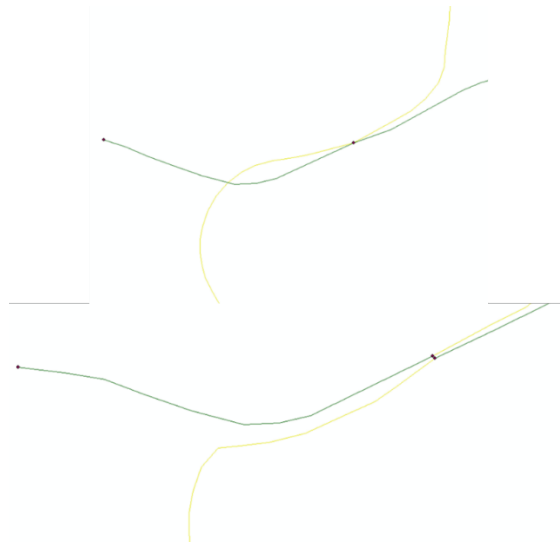


Figura 53: Desvio da interseção das linhas da rede metro

Com o programa *Geograph* iniciámos o carregamento dos ficheiros das estações da rede do Metropolitano, de seguida, colocámos as linhas da rede de metro (Figura 54). De seguida, descarregámos a shapefile e o ficheiro csv para analisar as seguintes medidas de centralidades: Betweenness, Closeness, Degree centrality e o Eigenvector (Figura 48). Para calcular as centralidades da rede de autocarros e elétricos tivemos de começar por analisar o percurso de ida e depois o percurso de volta.

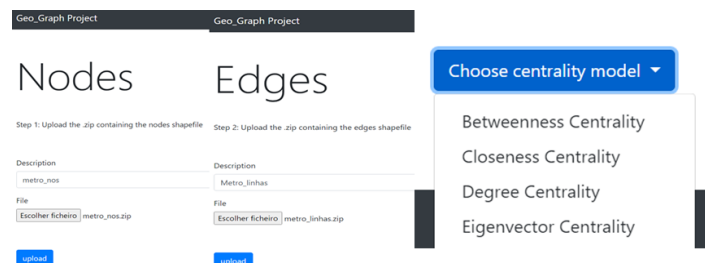


Figura 54: Carregamento dos nós e das linhas da rede metro e Escolha das medidas de centralidade a calcular

ANEXO 2: TEORIA DOS GRAFOS

O que é um grafo

Um grafo é um conjunto de pontos (vértices) e de pares desses pontos, (arestas), cada aresta liga um par de pontos (extremidades) que a determina. A representação usual é feita por linhas (arestas) a ligar pontos do plano (vértices). Um par de pontos pode ser designado por linha, conexão, ligação ou relação entre o primeiro ponto e o segundo. Os pontos podem ser lugares, cidades, cruzamentos rodoviários, centrais telefônicas, regiões, etc.

Um grafo é um diagrama representado por um conjunto de pontos (nós) ligados por segmentos (arcos). Representa de uma forma abstrata uma rede, em que os conceitos de localização, distância, comprimento, orientação e forma são substituídas por propriedades topológicas, tais como: acessibilidade, centralidade, adjacência, conectividade e ligação. A partir destes conceitos e através de algoritmos e do cálculo de matrizes, permite estudar as suas componentes (nós e arcos) e hierarquizá-las, ou estudar a rede no seu todo.

Para Rosen (2009, cit in Souza, 2013) um grafo $G = (V;E)$ consiste de V , um conjunto não vazio de vértices (ou nós) e de E , um conjunto de arestas. Cada aresta tem um ou dois vértices associados a si, chamados de extremidades. Cada aresta liga as suas extremidades.

Harary (1969) afirma que o termo “grafo” é definido por vários autores como grafo, mas também como multigrafo, o pseudo-grafo, o grafo dirigido, ou rede. Para este autor não se conseguirá alcançar uma terminologia dos grafos que seja uniforme, e não desejável. O tipo de grafo designado por “árvore” foi assim nomeado por todos os autores. A simplicidade das árvores permite investigar conjeturas para grafos em geral. Cada uma das árvores de *spanning* de um grafo G dá origem a uma coleção de ciclos independentes de G , referente à construção dupla (complementar) de um conjunto de cada *spanning cotree*.

Para Jonathan, et al (2019) os nós e as ligações podem representar redes físicas (circuitos elétricos, estradas, ou moléculas orgânicas), e são também utilizadas para representar relações sociológicas, bases de dados, ou o fluxo de controlo num programa de computador. Estas realidades são modeladas por grafos.

Em qualquer tipo de relação de arco-nó os grafos permitem:

- comparar redes;
- analisar a evolução das redes;
- analisar e medir a densidade das redes;
- medir o diâmetro das redes;
- medir a acessibilidade individual dos nós da rede;
- medir a acessibilidade geral da rede;
- medir a conectividade da rede;
- analisar o impacto das redes na organização espacial;
- analisar padrões espaciais (hierarquias, *cluster's*, centros, periferias, relações, dominância e competição).

Tipos de grafos

Quanto à topologia os grafos podem ser classificados como por exemplo, simples, gerais, nulo, desconexo, completo, em árvore, floresta, regular, irregular, platónico, bipartido, infinito, isomórfico, orientado, não-orientado, (Haggett e Chorley, 1967; Wilson, 1972; Taaffe e Gauthier, 1973; Dalton et al., 1973; Potrykowski e Taylor, 1984; Tucker, 2001; Black, 2003, cit in Morgado, 2010). Os grafos podem ser direcionados ou orientados, e nesse caso os arcos são representados por “setas”. Se forem não-direcionados ou não-orientados os arcos são apresentados por segmentos, sem qualquer indicação de sentido, havendo a possibilidade de fluxos em ambos os sentidos.

Grafo planar (plano) e grafo não planar (não plano)

Um grafo plano é um grafo que está embutido no plano de tal forma que nenhuma linha do grafo se cruza. As extremidades das linhas só podem unir-se em pontos do grafo. Nestes grafos os arcos que se cruzam formam necessariamente um nó, por exemplo não pode haver cruzamento de arcos sem que um nó seja constituído na rede. Quando é permitido o cruzamento de arcos sem que se constitua um nó na rede, diz-se que se está na presença de um grafo não-planar.

Diz-se grafo planar quando se considera que as relações entre lugares se estabelecem apenas a duas dimensões e não planar quando se consideram que essas relações se podem estabelecer a mais de duas dimensões. Desta forma, num grafo planar os arcos não se intersectam, uma vez que estes apenas ligam dois lugares diferentes num espaço bidimensional. De acordo com Laurini e Thompson (1992, cit in Domingos, 2006) os sistemas de transportes são exemplos de grafos não planos sempre que existam viadutos, túneis ou pontes.

As Figuras 55, 56 e 57 exemplificam esquemas de grafos planares e não planares.

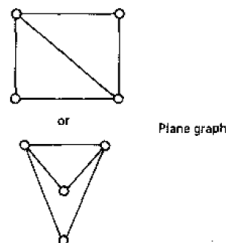


Figura 55: Grafo Plano

Fonte: Tinkler, 1977

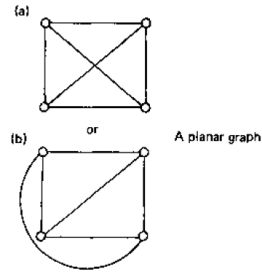


Figura 56: Grafo Planar

Fonte: Tinkler, 1977

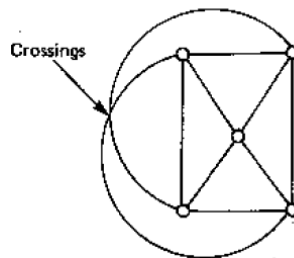


Figura 57: Grafo Não Planar

Fonte: Tinkler, 1977

Grafo trivial

Um grafo trivial é um grafo no qual $G = (V ; \delta)$, ou seja, é um grafo que possui n vértices, podendo ser representado por conjunto de n pontos no plano, sem quaisquer arcos (arestas).

Grafo simples

Um grafo (simples) G consiste de um conjunto finito e não vazio $V(G)$ de objetos chamados vértices, juntamente com um conjunto $E(G)$ de pares não ordenados de vértices; os elementos de $E(G)$ são chamados de arestas. Podemos representá-lo por $G = (V ; E)$, onde $V = V(G)$ e $E = E(G)$.

Se $G = (V ; E)$ é um grafo e u e v são dois de seus vértices, diremos que u e v são adjacentes se $\{u ; v\} \in E$; neste caso, dizemos ainda que a aresta $\{u ; v\}$ incide nos vértices u e v . Podemos denotar a aresta $\{u ; v\}$ simplesmente por uv , sempre que não houver perigo de confusão. Se u e v não forem adjacentes, diremos que são vértices não adjacentes de G .

Um grafo simples (Figura 58) com cinco pontos e dez ligações nunca pode ser desenhado no plano sem pelo menos uma intersecção. Se o G é plano e simples é útil saber que tem uma representação plana onde todas as arestas são representadas por segmentos de linha recta.

Para Wilson (1972 cit in Tinkler, 1977) um grafo com n pontos e q links (pares de pontos ligados) é denominado um grafo simples sempre que cada par de pontos distintos é unido exatamente uma vez, ou não é unido, e onde nenhum ponto está diretamente ligado a si mesmo.

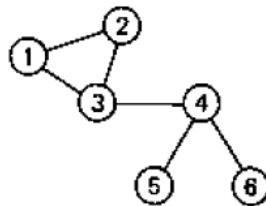


Figura 58: Grafo Simples

Fonte: Tinkler, 1977

Grafo Grau de Um Ponto

O Grau de Um Ponto é o número de ligações que a ele se ligam, como exemplificado na Figura 59.

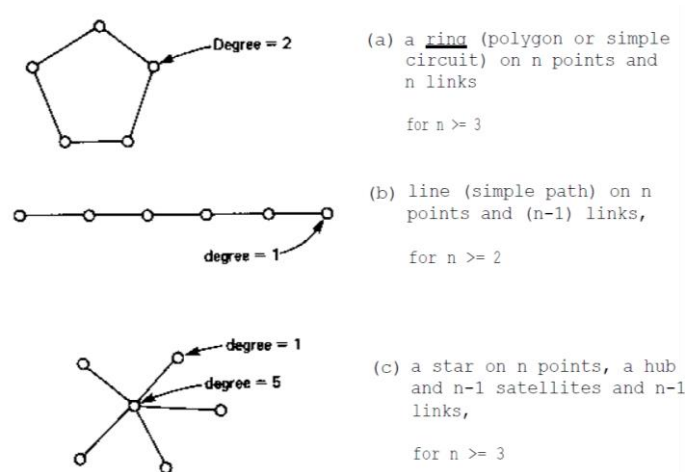


Figura 59: Grau de Um Ponto

Fonte: Tinkler, 1977

Grafo completo

Um grafo completo é um grafo que possui n vértices, com dois quaisquer deles conectados por um arco. Um grafo completo com n vértices é denotado por K_n ; em particular, K_n tem exatamente $(n/2)$ arestas. Um grafo completo (f) (Figura 60) é um grafo no qual cada par de pontos é ligado por uma ligação, e é definido para qualquer número de pontos.

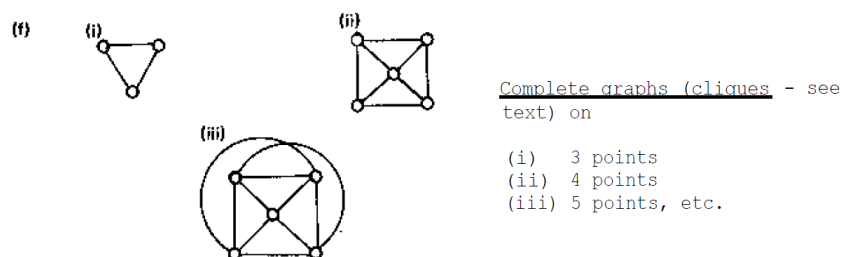


Figura 60: Grafo Completo

Fonte: Tinkler, 1977

Grafo nulo

Um grafo nulo (g) sobre n pontos tem n nós isolados e sem ligações.

Sub-grafo

Um sub-grafo de um grafo G é definido como qualquer conjunto de pontos e linhas retiradas do grafo G . A Figura 61 (a) é um grafo, G , e a Figura 61 (b) é um sub-grafo de G baseado nos pontos $(1,2,5,6,8,9,10)$ juntamente com as ligações que interligam esses pontos. Um sub-grafo também pode ser derivado tomando uma recolha de ligações a partir do grafo, juntamente com os pontos aos quais estão ligados. Por sub-grafo de um qualquer grafo, entende-se um sub-conjunto de nós e arcos do grafo, ou seja, graficamente, tem-se dois grafos. O sub-grafo da rede de estradas de Portugal continental e os sub-grafos da rede de estradas das várias ilhas que compõem os arquipélagos da Madeira e dos Açores, que por força da insularidade, e apesar de pertencerem à mesma rede de estradas, não têm uma ligação entre elas. No entanto, qualquer grafo é simultaneamente também um sub-grafo de si próprio. Este conceito é particularmente importante, por constituir variável de algumas das medidas topológicas, com o propósito de medir e classificar a estrutura da rede.

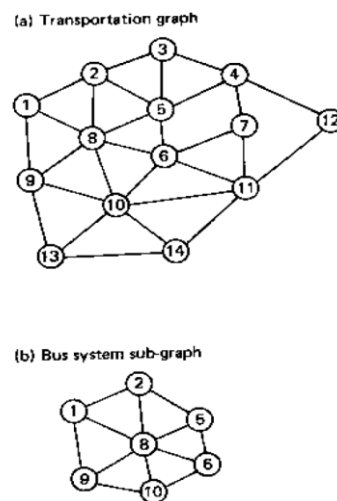


Figura 61: Sub-grafo

Fonte: Tinkler, 1977

Super grafo

Um super grafo é o conceito inverso de um sub-grafo. Um grafo do sistema ferroviário de qualquer país tem como super-grafos o grafo de todas as ligações de transporte no país. A ideia geral de um super-grafo é que um grafo pode ser de facto um sub-grafo de algum grafo maior.

Grafo regular e grafo irregular

Um grafo diz-se regular, no caso de todos os nós do grafo terem o mesmo número de arcos a confluir para si (grau de acessibilidade do nó). Um grafo regular (h) é aquele em que cada ponto tem o mesmo número de ligações. No caso de não existir o mesmo grau de acessibilidade para todos os nós do grafo, diz-se que o grafo é irregular.

Grafo conexo e grafo desconexo

Um grafo é conexo se existir um passeio entre dois quaisquer dos seus vértices. Um grafo que não é conexo é dito desconexo. A proposição seguinte define um critério simples para um grafo ser conexo. Para o seu enunciado, precisamos introduzir a seguinte notação: dado um grafo $G = (V;E)$, o grau mínimo de G é o inteiro não negativo

$$\delta (G) = \min\{dG(u); U \in V (G)\}$$

Representação matricial de um grafo

As entradas diagonais são utilizadas para representarem auto-conexões. Qualquer grafo pode ser representado como uma matriz e, inversamente, qualquer matriz simétrica cujas entradas são inteiros não negativos pode ser interpretada como um grafo.

Sobre as medidas de acessibilidade e de centralidade, para medir a acessibilidade individual dos nós, assim como para medir a acessibilidade geral da rede, o cálculo de matrizes foi o formalismo matemático consignado, que para além das medidas de acessibilidade e de centralidade, vai pôr em evidência também outras características e

propriedades das redes, tais como: a eficácia da rede e o potencial de interação que exercem uns nós (lugares) sobre os outros, em função da distância que os separa e da população que comporta.

Contudo, são as matrizes D (das distâncias topológicas mais curtas) e L (das distâncias físicas mais curtas), as que melhor adequação mostram para o estabelecimento de uma hierarquia de lugares, e para a verificação dos padrões espaciais que se formam ao longo do tempo, e à medida que ocorrem alterações na estrutura e nas relações das redes.

Enquanto a matriz D assume que todas as ligações entre os nós têm igual valor no cálculo da medida de acessibilidade, ou seja, que os resultados apurados pela matriz D não fazem distinção, entre a diferente influência que podem ter na ordenação dos lugares e no padrão espacial desses lugares, a estrada Lisboa/Queluz e a estrada Lisboa/Porto.

A matriz L, das distâncias físicas, por sua vez, já é sensível à existência, tanto de pequenas, como de grandes ligações atribuindo-lhes ponderações diferentes, o que permite medir a influência de cada ligação (estrada) na ordenação dos lugares de acordo com a sua acessibilidade na rede.

Propriedades de ordem superior de um grafo

Rotas, caminhos, cadeias e ciclos

Um passeio de comprimento $k \geq 1$ num grafo G é uma sequência $P = (U_0; U_1; \dots; U_k)$ de vértices (não necessariamente distintos) de G tal que U_{i-1} é adjacente a U_i para $1 \leq i \leq k$. O passeio P acima é fechado se $U_0 = U_k$, podemos chamar o passeio fechado de circuito (Figura 62).



Figura 62: Um passeio e um circuito.

Um caminho num grafo é uma sequência de arestas ou ligações, definidas por pares sucessivos de nós, que são todos distintos e qualquer par sucessivo na sequência tem exatamente um nó em comum. Por exemplo na Figura 63 um caminho de 1 a 3 é a sequência 1-2-3, mas outro caminho é 1-5-4-3.

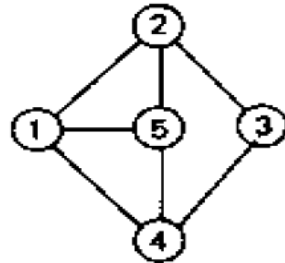


Figura 63: Caminhos

Fonte: Tinkler, 1977

O comprimento de um caminho ou de uma rota é o número de ligações nele existentes. Para exemplos dados os comprimentos são respectivamente, 2, 3, 4 e 6. Um percurso é fechado se o primeiro e o último nó forem os mesmos. Uma cadeia é o caminho em que nenhum elo ou nó se repete. Uma cadeia fechada é designada por circuito ou ciclo.

Um passeio Euleriano num grafo conexo é um passeio fechado que usa cada aresta do grafo exatamente uma vez. Um grafo conexo é Euleriano se contiver um passeio Euleriano. Seja G um grafo Euleriano e P um passeio Euleriano em G . Fixado arbitrariamente um vértice u de G , se $k \geq 1$ é o número de ocorrências de u em P , então é claro que $d_G(u) = 2k$, um número par. Portanto, uma condição necessária para que um grafo conexo G seja Euleriano é que todos os vértices de G tenham grau par.

Um ciclo Hamiltoniano num grafo é um ciclo que passa por todos os vértices do grafo. Um grafo conexo é Hamiltoniano se contiver um ciclo Hamiltoniano.

Uma árvore é um grafo conexo e acíclico (Figura 64). Se T é uma árvore, uma folha de T é um vértice de grau 1 e um nó de T é um vértice de grau maior que 1. Um grafo $T = (V;E)$ que não possui ciclos e é conexo é chamado de árvore.

Para Cormen et al (2002, cit in Souza 2013) toda árvore possui as seguintes características:

- Seja $v \in V$, se v possui grau menor ou igual a 1, então, v é uma folha. Caso o grau seja maior que 1, v é um vértice interno.
- Uma árvore T com n vértices possui $n-1$ arestas.
- Um grafo G é uma árvore somente se existir um único caminho entre cada par de vértices de G .
- Um conjunto de árvores é chamado de floresta.



Figura 64: Uma árvore

O número ciclomático, μ , e o índice α

Um ciclo independente é um ciclo que não contém nenhum ciclo menor. O número de ciclos independentes é chamado número ciclomático, μ , ou o primeiro número betti, e é definido para um grafo G como:

$$\mu = q - n + p$$

onde q e n são o número de ligações e nós no grafo e $p = 1$ se o grafo estiver ligado, ou é igual ao número de componentes no grafo se não estiver. μ é um índice bruto de conectividade num gráfico.

Medidas topológicas e propriedades dos grafos

Medidas topológicas

Número associado ou índice de König é referente a um nó e significa a distância topológica desse nó medido em função do nó que se encontra mais afastado topologicamente na rede, considerando o caminho-mais-curto.

Nó central – nó que apresenta o número associado mais baixo da rede.

Diâmetro da rede – é o número associado mais elevado da rede. Indica o número de ligações (arcos) necessários para conectar os dois nós que se encontram mais afastados topologicamente na rede.

Número máximo de circuitos de uma rede – é o número máximo de ligações (LM) menos o número mínimo de ligações (Lm) necessário para se ligarem todos os nós. Para os grafos planares é $Lm - Lm = 3(n - 2) - (n - 1) = 2 * n - 5$

Medidas de conectividade e de ligação - métodos matemáticos que servem para descrever as características da rede no seu todo (a estrutura da rede).

Medidas de acessibilidade e de centralidade – métodos matemáticos que servem para medir as características e diferenciar cada um dos nós, e uns dos outros, respetivamente.

Medidas de conectividade e de ligação

O conceito de conectividade de um grafo é importante para comparar redes de transporte e comunicação e avaliar o desenvolvimento da rede ao longo do tempo. As medidas de conectividade e ligação são a forma mais simples de análise da estrutura de um grafo, permitindo analisar a evolução a rede ao longo do tempo e estabelecer comparações.

Estas medidas permitem verificar a simplicidade, a complexidade, a coesão, a incoerência e o grau de desenvolvimento da rede, ao mesmo tempo permite relacionar o grau de desenvolvimento de um território e a sua rede de comunicações. De acordo com Potrykowski e Taylor (1984:124, cit in Morgado, 2010) “A comparação de redes de transporte em diferentes áreas indica que os países ou regiões com fraco desenvolvimento económico são servidos por sistemas de transporte cujas redes têm configurações próximas dos gráficos ou árvores inconsistentes. Em contraste, os países com elevado desenvolvimento económico têm redes de transporte muito coesas.”

No algoritmo número ciclomático (α) ou primeiro número de Betti, quanto maior o valor, maior o grau de coesão da rede. Significa que existem vários circuitos (caminhos alternativos) para ir de um nó i a um nó j .

O algoritmo Índice alfa (α) ou índice de redundância, indica a relação entre o número de ciclos observados e o número máximo possível. Numa rede cujo número de arcos é baixo, o índice assume valores próximos do zero, e à medida que o número de arcos aumenta, a coesão da rede é maior, até ao valor máximo de 1. Este resultado mostra o número de conexões alternativas entre quaisquer pares de nós, ou seja, o número de caminhos possíveis.

No algoritmo índice Beta (β) o diâmetro da rede identifica o número de arcos ou ligações para ligar os nós mais afastados na rede. A conectividade da rede é maior quanto menor for o seu valor.

O índice gama (γ) permite avaliar a conectividade relativa da rede. Expressa-se pelo rácio entre o número de arcos existentes numa rede e o número máximo possível:

$$\gamma = \frac{a}{3(N-2)}$$

em que a representa o número de arcos existentes na rede.

Para a interpretação deste índice proposto por Kansky estabeleceram-se limites: 0.36 é o valor mínimo e 1 o valor máximo. Para os diferentes valores compreendidos nestes limites, a rede pode classificar-se em: rede em espinha: quando a conectividade apresenta valores mínimos; rede em Delta: quando a densidade de arcos (ligações) é muito elevada face ao número de nós existentes; rede em Malha: trata-se de uma configuração intermédia, entre a conectividade mínima (espinha) inicial no processo de desenvolvimento da rede e a rede de maior densidade (delta), a mais madura.

O índice gama pode também aplicar-se a sistemas não-planares.

Medidas de centralidade e acessibilidade: análise de redes pelo cálculo de matrizes

As medidas de centralidade e de acessibilidade permitem conhecer melhor o impacto das redes sobre o território. As medidas de acessibilidade melhoraram as medidas topológicas da teoria dos grafos, melhorando a análise das redes de transporte no território.

O cálculo de matrizes analisa individualmente os grafos, permitindo conhecer a acessibilidade e a centralidade de cada um dos nós. Este cálculo permite uma análise interna da estrutura da rede. O cálculo de matrizes permite diferenciar grafos com diferentes estruturas. Isto porque a forma mais simples é uma matriz binária (1 e 0), caso existam, ou não ligações diretas entre os nós.

De acordo com Taaffe et al (1996:256, cit in Morgado, 2010) a rede através de uma matriz tem em conta os seguintes aspetos:

- Posição: identifica a posição dos arcos na rede, pelas ligações diretas ou indiretas que estabelece entre quaisquer pares de nós, é fundamental;
- Ligações diretas e indiretas: verifica se há relação direta ou indireta entre nós de uma qualquer rede;
- Atenuação: É a medida da diferença entre ligações diretas e indiretas;
- Redundância: determina se existe a duplicação de ligações;

- Ligações ponderadas: nos cálculos da rede tem em conta que existem ligações com mais importância relativa do que outras.

Matriz de Conectividade

O grau de um nó corresponde ao número de arcos que convergem para o nó, e que se pode determinar pelo somatório de “uns” (1), de cada nó na relação direta com os outros nós da matriz. Para se determinar o grau de acessibilidade dos nós a partir da matriz D, basta verificar na matriz qual o nó que tem mais vezes o número 1 repetido.

O algoritmo índice de acessibilidade de Shimbel (D) indica o número de arcos a percorrer, num caminho-mais-curto, para se chegar de um nó i ao nó j. Formalmente:

$$D_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

O algoritmo índice de acessibilidade média de Shimbel (Dt) representa a média do somatório das distâncias topológicas de um nó a todos os outros nós do grafo. Formalmente:

$$D_{it} = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}}{n - 1}$$

O algoritmo índice de acessibilidade geral do grafo ou índice de dispersão total (d) é o somatório dos somatórios das distâncias topológicas de todos os nós entre si, resultando num valor indicador da dispersão total do grafo (quanto mais alto o valor, maior a dispersão do grafo). A sua fórmula é:

$$d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

A leitura destes valores é ainda permitam retirar mais três indicadores: o número associado ou índice de Konig corresponde à distância topológica de um nó ao nó que se encontra mais afastado topologicamente no grafo, através do caminho-mais-curto; o nó central é aquele que possui um número associado mais baixo; o diâmetro da rede corresponde ao valor mais elevado determinado pela matriz D.

Matrizes derivadas

As matrizes derivadas permitem obter grandezas da complexidade do grafo através do cálculo do número de percursos diferentes que é possível efetuar entre quaisquer pares de nós, usando um número de arcos igual a i .

A matriz T permite saber qual o número de ordem da matriz $T(n)$, em que deixam de existir zeros. Determina a acessibilidade dos nós pelo somatório dos valores das linhas e da acessibilidade geral do grafo pela soma de todos os elementos da matriz. Esta matriz analisa não apenas as ligações diretas (como a matriz C), mas também as ligações indiretas.

Matrizes ponderadas

De acordo com Abreu (2005, cit in Morgado 2010) as matrizes ponderadas permitem atribuir pesos aos arcos e colmatar algumas das deficiências existentes nas medidas topológicas dos grafos. Com a matriz L, as distâncias são reais e cada ligação é ponderada em acordo com a distância física entre os nós, independentemente da unidade de medida. A matriz L permite obter um valor referente à acessibilidade dos nós, baseado numa medida de distância mais completa, assente em métricas físicas em vez de topológicas.

Problemas e limitações dos grafos

Para Christofides (1975, cit in Tinkler, 1977) a teoria dos grafos é um sistema teórico para problemas de estado finito e não está bem adaptada para lidar com problemas no plano contínuo. Um problema que surge ao lidar com estruturas combinatórias em geral é a complexidade dos algoritmos necessários para encontrar as soluções ótimas para a maioria dos problemas significativos

Haggett e Chorley (1969) sublinham que uma das complicações na aplicação da teoria dos grafos à análise da estrutura da rede é a terminologia muito confusa e sobreposta. As linhas são geralmente referidas como "links", "bordas", "lados", "arcos", "segmentos", "ramos", "rotas" ou "uma célula"; enquanto os pontos são descritos como "nós", "vértices", "junções", "intersecções", "terminais" ou "células zero". Os termos são muitas vezes restritos a um determinado campo aplicado (por exemplo, na literatura médica as ligações e nós tornam-se "neurónios" e "sinapses").

O problema das Pontes de Königsberg, já referido anteriormente é o primeiro e mais famoso problema em Teoria dos Grafos, resolvido por Euler em 1736.

O problema do Carteiro Chinês é uma aplicação bastante importante do conceito de grafo euleriano. Usamos um grafo valorado onde às arestas é associado um peso, isto é, uma função $f : A \rightarrow \mathbb{R}^+$. Este peso pode representar comprimento, custo, tempo, ou o que a modelagem do problema exigir. O problema do carteiro chinês (que tem este nome por ter sido apresentado pela primeira vez por um pesquisador chinês e não pela nacionalidade do carteiro) consiste em minimizar o esforço de um carteiro que percorre todas as ruas de uma cidade A ideia é fazer o carteiro percorrer ruas repetidas de forma económica. O problema pode-se complicar bastante, mas hoje há algoritmos que produzem resultados aproximados com bastante eficiência. É um problema bastante estudado devido à economia que uma boa solução pode gerar.

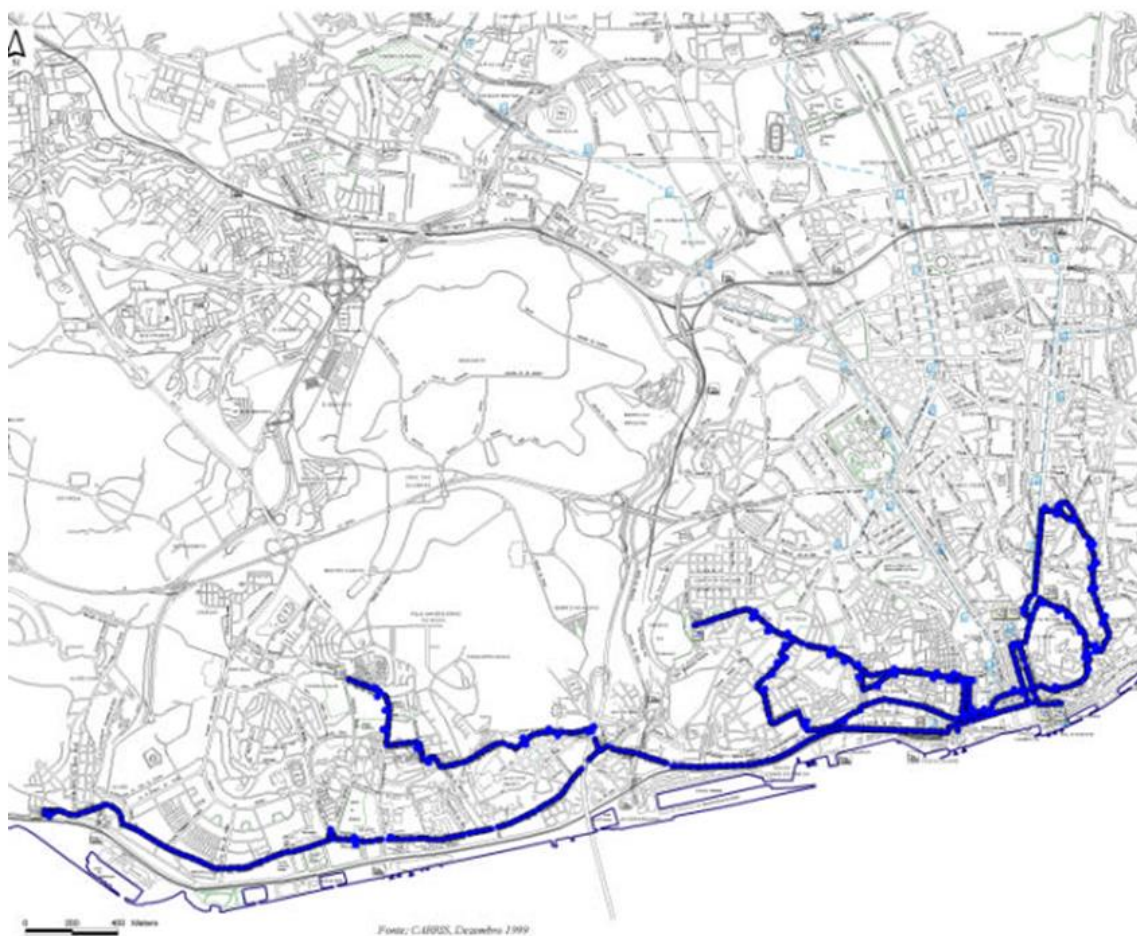
O problema das 4 cores remonta a 1852, quando Frederick Guthrie, aluno de Augustus de Morgan, trouxe a este um problema proposto por seu irmão Francis Guthrie. Na verdade, tratava-se de uma conjectura, hoje um teorema. O teorema das 4 cores é o

seguinte: um mapa pode ser colorido com 4 cores. Colorir um mapa é colorir as regiões de maneira que regiões fronteiriças não sejam coloridas com a mesma cor. Usando a dualidade podemos formular o teorema em forma de coloração de vértices. O teorema das 4 cores reformulado é o seguinte: num grafo planar G tem-se que $X(G) \leq 4$. O grafo K_4 mostra que 4 cores são necessárias, mas serão suficientes? O problema demorou um século para ser resolvido. Em 1976, Appel, Haken e Koch, com o auxílio de 1200 horas do computador mais rápido de sua época, executando mais do que 10^{10} operações computacionais, provaram o teorema.

ANEXO 3: EXTENSÃO ESPACIAL DA REDE DA CARRIS DE AUTOCARROS E DE ELÉTRICOS EM 1999



Cobertura espacial da Rede de Autocarros em 1999
Fonte: Mobilidade e Transportes na AML, DGTT, 2000



Cobertura Espacial da Rede de Eléctricos em 1999
Fonte: Mobilidade e Transportes na AML, DGTT, 2000

GLOSSÁRIO

Raquete: Linha, tipicamente circular, contornando um largo ou praça e permitindo aos elétricos inverter o sentido da marcha sem manobras.

Via dupla: Duas linhas paralelas na mesma rua, uma para cada sentido de circulação.

Via simples ou única: Linha por onde circulam elétricos nos dois sentidos.