

GRAFOS MULTIARESTA NA ANÁLISE DO SISTEMA METRÔ/FERROVIÁRIO DE LISBOA

Mariana Corrêa Pinheiro

Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos. Niterói - RJ
maricpin@pop.com.br

Paulo Guilherme Ribeiro

Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos. Niterói - RJ
pauloguilherme@terra.com.br

João Carlos C. B. Soares de Mello

Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos. Niterói - RJ
jcsmello@producao.uff.br

Resumo

Este artigo tem o objetivo de demonstrar a melhor representatividade dos grafos multiarestas para a modelagem de sistemas de transporte complexos. Para isso, o sistema metrô/ferroviário de Lisboa foi representado usando três abordagens diferentes explicando as vantagens e desvantagens de cada método. Esse é o escopo deste estudo, pois, em geral, os trabalhos relacionados a este assunto não costumam fazer uso do tipo de grafo mencionado. Desta forma foi possível observar as estações onde passam mais linhas de trem, o que significa que são as que possuem maior fluxo de pessoas transitando.

Palavras-chave: Grafos, Multiaresta, Condensação.

Abstract

This paper has the objective to show how far represents the multiedge graphs to model the complex transport system. For this, the subway / railway systems were represented by three different ways each of them showing its advantages and disadvantages. This is the scope of this paper because, in general, the works related to this issue usually not mention the graph used. This allow us to note which stations have more railway lines, therefore, the highest people traffic.

Word-keys: Graphs, Multiedges, Condensation.

1. INTRODUÇÃO

Neste artigo são usados grafos multiarestas para as representações das linhas metroviárias e ferroviárias. O esquema de um grafo é obtido associando-se a cada vértice um ponto ou uma pequena área delimitada por uma fronteira e a cada ligação um desenho capaz de representar a forma de associação dos vértices que envolvem (Boaventura Netto, 1996).

O uso de grafos multiarestas foi determinado pelo fato de que entre os diversos nós pode haver mais de uma ligação. Dessa maneira podemos representar em um mesmo esquema, todas as diferentes linhas existentes, uma vez que os trens executam diferentes roteiros, mas passando por algumas estações em comum.

2. HISTÓRICO

O primeiro projeto de um sistema de caminhos-de-ferro subterrâneo para Lisboa é do ano de 1888, e da autoria do engenheiro militar Henrique de Lima e Cunha. Porém apenas a

partir da II Guerra Mundial, com a retomada do crescimento da economia, das políticas de eletrificação e dos fundos do plano Marshall, é que surge com plena vitalidade a decisão de se construir uma linha de metrô para Lisboa.

A construção teve início em 1955 e quatro anos mais tarde o novo sistema de transportes foi inaugurado. A rede tinha um modelo em forma de Y, sendo constituída por duas linhas distintas: Sete Rios – Rotunda (atualmente, Jardim Zoológico e Marquês de Pombal) e Entre Campos – Rotunda. Essas duas difundiam-se em uma linha comum, Rotunda – Restauradores. Este foi um importante e muito bem sucedido acontecimento para a cidade, tendo-se atingido a 15,3 milhões o número de passageiros transportados no primeiro ano. O Metrô de Lisboa, na época de sua inauguração era o décimo quarto da Europa e o vigésimo quinto do mundo. O pioneiro foi o de Londres, em 1863, a partir da idéia de Chalés Pearson, o inventor deste meio de transporte.

O Metrô se tornou um fator determinante no desenvolvimento de Lisboa, traçando linhas de expansão urbanísticas e funcionando como motor principal do sistema de transportes da cidade, devido à sua segurança, rapidez e regularidade.

A construção da rede ocorreu de forma gradual durante a década de 60. Até que no ano de 1972, houve uma interrupção nos projetos de expansão inicialmente previstos, que só foram retomados em 1988. Entretanto, teve início um projeto de prolongamento dos trens, que inicialmente possuíam vagões, mas que passaram a funcionar com quatro.

As expansões continuaram acontecendo a partir de 1988, dando origem a uma rede planejada, até parar em 1997 devido a um incêndio em uma das estações, onde o serviço foi interrompido. A expansão só foi reativada no ano seguinte, passando a constituir o início do funcionamento com três linhas independentes: Linha A, Pontinha – Restauradores; Linha B, Campo Grande – Rato; e Linha C, Campo Grande – Martim Moniz (atual Socorro). No mesmo ano foi criada a conexão entre as linhas A e C na estação Baixa/Chiado. E ainda em 1988 entra em funcionamento a nova Linha D, a Linha do Oriente. Trata-se de um marco importante na história do Metrô de Lisboa, pois é a primeira linha completamente independente inaugurada desde o início do funcionamento da rede. A estação Alameda passa a dar correspondência entre as linhas C e D, que inclui seis novas estações.

A partir de então o Metrô de Lisboa passou a funcionar com quatro linhas independentes e interligadas, realizando conexões com a rede ferroviária (suburbana e regional) e com as ligações fluviais para a margem Sul. As expansões continuaram acontecendo, e este ano o Metrô passou pela primeira vez a sair dos limites de Lisboa.

O sistema ferroviário é atualmente composto por duas empresas, a CP e a Fertagus. A primeira opera desde o século XIX.

Em meados do século XX os trens suburbanos da região de Lisboa eram operados através das chamadas tranvias, a de Sintra e a da Azambuja. A primeira tinha origem no Rossio e ia até Sintra, com passagem por grande parte da cintura industrial de Lisboa. Já tranvia da Azambuja era, essencialmente, operada em um trecho da linha do norte (Lisboa – Porto). Tinha origem na estação de Santa Apolónia (Lisboa) e, num percurso às margens do Tejo, passava (entre outras) por Alverca, Vila Franca de Xira e Azambuja. Além disso, algumas composições saíam do Rossio e usavam uma linha que atravessa Lisboa para atingir a linha do norte em Braço de Prata, onde passava a seguir o mesmo percurso dos trens saídos de Santa Apolónia. Esta linha era claramente mal aproveitada. Na década de 1990 foi decidido aproveitar melhor essa linha. As estações foram reformadas e aumentou-se a frequência de trens. O aumento foi feito de duas formas: a linha de Sintra passou a operar em sistema Y, com alguns trens originados no Rossio e outros que saíam de Entrecampos (estação localizada na linha que atravessa Lisboa) e posteriormente, até Alverca, numa integração entre as tranvias de Sintra e Azambuja. A outra alteração foi o fim dos trens da tranvia da Azambuja saídos do Rossio. Passaram a sair de Alcântara (um antigo ramal de carga) e, a partir de Campolide, juntavam-se à linha da travessia de Lisboa. Esta configuração vigora até hoje, apenas com aumento da frequência dos trens.

Completa o sistema da CP a linha do Cais do Sodré a Cascais (conhecida como linha do Estoril). Esta linha era operada por uma empresa independente, mas foi estatizada e incorporada à CP depois da revolução de 25 de Abril de 1974. A linha integra-se no Cais do Sodré com o metropolitano e, em Alcântara-Mar com a linha da Azambuja (através de uma passarela de pedestres para Alcântara-Terra).

Já a Fertagus iniciou as operações no final do século XX. O seu objetivo é fazer a ligação de trem sobre o Tejo. De fato, a ponte 25 de Abril previa, desde a sua inauguração, esta ligação, que demorou mais de 30 anos para ser feita. Os trens saem de Roma-Areeiro, usam os trilhos e estações da CP até Campolide, e a partir daí atravessam a ponte e cumprem um percurso na margem sul do Tejo.

Os esquemas destas ligações serão apresentados na seção 4.

3. DEFINIÇÕES INICIAIS

Inicialmente, juntou-se o sistema de metrô com o sistema de trens urbanos da cidade de Lisboa. Cada estação foi representada por um nó e a ligação entre as estações por arestas. Como ponto de partida, foi usada a modelagem padrão, na qual cada aresta representa simplesmente a ligação ferroviária entre as estações. A grande desvantagem desta modelagem é que ela não consegue representar os diferentes níveis de movimentação das estações. Seu grande atrativo é a simplicidade de compreensão pelo usuário comum, pois se trata de um grafo monoaresta.

A segunda abordagem usada neste trabalho foi a de considerar as diferentes linhas de trens que operam numa mesma malha ferroviária (característica comum ao sistema de Lisboa) como sendo arestas diferentes. Com isso foi possível uma melhor representação das estações mais movimentadas no grafo.

Apesar da abordagem anterior dar uma idéia dos diferentes níveis de movimentação, uma característica muito importante do sistema português – também presente em vários outros sistemas de transporte complexos – ainda não estava modelada. Os pontos de paradas de cada linha neste sistema depende do horário. Isso faz com que cada linha possua diferentes itinerários dependendo da movimentação em cada estação. Para modelar essa característica, representou-se cada parte do itinerário de uma linha entre duas estações como sendo uma aresta.

A grande vantagem desta nova modelagem é que se consegue identificar facilmente no grafo quais são as estações mais movimentadas do sistema. Para isso basta contar o grau de cada nó (número de arestas que entram e saem de um nó) e quanto mais elevado este número for, maior a utilização da estação. Entretanto, um grafo complexo acaba sendo gerado, e sua compreensão por um usuário comum torna-se algo não trivial.

4- MODELOS

A seguir são apresentados os três modelos representativos das redes. Para tornar a visualização mais clara, foi adotada a seguinte convenção:

1 - Azambuja	32 - Barcarena	63 - São Sebastião
2 - Espadanal da Azambuja	33 - Cacém	64 - Parque
3 - Vila Nova da Rainha	34 - Rio de Mouro	65 - Marquês de Pombal
4 - Carregado	35 - Mercês	66 - Avenida
5 - Castanheira do Ribatejo	36 - Algueirão	67 - Baixa/Chiado
6 - Vila Franca de Xira	37 - Portela	68 - Odivelas
7 - Quinta das Torres	38 - Sintra	69 - Senhor Roubado
8 - Alhandra	39 - Cascais	70 - Ameixoeira
9 - Alverca	40 - Monte Estoril	71 - Lumiar
10 - Póvoa	41 - Estoril	72 - Quinta das Conchas

- | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 11 - Santa Iria | 42 - S. João | 73 - Campo Grande |
| 12 - Bobadela | 43 - S. Pedro | 74 - Cidade Universitária |
| 13 - Sacavém | 44 - Parede | 75 - Campo Pequeno |
| 14 - Moscavide | 45 - Carcavelos | 76 - Saldanha |
| 15 - Oriente | 46 - Oeiras | 77 - Picoas |
| 16 - Braço de Prata | 47 - Santo Amaro | 78 - Rato |
| 17 - Sta. Apolónia | 48 - Paço de Arcos | 79 - Telheiras |
| 18 - Marvila | 49 - Caxias | 80 - Alvalade |
| 19 - Chelas | 50 - Cruz Quebrada | 81 - Alameda |
| 20 - Areeiro | 51 - Algés | 82 - Arroios |
| 21 - Entrecampos | 52 - Belém | 83 - Anjos |
| 22 - Sete Rios (Jardim Zoológico) | 53 - Santos | 84 - Intendente |
| 23 - Campolide | 54 - Cais do Sodré | 85 - Martim Moniz |
| 24 - Alcântara (Terra e Mar) | 55 - Amadora Este | 86 - Rossio |
| 25 - Rossio | 56 - Alfornelos | 87 - Cabo Ruivo |
| 26 - Benfica | 57 - Pontinha | 88 - Olivais |
| 27 - Sta. Cruz/Damaia | 58 - Carnide | 89 - Chelas |
| 28 - Reboleira | 59 - Colégio Militar/Luz | 90 - Bela Vista |
| 29 - Amadora | 60 - Alto dos Moinhos | 91 - Olaias |
| 30 - Queluz-Belas | 61 - Laranjeiras | 92 - Roma |
| 31 - Queluz-Massamá | 62 - Praça de Espanha | |

Figura 1: Legenda das estações

O primeiro modelo consiste em um grafo onde cada nó representa uma estação e as arestas indicam apenas a existência de ligação física entre as estações. Como se pode observar, trata-se de um grafo simples.

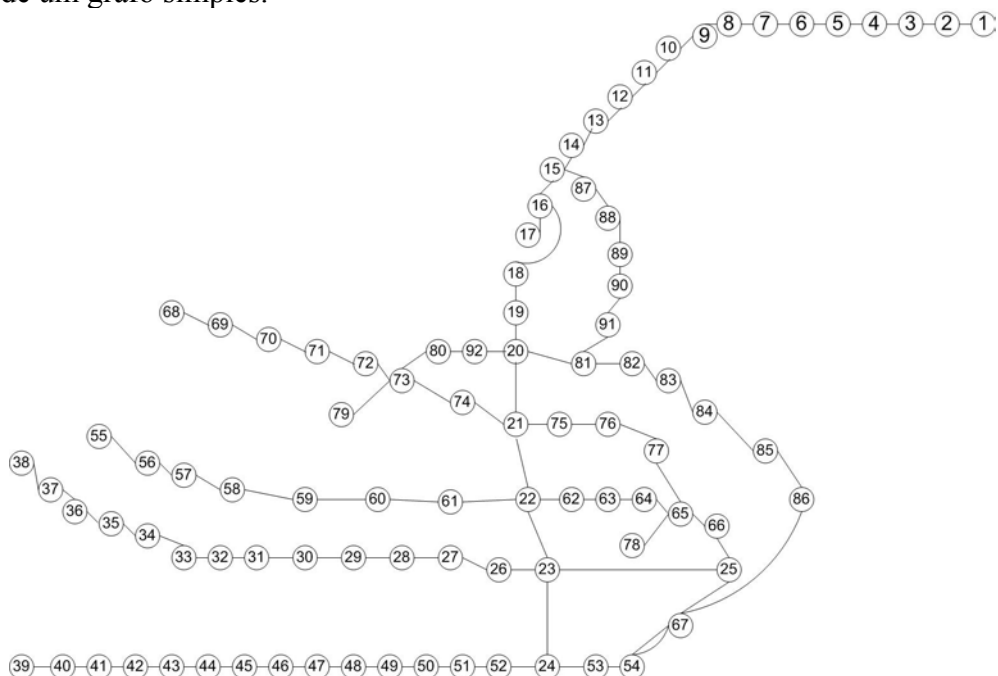


Figura 2: Primeiro modelo de grafo

O segundo modelo é um grafo que representa as diferentes linhas de trem e metrô. Devido a isso aparecem ligações múltiplas entre alguns nós, o que significa que mais de uma linha percorre o mesmo trajeto.

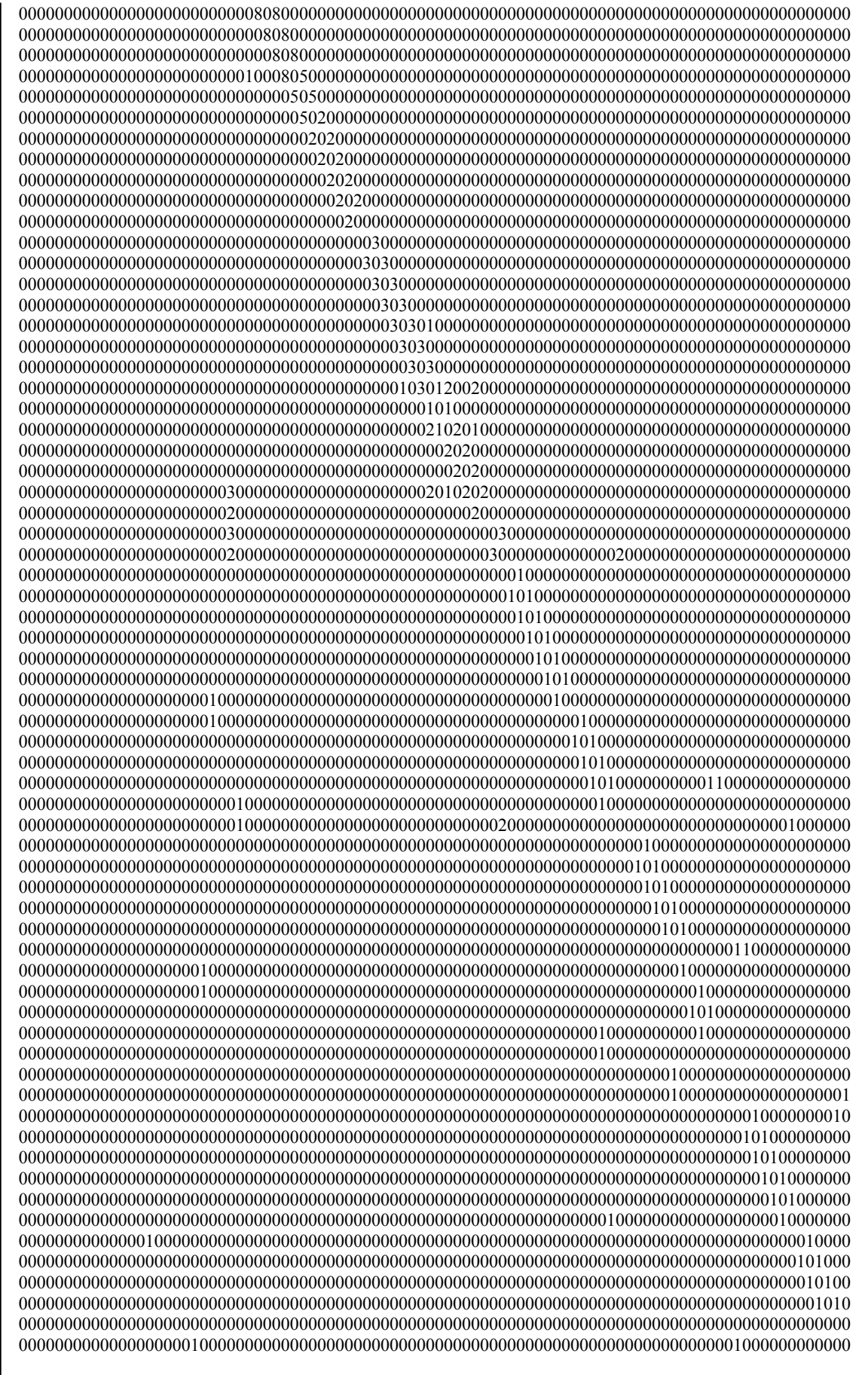


Figura 4: Matriz de Adjacência

Calculando-se o grau de cada nó são encontrados os seguintes valores:

Vértice 1 = grau 3	Vértice 32 = grau 10	Vértice 63 = grau 2
Vértice 2 = grau 4	Vértice 33 = grau 7	Vértice 64 = grau 2
Vértice 3 = grau 4	Vértice 34 = grau 4	Vértice 65 = grau 4
Vértice 4 = grau 4	Vértice 35 = grau 4	Vértice 66 = grau 2
Vértice 5 = grau 4	Vértice 36 = grau 4	Vértice 67 = grau 4
Vértice 6 = grau 7	Vértice 37 = grau 4	Vértice 68 = grau 1
Vértice 7 = grau 2	Vértice 38 = grau 2	Vértice 69 = grau 2
Vértice 8 = grau 7	Vértice 39 = grau 3	Vértice 70 = grau 2
Vértice 9 = grau 13	Vértice 40 = grau 6	Vértice 71 = grau 2
Vértice 10 = grau 15	Vértice 41 = grau 6	Vértice 72 = grau 2
Vértice 11 = grau 12	Vértice 42 = grau 6	Vértice 73 = grau 4
Vértice 12 = grau 14	Vértice 43 = grau 7	Vértice 74 = grau 2
Vértice 13 = grau 12	Vértice 44 = grau 6	Vértice 75 = grau 2
Vértice 14 = grau 12	Vértice 45 = grau 6	Vértice 76 = grau 2
Vértice 15 = grau 19	Vértice 46 = grau 9	Vértice 77 = grau 2
Vértice 16 = grau 17	Vértice 47 = grau 2	Vértice 78 = grau 1
Vértice 17 = grau 3	Vértice 48 = grau 6	Vértice 79 = grau 1
Vértice 18 = grau 11	Vértice 49 = grau 4	Vértice 80 = grau 2
Vértice 19 = grau 12	Vértice 50 = grau 4	Vértice 81 = grau 3
Vértice 20 = grau 18	Vértice 51 = grau 10	Vértice 82 = grau 2
Vértice 21 = grau 20	Vértice 52 = grau 4	Vértice 83 = grau 2
Vértice 22 = grau 19	Vértice 53 = grau 6	Vértice 84 = grau 2
Vértice 23 = grau 8	Vértice 54 = grau 7	Vértice 85 = grau 2
Vértice 24 = grau 12	Vértice 55 = grau 1	Vértice 86 = grau 2
Vértice 25 = grau 5	Vértice 56 = grau 2	Vértice 87 = grau 2
Vértice 26 = grau 16	Vértice 57 = grau 2	Vértice 88 = grau 2
Vértice 27 = grau 16	Vértice 58 = grau 2	Vértice 89 = grau 2
Vértice 28 = grau 16	Vértice 59 = grau 2	Vértice 90 = grau 2
Vértice 29 = grau 16	Vértice 60 = grau 2	Vértice 91 = grau 2
Vértice 30 = grau 16	Vértice 61 = grau 2	Vértice 92 = grau 2
Vértice 31 = grau 14	Vértice 62 = grau 2	

MÉTODO DE CONDENSAÇÃO

Um outro método para calcular a centralidade do grafo, isto é, a região onde se concentram os vértices de maior grau, tem o nome de condensação. Ele consiste em eliminar os vértices de grau um do grafo, até que não se tenha mais nenhum. Isso é feito da seguinte forma: do grafo inicial, elimina-se todos os nós de grau um e os arcos que os conectavam aos outros nós. Feito isso, outros nós de grau um são obtidos, e novamente são eliminados. Esse procedimento é feito por sucessivas vezes, até que não se possa mais, pois o grafo fica apenas com nós de grau maior que um. A seguir são representados os grafos que surgem como resultado deste processo.

O primeiro é a representação condensada do grafo onde estão representadas apenas as linhas de metrô e trem, sem considerar os diferentes possíveis itinerários.

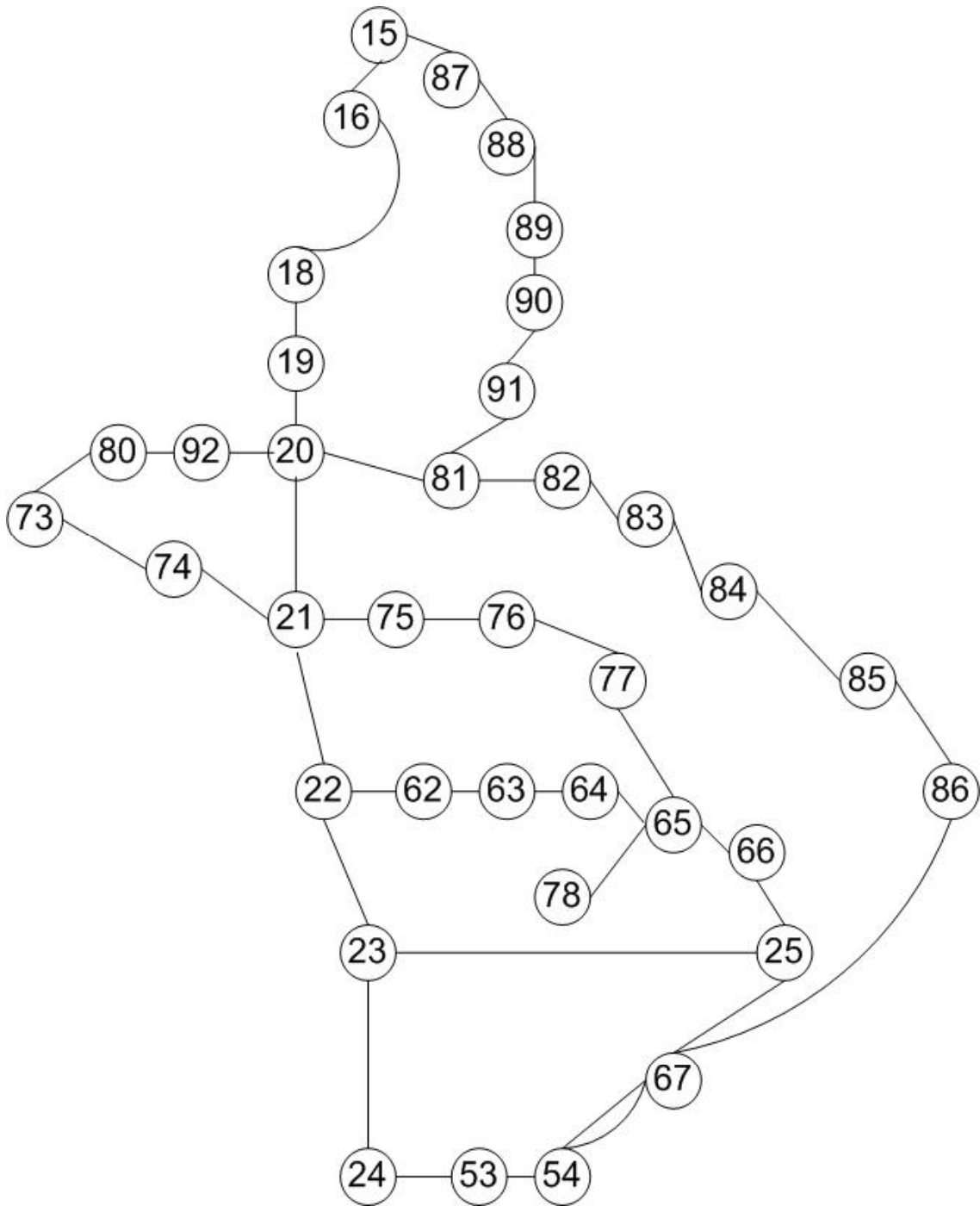


Figura 5: Grafo 1 após o processo de condensação

O segundo grafo considera as diferentes linhas percorridas, tendo, portanto, uma maior diversidade de arcos entre diferentes nós.

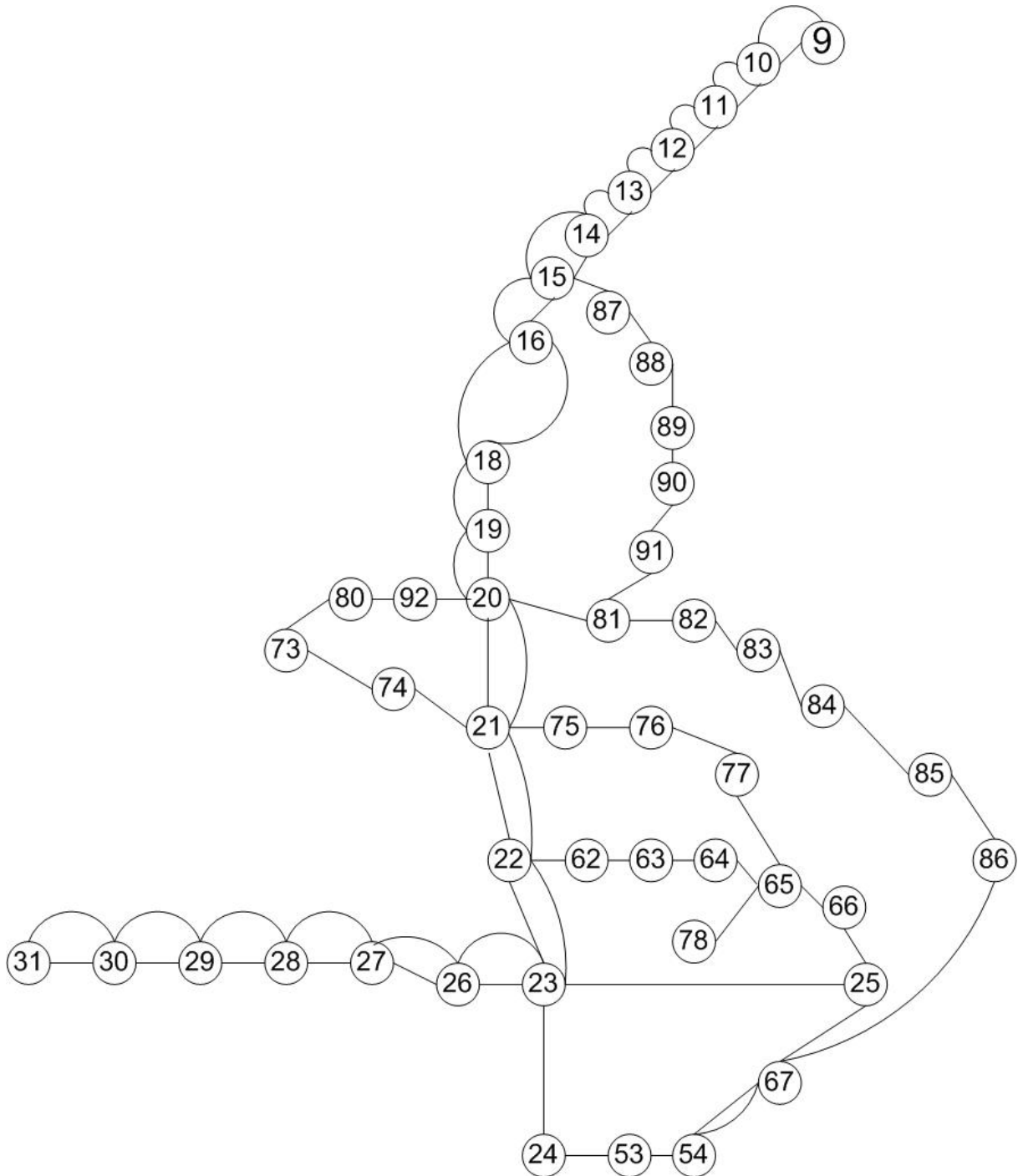


Figura 6: Grafo 2 após o processo de condensação

O resultado obtido através deste processo é a região que concentra, no caso, um maior número de trens circulando, e sendo assim, uma maior densidade de pessoas transitando.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro do primeiro método utilizado no artigo, através da terceira modelagem conseguimos extrair do grafo informações não usualmente contidas em grafos. Esse método aliado à contagem do grau de cada nó permitiu determinar quais estações são mais utilizadas sem que informações relativas ao fluxo de pessoas fossem mencionadas.

Com o segundo método, obtemos como resultado uma região, sendo mais fácil sua visualização. No entanto a região é muito extensa, e não determina especificamente os nós de mais alto grau, que seriam as estações mais movimentadas. Tais conclusões referentes à movimentação de cada estação foram confirmadas por conhecedores da movimentação de cada estação de Lisboa.

Agradecimentos

A UFF e ao CNPq pelo apoio dado, através do programa PIBIC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]Boaventura Netto, P. O. (1996) - *Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos*. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo.

[2]CP 2004, *Site Caminhos de Ferro Portugueses*, capturado em www.cp.pt.

[3]Fertagus 2004, *Site Fertagus*, capturado em www.fertagus.pt.

[4]Gersting, J.L. (1993) - *Fundamentos Matemáticos para Ciência da Computação*. Editora LTC. 4.ª Edição.

[5]Metrô Lisboa 2004, *Site Metropolitano de Lisboa*, capturado em www.metrolisboa.pt.