



AEAMESP



21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

PLANEJAMENTO DOS TRANSPORTES PÚBLICOS, UMA MODELAGEM EM GRAFOS

Igor Pires Leite de Melo
Rafael Diniz Toscano de Lima
Rodrigo Sintonio Souto



AEAMESP



21ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

CATEGORIA 1 – POLÍTICAS PÚBLICAS, PLANEJAMENTO URBANO, MOBILIDADE SUSTENTÁVEL, PLANEJAMENTO E CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PLANEJAMENTO DOS TRANSPORTES PÚBLICOS, UMA MODELAGEM EM GRAFOS

SÍNTESE DO TRABALHO

Introdução

A grande área de planejamento de transporte de passageiros tem como objetivo a melhoria da circulação dos indivíduos, motivados pela necessidade de participação nas diversas atividades socioeconômicas desenvolvidas numa determinada localidade[4]. Portanto, para que se realize um trabalho de planejamento efetivo dos transportes públicos, faz-se necessário um profundo conhecimento acerca da região de estudo, abrangendo a gama de atividades desenvolvidas, a distribuição espacial das estruturas (centros de comércio, equipamentos urbanos, vias de acesso, etc), as características específicas da população, demandantes dos serviços de transportes, bem como as diretrizes do poder público. Assim, o planejamento de transportes de passageiros poderá fazer o elo entre as necessidades de transportes de uma região e seu desenvolvimento.

A relação transporte *versus* uso do solo tem forte influência neste planejamento, pois, assim como o transporte induz o desenvolvimento de uma região, algumas atividades, quando implantadas em áreas densamente ocupadas, geram uma demanda que nem sempre é absorvida adequadamente pelo sistema de transporte existente, trazendo como



AEAMESP



consequência os constantes engarrafamentos, o aumento dos níveis de poluição sonora e do ar, e também das horas perdidas no trânsito, fatores estes que influem direta e negativamente na qualidade de vida da população.

Deste modo, cabe ao planejador de transportes, a adequação e modelagem do modal às especificidades situacionais[5], através de projeções contínuas dos deslocamentos e da demanda de passageiros e sua distribuição geoespacial, da malha viária e das integrações entre modais de transporte, na garantia da mobilidade urbana. Deve-se inferir que rotas (existentes ou novas) devem ser utilizadas/otimizadas para que as pessoas se desloquem com segurança, conforto e no menor intervalo de tempo possível dentro de um sistema integrado de transportes.

Em nível estratégico de planejamento de transportes, objeto de estudo do presente trabalho, o planejador busca sistematizar métricas sobre as quais um sistema integrado de transportes possa ser inteiramente desenvolvido, visando à otimização da operacional e gerencial deste sistema.

Tal planejamento deve considerar os cenários atual e projetado, garantindo níveis de serviço aceitáveis e compatíveis com os recursos financeiros disponíveis[6]. O plano deve ainda, garantir o alinhamento com os estudos prévios relacionados ao tema realizados na região, a legislação vigente, bem como as políticas públicas do estado e do país.

Diante do exposto, para o cumprimento da complexa missão do planejamento de transportes, são necessárias aplicações de técnicas de simulação computacional (por meio de modelos matemáticos) capazes de exprimir e convergir as inter-relações entre os dados políticos, socioeconômicos e as demandas por transporte dos habitantes das regiões de estudo, como um ferramental imprescindível ao trabalho do planejador de transportes.

Objetivo do Trabalho

Diante da problemática, o presente estudo apresenta um modelo matemático implementado via software, capaz de analisar e realizar projeções para uma malha viária otimizada de um dado sistema integrado de transportes públicos, através de uma modelagem em grafos e na solução clássica do problema do caminho mínimo[1,2] dentro de uma rede interligada de pontos. Os resultados aqui expostos se apresentam como um instrumento de auxílio na análise e tomada de decisão no planejamento de uma malha integrada de transportes, considerando aspectos de relevância para os usuários do sistema, seus operadores e o poder público.

Definição de um Grafo

Um grafo, matematicamente representado por $G = (P, A)$, é um conjunto de pontos (nós ou ainda vértices) $P = \{P_1, P_2, \dots\}$ e um conjunto de arestas $A = \{a_1, a_2, \dots\}$, tal que cada aresta A_i pertencente a A está associado a dois pontos P_p e P_q pertencentes a P [2,3].

Desse modo, uma aresta $A_i = (P_p, P_q)$ é identificada pelo par de pontos associados. De maneira simplificada, um grafo é um conjunto de pontos conectados. Dependendo do que se queira representar, as arestas de um grafo podem ter direção (grafos orientados), ou ainda que as arestas possuam um peso (valor numérico correspondente) associado. Um grafo com arestas orientadas é chamado de grafo orientado ou dígrafo. Quando há pesos associados o grafo diz-se ponderado. A Figura 1 exemplifica os conceitos acima citados:

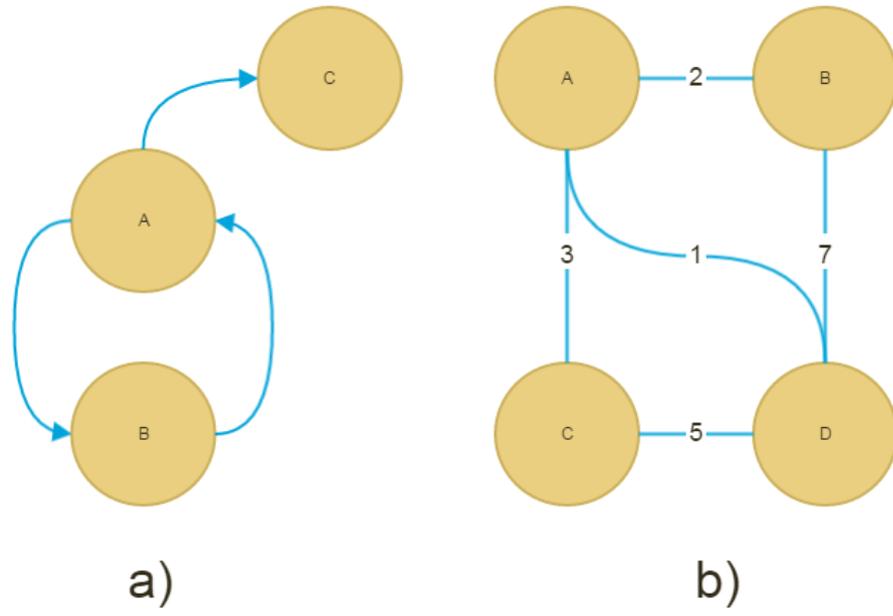


Figura 1 – a) Exemplo de grafo orientado. b) Exemplo de grafo não orientado e ponderado.

O Problema do Caminho Mínimo

As vias urbanas podem ser formalizadas através de um modelo conceitual de rede, e dessa forma, podem ser representadas através de uma topologia aresta-ponto, como num grafo. Isso possibilita a aplicação de toda a vasta teoria conhecida sobre grafos na solução de problemas clássicos inerentes ao tema, como é o caso da busca pelo melhor percurso possível dentro de uma rede interligada (Problema do Caminho Mínimo).

O problema do cálculo do caminho mínimo consiste na busca do caminho de menor custo entre dois pontos de um determinado grafo ponderado. O custo, é a soma dos pesos (valores numéricos correspondentes das arestas) existentes no caminho entre os dois pontos que se deseja percorrer. Portanto, de maneira genérica, o caminho mínimo é o menor custo total que se pode fazer traçando-se um percurso entre dois pontos de um grafo.

Algoritmo de Busca do Caminho Mínimo

Em termos técnicos, um algoritmo é uma sequência lógica, finita e definida de instruções que devem ser seguidas para resolver um problema ou executar uma tarefa. O algoritmo implementado em software para a solução do problema do caminho mínimo do presente trabalho foi baseado no princípio da busca em largura. Dado um grafo $G = (P, A)$ e um ponto de origem s , o objetivo da busca em largura é explorar as arestas de G até encontrar cada ponto acessível a partir de s . O algoritmo calcula o menor custo, percorrendo as arestas, partindo de s até todos os pontos acessíveis desse tipo. O seu funcionamento produz uma “árvore de busca” em que o nível o qual pertence um ponto é exatamente a sua distância (custo total) até s .

Seguindo o princípio da busca em largura, o algoritmo de Dijkstra é uma solução computacional para o problema de caminhos ótimos num grafo ponderado. Selecionado um ponto como raiz da busca, o algoritmo calcula o custo mínimo deste ponto aos demais apresentando uma performance computacional satisfatória em relação ao tempo de execução do programa elaborado. A implementação do algoritmo de Dijkstra em software foi realizada na linguagem de programação Python, cujo código fonte encontra-se no Anexo A deste artigo.

Modelagem de Vias Públicas em Grafos

Dentro do cenário urbano, espaços de entrada dos usuários nos modais de transporte (uma estação de metrô ou uma parada de ônibus), podem ser modelados como pontos, enquanto os percursos entre esses pontos podem ser modelados como arestas, compondo

assim, um grafo que mapeia os vários caminhos possíveis entre os pontos da malha urbana.

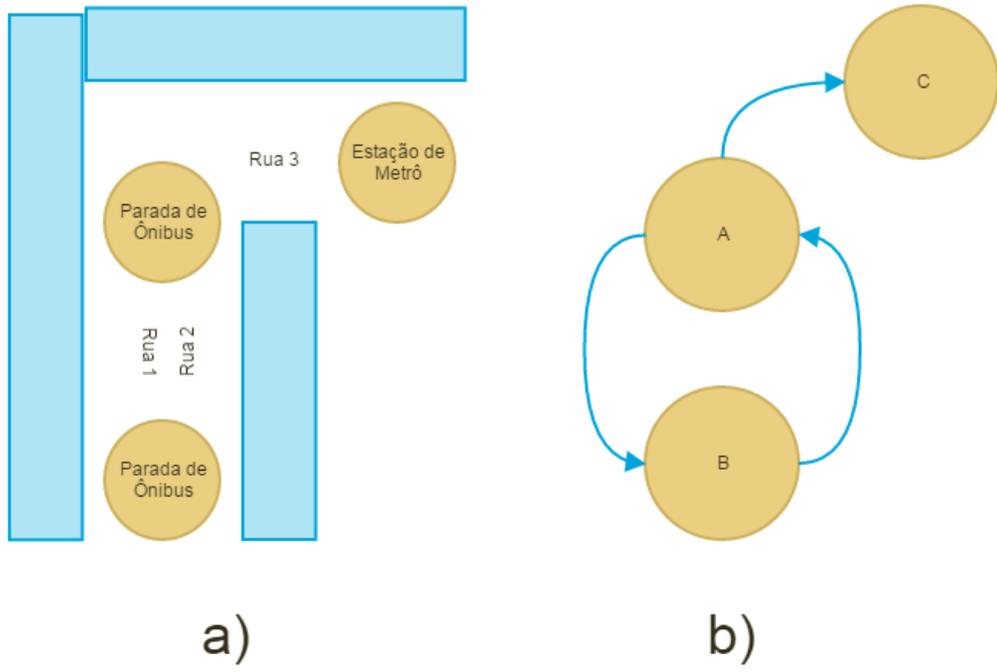


Figura 2 – a) Arruamentos. b) Modelagem da malha urbana em grafos.

A partir da modelagem em grafos, pode-se obter a minimização do custo de travessia entre dois pontos, composto pela soma dos pesos de cada trecho percorrido, por meio de um algoritmo capaz de determinar o caminho ótimo entre dois pontos quaisquer, como mostra a Figura 1.

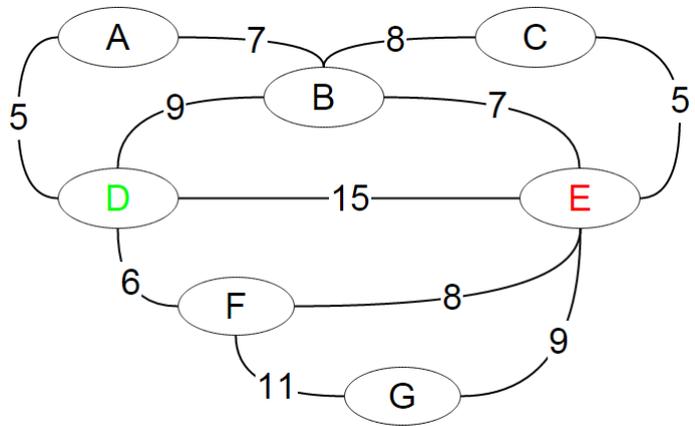


Figura 3 – O caminho mínimo entre D e E não é D-E (custo 15), mas sim D-F-E, com um custo de 14, somado ao longo do trajeto.

Índices de Mobilidade Urbana

Dada uma representação em grafo, somando-se todos os custos dos menores caminhos de um determinado ponto em relação aos demais pontos da malha viária, tem-se uma referência numérica de quão bem interligado ao sistema este ponto se encontra, ou seja, qual é o índice de mobilidade que um usuário que se encontra num determinado ponto apresenta em relação a malha integrada de transportes. Abaixo, tem-se o passo a passo do cálculo do Índice de Mobilidade Urbana (IMU) do ponto A, pertencente à malha da Figura 4, somando os custos dos caminhos mínimos para os demais pontos.

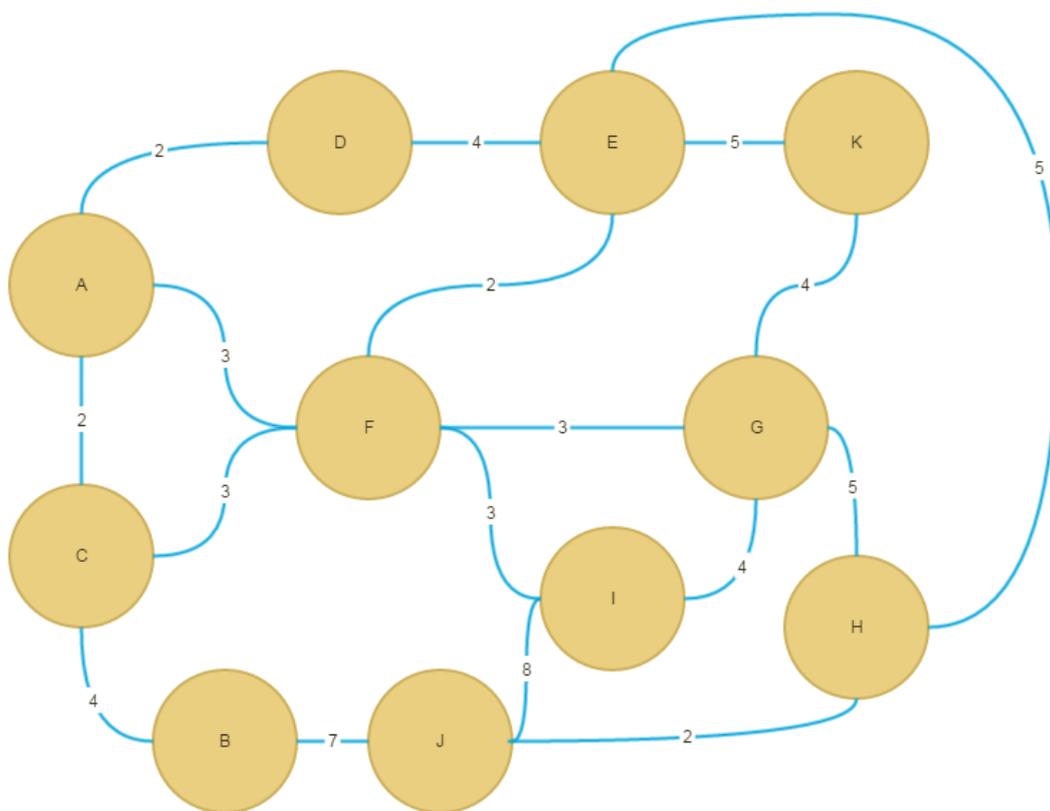
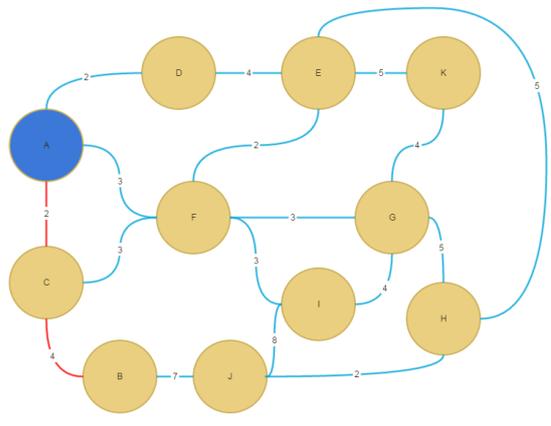


Figura 4 – Malha de pontos interligados.

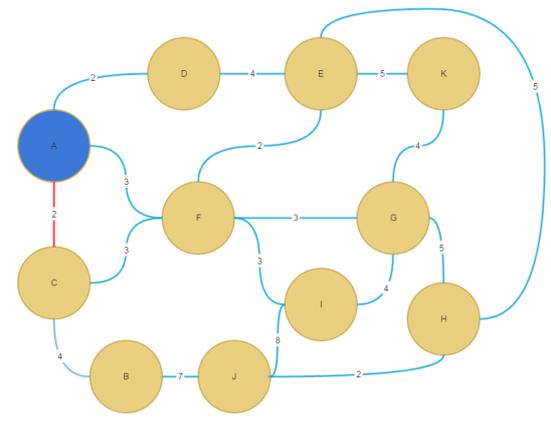


AEAMESP

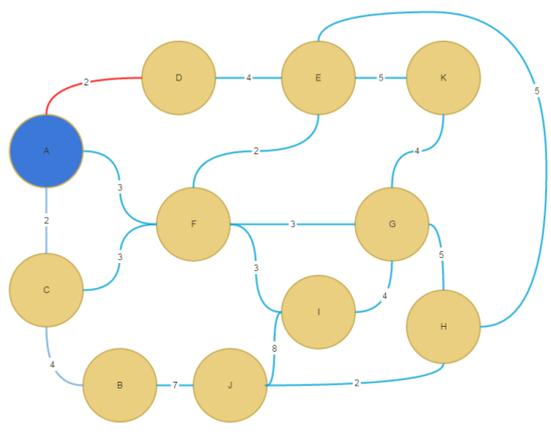
21ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2015



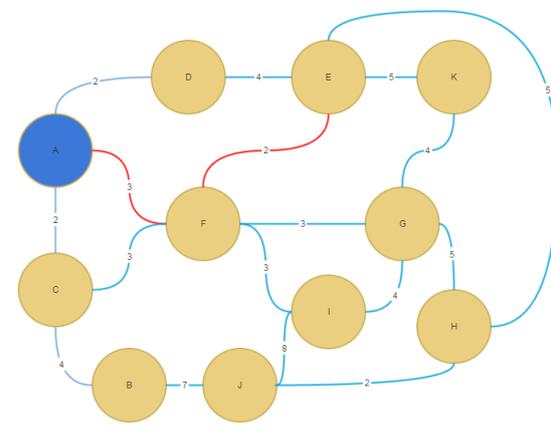
a)



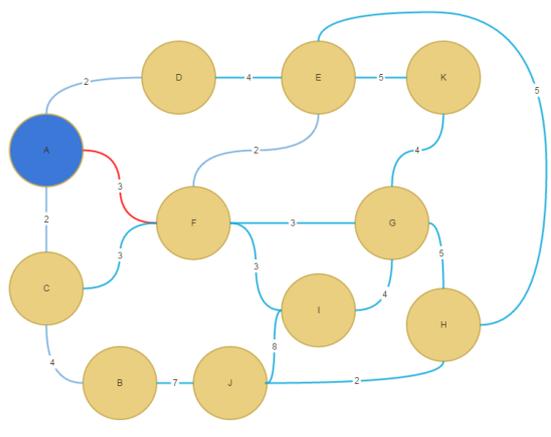
b)



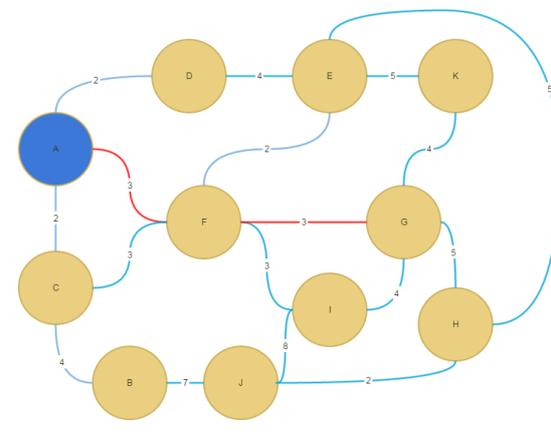
c)



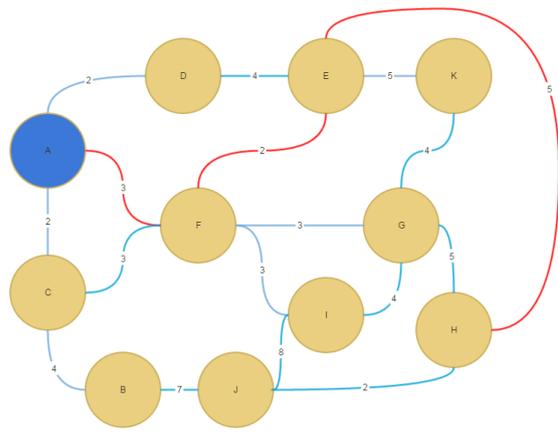
d)



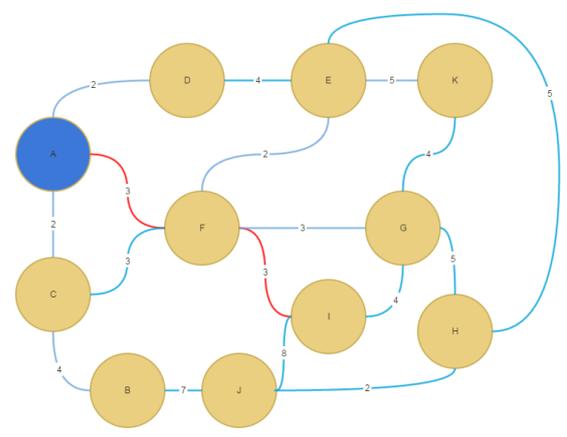
e)



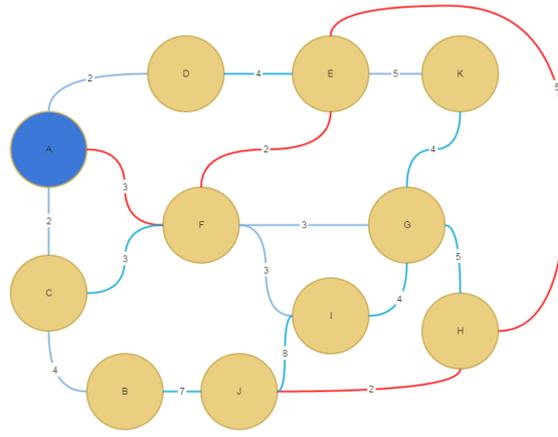
f)



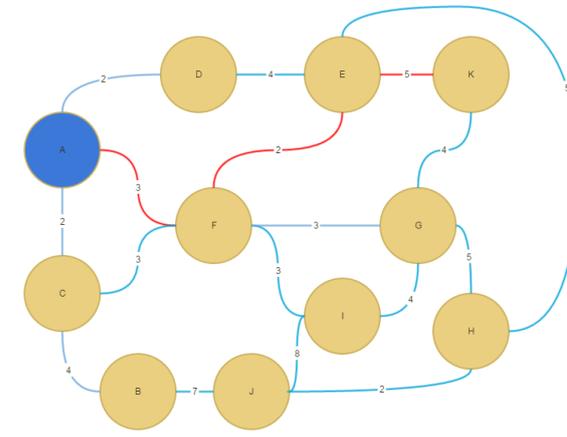
g)



h)



i)



j)

Figura 5 – a) Menor caminho: [a, c, b] Custo = 6; b) Menor caminho: [a, c] Custo = 2; c) Menor caminho: [a, d] Custo = 2; d) Menor caminho: [a, f, e] Custo = 5; e) Menor caminho: [a, f] Custo = 3; f) Menor caminho: [a, f, g] Custo = 6; g) Menor caminho: [a, f, e, h] Custo = 10; h) Menor caminho: [a, f, i] Custo = 6; i) Menor caminho: [a, f, e, h, j] Custo = 12 ; j) Menor caminho: [a, f, e, k] Custo = 10.

Agrupando-se ainda, todos os índices de mobilidade ponto a ponto, tem-se expresso, um índice numérico global de mobilidade (IMU Global) de um sistema integrado de transportes (Figura 6).

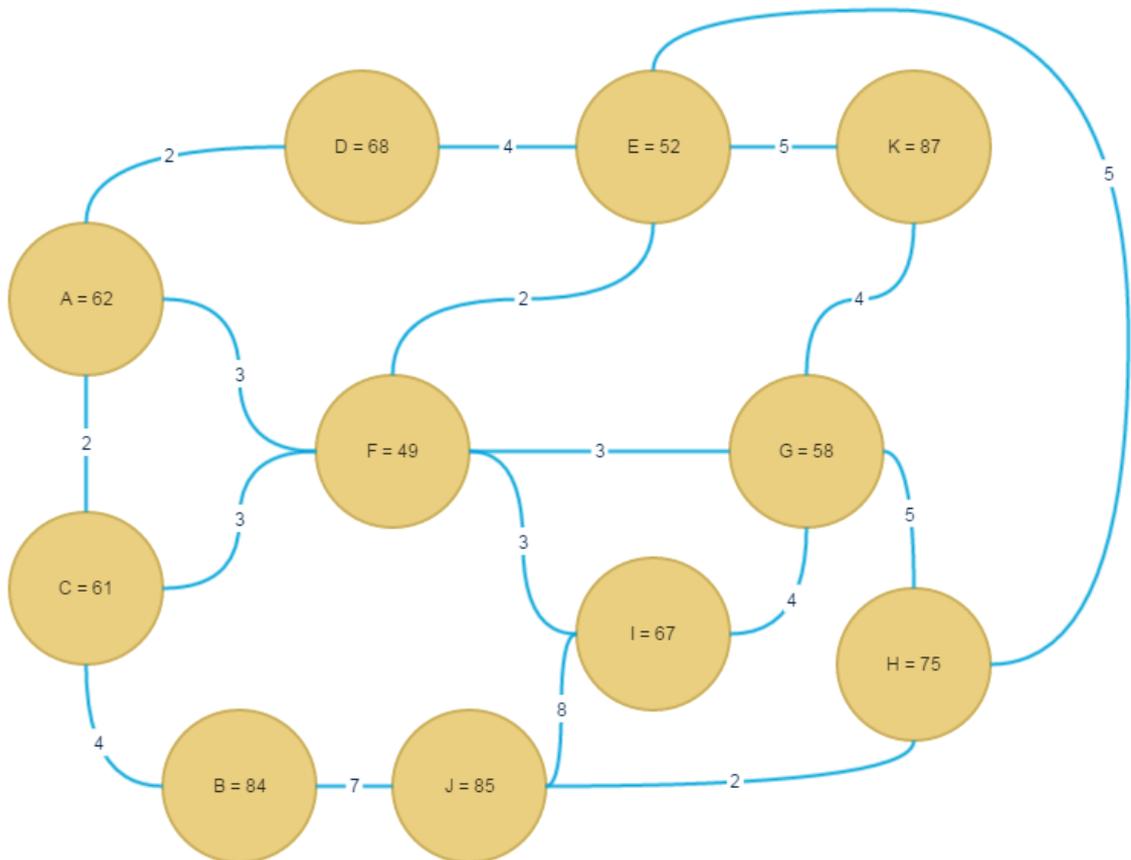


Figura 6 – Agrupamento de todos os IMU's individuais. IMU Global: 748.

Fatores de Relevância no Cálculo da Aresta

A utilização deste modelo teórico representativo é suficiente para a otimização de um sistema integrado de transportes, bastando que os pesos das arestas sejam, de fato, uma tradução numérica robusta e precisa de todos os fatores relevantes aos usuários, aos operadores do sistema e Poder Público, para cada um dos modais pertinentes ao sistema.

Na modelagem de redes de transporte, os custos correspondentes de cada uma das arestas podem ser representados pela convergência dos mais variados fatores, seja pela distância linear de dois pontos, ou até mesmo por valores específicos relacionados a múltiplos atributos de cada trecho e de cada modal de transporte em particular. Então, na

tentativa de se aproximar da realidade de uma malha integrada de transportes públicos, enfrenta-se uma inevitável complexidade na modelagem de tais sistemas. Faz-se necessária a definição, com a máxima precisão possível, do domínio e contexto do problema a ser solucionado.

Aspectos Relevantes a Sistemas de Transporte Público

O transporte público deve se adequar às características da região e ser passível de adaptações constantes à própria dinâmica urbana[8][9][10], tanto em termos quantitativos como quanto às particularidades de cada modal de transporte.

Com isso, as diversas modalidades que o compõem, devem funcionar como um sistema integrado de transporte público, atendendo cada um a funções específicas, na busca constante de uma racionalização operacional e gerencial, redução dos custos para os usuários do sistema e para o poder público atuante.

Deste modo, o planejador de transportes deve perseguir a maximização do uso de infraestrutura já instalada, racionalizando e coordenando os diferentes meios de transporte público até atingir as respectivas capacidades nominais de transporte e, se possível, superá-las através de estratégias operacionais para o sistema.

É atividade primordial dentro do planejamento, a constante reavaliação do desempenho do sistema tanto dos parâmetros operacionais, como dos custos de transporte, na busca de um equilíbrio, buscando a melhoria na qualidade dos serviços ofertados aos usuários. Para a obtenção desse equilíbrio, é fundamental a conciliação de interesses de três grupos, com óticas distintas quanto ao desempenho do sistema:

- Usuários do sistema, que se utilizam de um serviço público para suprir suas



AEAMESP



necessidades de deslocamento e que não tem maiores preocupações com a operação dos serviços. Na utilização do transporte público este segmento pondera uma série de fatores para a tomada de decisão de quando, onde e como usar o transporte, como regularidade, tempo de deslocamento, conforto, custos de tarifa, etc.

- Operadores do sistema[11], que se encarregam de administrar e fazer funcionar um complexo sistema de transportes. Suas preocupações estão relacionadas com as variáveis que influenciam os custos e receitas na oferta do serviço, como o financiamento, aquisição, manutenção, renovação da frota e de comercialização, sob a forma de prestação de um serviço público.
- Poder Público, sendo legalmente o responsável pelo transporte público[12], deve regulamentar, planejar, programar e fiscalizar a execução dos serviços, servindo constantemente como árbitro nos conflitos de interesse entre usuários e operadores.

As três partes interessadas supracitadas compõem os grupos de análise de fatores de relevância ao sistema de transportes públicos abordados neste estudo (fatores estes, a serem transformados quantitativamente nos pesos das arestas de uma modelagem em grafos), tratados separada e elaboradamente nos tópicos que seguem.

Aspectos Relevantes aos Usuários do Transporte Público

O usuário utiliza o sistema de transporte por uma necessidade de deslocamento para cumprir um objetivo específico, isto é, deslocar-se de uma origem para o destino por algum motivo, numa determinada hora, fazendo determinado trajeto, utilizando o meio de transporte que achar mais conveniente. Ao se definir pelo uso do transporte público, o usuário leva em conta uma série de fatores, de forma a utilizar o modo que lhe seja mais



AEAMESP



conveniente. O desempenho do sistema integrado de transportes está diretamente relacionado ao atendimento que o transporte público proporciona às expectativas do usuário quando fez a opção pelo seu uso. Assim, o atendimento pode ser caracterizado como um indicador de qualidade dos serviços oferecidos. Os principais atributos relacionados ao transporte público e ponderados pelo usuário são, não se limitando a[13]:

- confiabilidade;
- tempo de deslocamento;
- acessibilidade;
- conforto;
- conveniência;
- segurança;
- custo (tarifas).

Aspectos Relevantes aos Operadores do Transporte Público

Como atribuições básicas, os operadores devem administrar e operacionalizar uma frota de veículos, infraestrutura e equipamentos correlatos para a prestação de um serviço de utilidade pública. Na ótica do operador de transportes, os fatores de relevância são, não se limitando aos: econômico, operacional, trabalhista e empresarial.

- Fatores econômicos, representados pelos custos operacionais e da expectativa de receitas produzidas pela comercialização dos serviços. Qualquer que seja a forma de participação do operador existe um compromisso econômico-financeiro de que haja um mínimo de equilíbrio entre receitas e despesas. Esta procura do ponto de equilíbrio é a grande responsável pelo conflito de interesses entre o operador e o



AEAMESP



usuário. Os pressupostos quanto à remuneração variam em se tratando de empresa pública ou privada. Sendo uma empresa privada a preocupação do operador se refletirá na taxa de remuneração dos serviços, em geral fixada na própria legislação de regulamentação, que deverá ser atraente para compensar os riscos do investimento. Por outro lado, sendo uma empresa pública (ou de economia mista) a preocupação do operador não necessariamente estará vinculada ao conceito do máximo lucro empresarial, mas sim à redução dos deficit's operacionais[14].

- Fatores operacionais e administrativos, influenciados pela estrutura espacial do sistema como um todo, na convivência de modais na concorrência pela prestação dos serviços de transporte. Manutenção de equipes operacionais, de manutenção e administrativas de acordo com as oscilações da demanda de usuários[15], implicando em jornadas de trabalho intermitentes, acarretando custos operacional e no próprio desempenho do operador (horário corrido e/ou excesso de horas trabalhadas).

Aspectos Relevantes ao Poder Público

A produção dos serviços públicos de transporte é de obrigação do poder público, e no caso das áreas urbanas, afetos ao poder municipal ou metropolitano (áreas conturbadas).

Como poder concedente, sujeito à legislação específica aprovada previamente pelo poder legislativo, o executivo tem como deveres inerentes[16]:

- O planejamento e programação dos serviços: Através da definição dos tipos de linhas, itinerários, frequências, transferências, integrações, horários, tipos de veículos etc.
- A delegação dos serviços: Através dos instrumentos legais próprios a respectiva regulamentação.
- A fiscalização: Avaliando o cumprimento por parte dos operadores das normas e



AEAMESP



procedimentos que regulam os serviços e da própria programação.

- A administração tarifária: Estabelecendo os níveis das tarifas, acompanhando o desempenho das linhas em termos de sua economicidade e avaliando os reflexos da variação dos valores dos insumos no custo final do transporte.
- A comunicação social: Através da operacionalização de um processo de participação da comunidade nas decisões, de detecção de suas necessidades e de informação a respeito dos serviços prestados.
- O estabelecimento de um sistema de informações gerenciais: Através da preparação e manutenção de cadastros e de coleta e disseminação de informações que possibilitem um adequado gerenciamento do sistema.

Em termos de planejamento e programação dos serviços, o poder público encontra-se constantemente contracenando com os outros dois elementos intervenientes, acabando por assumir uma função básica de árbitro e juiz para os conflitos naturais entre operadores e usuários, procurando encontrar o ponto de equilíbrio entre os diferentes interesses.

Método de Agregação dos Fatores de Relevância

Considerando o exposto sobre sistemas integrados de transportes públicos, é necessário avaliar criteriosamente os fatores relevantes, agregando-os sob um índice numérico matematicamente coerente e robusto, levando em consideração o atendimento à política urbanística planejada e a conciliação da análise dos elementos técnicos, físicos operacionais do sistema de transporte público coletivo, bem como a viabilidade social e econômica, em cada um dos modais da rede.

A partir dos referenciais de fatores de relevância na modelagem da realidade dos



AEAMESP



transportes, obtidos através de revisão literária de especialistas e pesquisadores que realizaram estudos em diversas cidades, considerando os respectivos contextos temporais e geográficos de cada localidade, é possível identificar aspectos convergentes para a concepção de um cálculo representativo do valor (ICS – Índice de Custo Social) de uma aresta em um grafo da malha de um sistema integrado de transportes a partir de características particulares do quarteto: demanda de usuários, modal de transporte, políticas públicas e orçamento disponível[17].

Os índices são ferramentas que agregam fatores através de métodos aritméticos ou regras de decisão, permitindo simplificar parâmetros complexos. Neste sentido, para a construção do Índice de Custo Social, foi calculado a proporção de capacidades entres os modais, como um fator escolhido por ser característica particular e diferenciadora de cada modal e por possuir um tema que relaciona demanda de usuários, a operação dos transportes, a manutenção, bem como todos os fatores acima elencados.

Assim, quanto mais próximo de 1 o ICS, mais adequado está o modal para a ligação entre os pontos. Para evitar que os valores menores que 1 fossem utilizados, foram calculados a inversão destes, pois eles representam que a demanda é superior a capacidade do modal gerando ao usuário diversos transtornos com a lotação deste.

Modal	Demanda			
	80	160	795	1788
Capacidade Alta	22,35	11,175	2,2490566	1
Capacidade Média Alta	9,9375	4,96875	1	2,2490566
Capacidade Média	2	1	4,96875	11,175
Capacidade Baixa	1	2	9,9375	22,35

Tabela 1 –Análise proporcional das capacidades dos modais de transporte no cálculo do ICS.

Para melhor entendimento da tabela foi elaborado um gráfico ICS *versus* Demanda. As linhas do gráfico mostram a evolução do ICS de acordo com o aumento da demanda. É visto no gráfico que os valores de ICS para o modal de alta capacidade são inferiores aos demais após uma demanda de aproximadamente 1290 usuários. É extraído do que cada modal possui uma demanda específica e a sua substituição por outro modal pode representar gastos abusivos de verbas públicas em uma ligação com baixa necessidade ou realizar um transporte em condições precárias para os usuários.

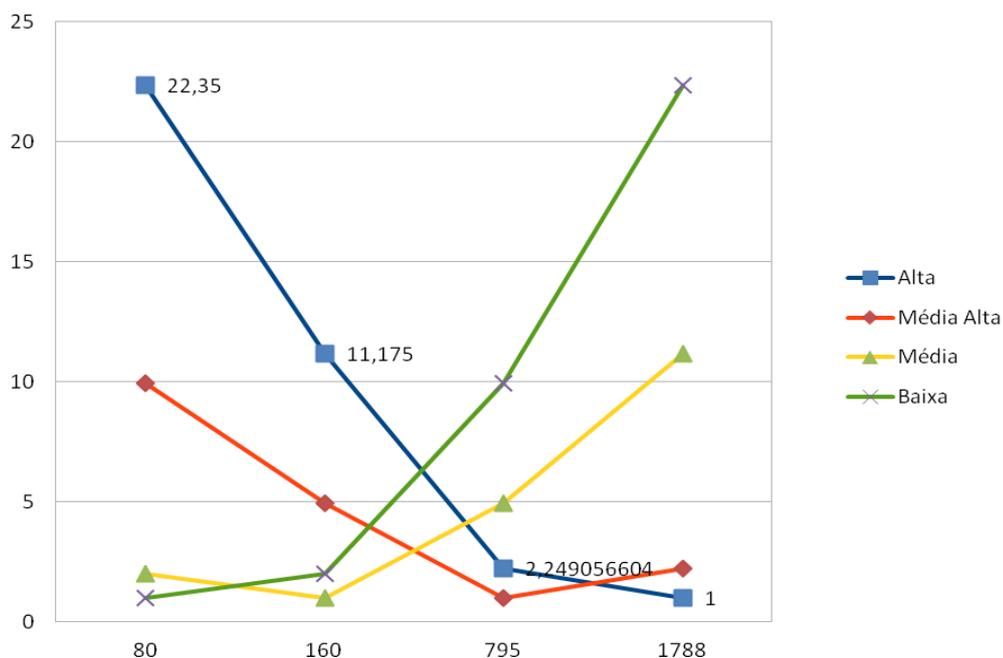


Figura 7 – Curvas analíticas de ICS VS Demanda por modal de transporte.

Tem-se assim representada numericamente, a valoração de cada aresta numa modelagem em grafos, para que se possa analisar automaticamente as malhas viárias através do auxílio do software desenvolvido, como apresentado na seção seguinte.

Resultados

Tomou-se a malha viária apresentada na Figura 4, modelada num grafo não direcionado ponderado, e, dados os pesos contidos em cada uma de suas arestas, aplicou-se o algoritmo implementado em software para a análise das possíveis otimizações na rede original.

Então, para os fins do presente trabalho, o software analisou as possíveis ligações entre pontos da rede assumindo uma restrição orçamentária a iniciativa, afinal, dentro da escolha e implantação de qualquer projeto há restrições (por vezes severas) de orçamento disponível, representado por uma ligação genérica de aresta com valor nominal 4.

O software computou estas possíveis ligações, analisando o comportamento do Índice de Mobilidade Urbana Global da rede, no intuito de se conseguir a melhor ligação possível que impacte positivamente a mobilidade da malha como um todo. Os resultados da simulação de cenários se encontram no Anexo B.

Como mostra a figura 8, contendo os Índices de Mobilidade Urbana Globais para cada um dos cenários simulados, a melhor ligação com custo de aresta 4 que se pode traçar é a do cenário #6, ligando os pontos A a J, resultando num IMU Global de 694, como mostra a Figura 9, contendo a malha resultante.

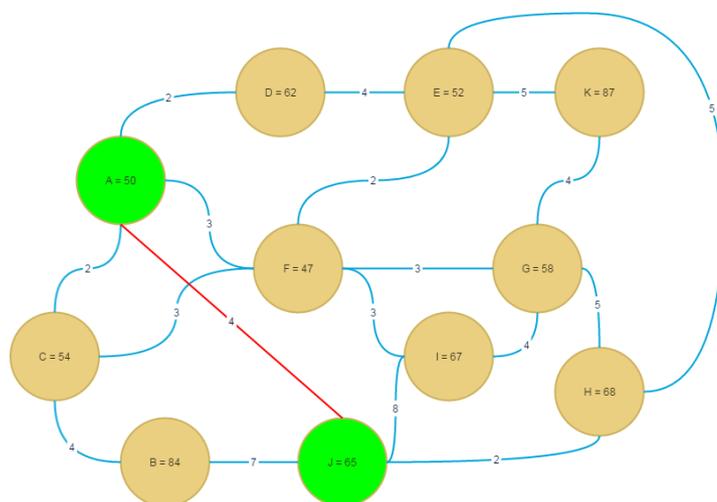


Figura 9 – Malha resultante de otimização na rede.

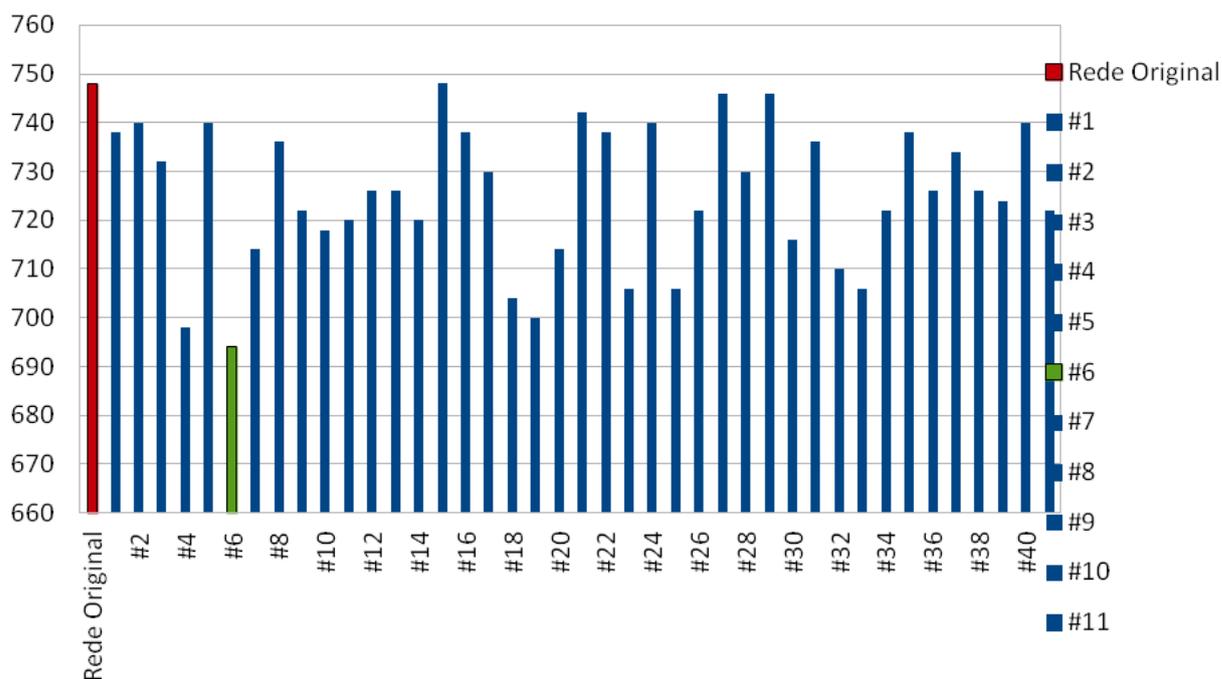


Figura 8 – IMUs Globais para cada cenário simulado.

A redução do IMU Global implica no aumento da capacidade de deslocamento de um usuário da malha de transportes públicos, indica que este se encontra melhor conectado à rede, tornando mais acessíveis (menos custosos) os deslocamentos entre pontos pertinentes à malha integrada. Significa ainda, que com o limite orçamentário imposto, certamente a busca pelo aumento Global do IMU da rede é a decisão mais acertada em longo prazo, considerando todos os aspectos mencionados ao se calcular os valores das arestas que foram previamente assumidos neste estudo.

A integração dos transportes numa área urbana consiste na adequação das diferentes modalidades às funções de transporte e aos tipos de serviço que prestam à população, de forma a obter o máximo rendimento econômico operacional de cada uma delas. Através das

simulações via software, foram identificados os pontos H e J, como potenciais integradores para novos projetos de ligação da malha viária, analisando as simulações de cenários de possíveis ligações, percebe-se que estas ligações permitem a maximização pontual do escoamento de demanda no maior número de pontos, como mostra a Figura 10.

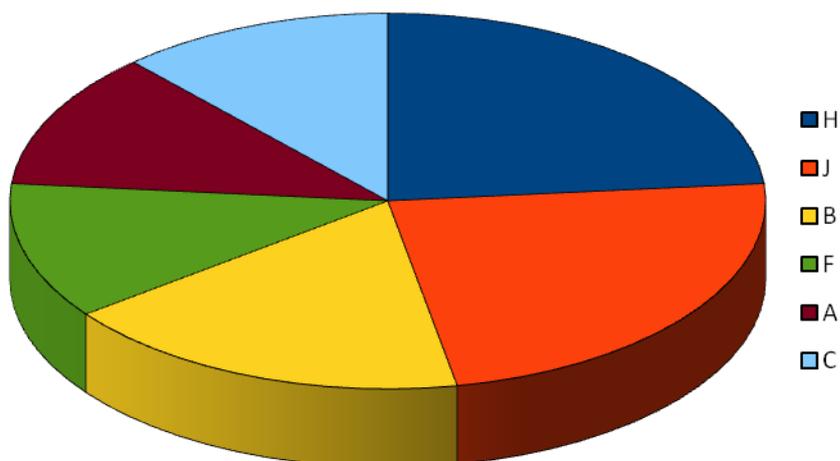


Figura 10 – Maiores reduções de IMU através de novas ligações co os pontos em questão.

Pode-se observar, portanto, que a integração dos modais que proveem um baixo ICS, sobretudo os de alta capacidade de passageiros, com os outros modais de superfície de transporte urbano é uma medida que se impõe. Nesse sentido, a implantação de linhas alimentadoras e distribuidoras é uma natural decorrência é compreensível que seja dada uma função prioritária ao sistema integrado de transportes, com os demais modos de superfície a ele se subordinando.

Conclusões

As questões de mobilidade afetam, sobremaneira, o funcionamento das cidades, ao incidirem de forma negativa sobre o desempenho das atividades econômicas e ao



AEAMESP



comprometerem a qualidade da vida urbana.

Na busca da melhoria desta cotidiana problemática, o presente trabalho propôs uma metodologia robusta de agregação de fatores relevantes ao planejamento dos transportes sob um índice conjunto, gerando assim, os pesos ponderados das arestas em uma modelagem em grafo de uma malha integrada de transportes públicos, permitindo a projeção e identificação de potenciais interligações para escoamento do fluxo de usuários, agregando valor à mobilidade e ao planejamento urbano, gerando uma ferramenta capaz de contribuir efetivamente com a otimização das conexões de uma dada rede viária, para a satisfação e elevação da qualidade na prestação do serviço de transporte público.



AEAMESP



Referências

- [1] Biggs, N.; Lloyd, E. and Wilson, R. (1986), Graph Theory, 1736-1936, Oxford University Press
- [2] DIJKSTRA, Edsger; Thomas J. Misa, Editor. (2010-08). "An Interview with Edsger W. Dijkstra". *Communications of the ACM* **53** (8): 41–47. [DOI:10.1145/1787234.1787249](https://doi.org/10.1145/1787234.1787249).
- [3] Lyndsey Layton, "Study Lists Mass Transit Benefits", The Washington Post, 17 July 2002.
- [4] MT (2010) Banco de Informações. Ministério dos Transportes. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/Bit/pg-inicial.htm>. Acessado em 24 de dezembro de 2010.
- [5] NTU (2010). Anuário 2009-2010. Associação Nacional dos Transportes Urbanos. Brasília, DF. PNLT (2005) Relatório Executivo do Plano Nacional de Logística de Transportes – 2005.
- [6] Ministério dos Transportes, Brasília, DF. Ribeiro, S. K. ; D'Agosto, M. de A. (2004).
- [7] Assessment of Hybrid-drive Bus Fuel Savings for Brazilian Urban Transit. Transportation Planning and Technology, 27, 6, 483-509. Sampaio, M. R.;
- [8] Adler, H. A. (1978) Avaliação econômica dos projetos de transporte. LTC, Rio de Janeiro.
- [9] Ben-Akiva, M.E.; Lerman, S.R. (1985) Discrete choice analysis: theory and application to travel demand. Cambridge, MIT.
- [10] Bruton, M. (1979) Introdução ao Planejamento dos transportes. Interciência, Rio de Janeiro.
- [11] De Neufville, R. e Stafford, J.H. (1971) System analysis for engineers and planners. McGrawHill, Nova Iorque, EUA.
- [12] Ferraz, A. C. P. e Torres, I. G. E. (2001) Transporte Público Urbano, ISBN 85-86552-88-7.
- [13] Gray, G. e Hoel, L. A. (1992) Public transportation. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, EUA.
- [14] Hanson. S. (ed.) (1995) The geography of urban transportation. New York, Guilford.
- [15] Hensher, D.A; Rose, J.M.; Greene, W.H. (2005) Applied choice analysis: a primer. New York, Cambridge.
- [16] Hutchinson, B.G. (1978) Princípios de planejamento dos sistemas de transporte urbano. Guanabara Dois, Rio de Janeiro.
- [17] Manheim, M.L. (1979) Fundamentals of transportation systems analysis - Basic concepts. MIT, Cambridge, MA, EUA.



AEAMESP



Anexo A – Implementação em Software do Algoritmo de Dijkstra

```
from sys import *

def dijkstra(graph,src,dest,visited=[],distances={},predecessors={}):

if src not in graph:
    raise TypeError('the root of the shortest path tree cannot be found in the graph')
if dest not in graph:
    raise TypeError('the target of the shortest path cannot be found in the graph')

if src == dest:
    # We build the shortest path and display it
    path=[]
    pred=dest
    while pred != None:
        path.append(pred)
        pred=predecessors.get(pred,None)
else :
    if not visited:
        distances[src]=0
    for neighbor in graph[src] :
        if neighbor not in visited:
            new_distance = distances[src] + graph[src][neighbor]
            if new_distance < distances.get(neighbor,float('inf')):
                distances[neighbor] = new_distance
                predecessors[neighbor] = src

    visited.append(src)
    unvisited={}
    for k in graph:
        if k not in visited:
            unvisited[k] = distances.get(k,float('inf'))
    x=min(unvisited, key=unvisited.get)
    dijkstra(graph,x,dest,visited,distances,predecessors)

a = distances[dest]
visited=[]
distances={}
predecessors={}
return a
```

Anexo B – Otimização das Conexões da Rede de Transportes Público via Software

Rede Original	#1 – A → B	#2 – A → E	#3 – A → G	#4 – A → H	#5 – A → I
IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 87	IMU do ponto a: 59 IMU do ponto b: 80 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 66 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 84 IMU do ponto k: 87	IMU do ponto a: 58 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 51 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 74 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 84 IMU do ponto k: 86	IMU do ponto a: 56 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 66 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 54 IMU do ponto h: 74 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 84 IMU do ponto k: 85	IMU do ponto a: 50 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 54 IMU do ponto d: 62 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 62 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 73 IMU do ponto k: 87	IMU do ponto a: 60 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 66 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 63 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 87
IMU Total: 748	IMU Total: 738	IMU Total: 740	IMU Total: 732	IMU Total: 698	IMU Total: 740
#6 – A → J	#7 – A → K	#8 – B → D	#9 – B → E	#10 – B → F	#11 – B → G
IMU do ponto a: 50 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 54 IMU do ponto d: 62 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 47 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 68 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 65 IMU do ponto k: 87	IMU do ponto a: 56 IMU do ponto b: 80 IMU do ponto c: 57 IMU do ponto d: 65 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 70	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 78 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 64 IMU do ponto e: 51 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 86	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 71 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 47 IMU do ponto f: 48 IMU do ponto g: 57 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 66 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 82	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 69 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 49 IMU do ponto f: 46 IMU do ponto g: 55 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 64 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 84	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 70 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 52 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 65 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 81
IMU Total: 694	IMU Total: 714	IMU Total: 736	IMU Total: 722	IMU Total: 718	IMU Total: 720
#12 – B → H	#13 – B → J	#14 – B → K	#15 – C → D	#16 – C → E	#17 – C → G
IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 76 IMU do ponto c: 58 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 57 IMU do ponto h: 68 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 83 IMU do ponto k: 86	IMU do ponto a: 60 IMU do ponto b: 78 IMU do ponto c: 58 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 72 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 77 IMU do ponto k: 87	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 72 IMU do ponto c: 59 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 56 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 75	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 87	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 82 IMU do ponto c: 58 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 50 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 74 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 85	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 80 IMU do ponto c: 56 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 54 IMU do ponto h: 74 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 83
IMU Total: 726	IMU Total: 726	IMU Total: 720	IMU Total: 748	IMU Total: 738	IMU Total: 730
#18 – C → H	#19 – C → J	#20 – C → K	#21 – D → F	#22 – D → G	#23 – D → H
IMU do ponto a: 54 IMU do ponto b: 83 IMU do ponto c: 50 IMU do ponto d: 66 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 63 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 75 IMU do ponto k: 87	IMU do ponto a: 54 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 50 IMU do ponto d: 65 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 47 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 69 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 67 IMU do ponto k: 87	IMU do ponto a: 58 IMU do ponto b: 78 IMU do ponto c: 55 IMU do ponto d: 67 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 70	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 65 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 48 IMU do ponto g: 57 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 66 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 87	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 63 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 54 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 86	IMU do ponto a: 54 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 58 IMU do ponto d: 58 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 64 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 75 IMU do ponto k: 87
IMU Total: 704	IMU Total: 700	IMU Total: 714	IMU Total: 742	IMU Total: 738	IMU Total: 706
#24 – D → I	#25 – D → J	#26 – D → K	#27 – E → G	#28 – E → H	#29 – E → I
IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 64 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 63	IMU do ponto a: 54 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 58 IMU do ponto d: 58 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 70 IMU do ponto i: 67	IMU do ponto a: 58 IMU do ponto b: 82 IMU do ponto c: 59 IMU do ponto d: 63 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 51 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 57 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67	IMU do ponto a: 60 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 60 IMU do ponto d: 66 IMU do ponto e: 50 IMU do ponto f: 47 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 70 IMU do ponto i: 67	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 51 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 66



AEAMESP

21ª Semana de
Tecnologia
Metroferroviária
2015

IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 87 IMU Total: 740	IMU do ponto j: 69 IMU do ponto k: 87 IMU Total: 706	IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 74 IMU Total: 722	IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 87 IMU Total: 746	IMU do ponto j: 81 IMU do ponto k: 87 IMU Total: 730	IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 87 IMU Total: 746
#30 – E → J	#31 – E → K	#32 – F → H	#33 – F → J	#34 – F → K	#35 – G → H
IMU do ponto a: 59 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 59 IMU do ponto d: 65 IMU do ponto e: 49 IMU do ponto f: 46 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 69 IMU do ponto k: 85 IMU Total: 716	IMU do ponto a: 61 IMU do ponto b: 83 IMU do ponto c: 60 IMU do ponto d: 67 IMU do ponto e: 51 IMU do ponto f: 48 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 81 IMU Total: 736	IMU do ponto a: 56 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 56 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 43 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 64 IMU do ponto i: 65 IMU do ponto j: 77 IMU do ponto k: 87 IMU Total: 710	IMU do ponto a: 56 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 56 IMU do ponto d: 66 IMU do ponto e: 51 IMU do ponto f: 43 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 72 IMU do ponto i: 66 IMU do ponto j: 67 IMU do ponto k: 87 IMU Total: 706	IMU do ponto a: 59 IMU do ponto b: 81 IMU do ponto c: 58 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 46 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 66 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 74 IMU Total: 722	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 59 IMU do ponto f: 42 IMU do ponto g: 56 IMU do ponto h: 72 IMU do ponto i: 66 IMU do ponto j: 83 IMU do ponto k: 85 IMU Total: 738
#36 – G → J	#37 – H → I	#38 – H → K	#39 – I → J	#40 – I → K	#41 – J → K
IMU do ponto a: 60 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 60 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 47 IMU do ponto g: 55 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 74 IMU do ponto k: 84 IMU Total: 726	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 70 IMU do ponto i: 60 IMU do ponto j: 83 IMU do ponto k: 87 IMU Total: 734	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 83 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 70 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 80 IMU do ponto k: 76 IMU Total: 726	IMU do ponto a: 60 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 60 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 47 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 72 IMU do ponto i: 60 IMU do ponto j: 76 IMU do ponto k: 87 IMU Total: 724	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 84 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 75 IMU do ponto i: 63 IMU do ponto j: 85 IMU do ponto k: 83 IMU Total: 740	IMU do ponto a: 62 IMU do ponto b: 81 IMU do ponto c: 61 IMU do ponto d: 68 IMU do ponto e: 52 IMU do ponto f: 49 IMU do ponto g: 58 IMU do ponto h: 72 IMU do ponto i: 67 IMU do ponto j: 78 IMU do ponto k: 74 IMU Total: 722