

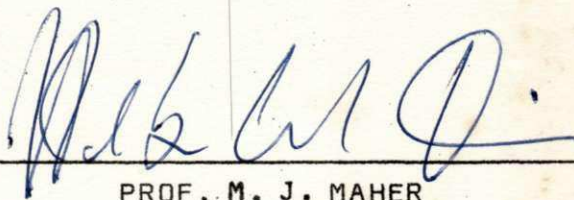
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Eng^o. Civil - SOHEIL RAHNEMAY RABBANI

"MODELOS MATEMÁTICOS PARA OTIMIZAÇÃO
DO SERVIÇO DE ÔNIBUS URBANO"

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

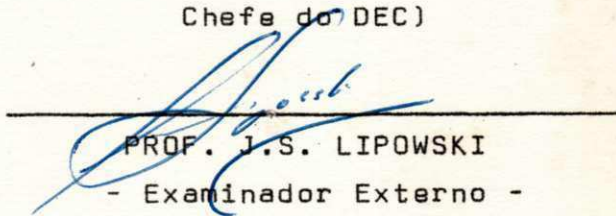
COMISSÃO EXAMINADORA:



PROF. M. J. MAHER

- Presidente -

(Representado por
PROF. H. C. FERREIRA,
Chefe do DEC)



PROF. J. S. LIPOWSKI

- Examinador Externo -



PROF. J. G. CABRERA

- Examinador Interno -

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA-BRASIL

NOVEMBRO - 1975



R113m Rabbani, Soheil Rahnemay.
Modelos matemáticos para otimização do serviço de ônibus urbano / Soheil Rahnemay Rabbani. - Campina Grande, 1975. 122 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1975. "Orientação : Prof. Michael John Maher".
Referências.

1. Ônibus - Serviço. 2. Modelos Matemáticos. 3. Serviço de Ônibus Urbano - Otimização. 4. Dissertação - Ciências. I. Maher, Michael John. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 656.132:51-7(043)

À memória de minha avó Abibí,
ao professor Mamoru Haruna e
aos meus colegas do GPPETT

AGRADECIMENTOS

Ao seu Orientador Michael John Maher, Professor do Departamento de Probabilidade e Estatística da Universidade de Sheffield, Inglaterra, pela assistência dada durante a execução deste trabalho, sem a qual, não seria possível sua conclusão.

Ao Professor Joe German Cabrera, Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Leeds, Inglaterra, pelo incentivo transmitido e ajuda para concretizar esta pesquisa.

Ao Diretor do Centro de Ciências e Tecnologia, Professor José Silvino Sobrinho, ao Professor Heber Carlos Ferreira, Chefe do Departamento de Engenharia Civil e ao Professor Roberto Magno Meira Eraga, Diretor Executivo da ATECEL, pelo apoio empregado à publicação deste trabalho.

A Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) pelo suporte financeiro prestado.

A Senhora Leônia Leão da Nóbrega, por sua ajuda na preparação desta dissertação.

MODELOS MATEMÁTICOS PARA OTIMIZAÇÃO
DO SERVIÇO DE ÔNIBUS URBANO

Dissertação de Mestrado

por

Soheil Rahnemay Rabbani

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de alguns modelos matemáticos para a otimização de um serviço urbano do ônibus. Os custos indiretos a curto prazo representados por tempo total de viagem (tempos de caminhada, de espera e de deslocamento) dos passageiros que usam o sistema de transporte público, é considerado e usa-se este como medida da eficiência do sistema. O problema é, então, a otimização da operação do sistema dentro da restrição do nível fixo de investimento de capital.

As variáveis no problema incluem o número de ônibus em cada linha, as posições de paradas e as próprias linhas.

Após o desenvolvimento de alguns modelos teóricos, o caso prático da operação do sistema de ônibus de Campina Grande, Paraíba, é considerado e algumas sugestões para melhorar o sistema são oferecidas.

MATHEMATICAL MODELS FOR THE OPTIMISATION
OF AN URBAN BUS SERVICE

M.Sc. Dissertation

by

Soheil Rahnemay Rabbani

ABSTRACT

This dissertation describes the development of some mathematical models for the optimisation of an urban bus service. The short-term indirect cost represented by the total travel time (walking, waiting and journey times) of passengers using the public transportation systems is considered and used as a measure of the efficiency of the system. The problem, then, is the optimisation of the operation of the system, within the constraints of a fixed level of capital investment.

The variables in the problem include the number of buses on each route, the position of bus stops on each route and the routes themselves.

After development of some theoretical models, the practical case of the operation of the bus system in Campina Grande is considered, and some suggestions to improve the system are offered.

ÍNDICE

		Página
	DEDICATÓRIA	II
	AGRADECIMENTOS	III
	RESUMO	IV
	ÍNDICE	VI
	LISTA DE SIMBOLOS	IX
CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
II.1	Introdução	3
II.2	Modelos Selecionados para a Solução Parcial de um Sistema de Transporte	4
CAPÍTULO III	OBJETIVO DA PESQUISA	8
CAPÍTULO IV	COLETA E ARMAZENAMENTO DOS DADOS	10
CAPÍTULO V	MODELOS MATEMÁTICOS	20
V.1	Introdução	20
V.2	Considerações Gerais e Variáveis	20
V.3	Programas do Computador	22
V.4	Os modelos Matemáticos	23
V.4.1	"Cidade Circular" com todas as via <u>gens</u> do/ou para o centro da cidade	23
V.4.1a	Concentração de população na circun <u>ferência</u>	24
V.4.1b	Distribuição uniforme da população na cidade	27
V.4.2	Modelo de linha e parada fixas	30
V.4.2a	"Otimização do tempo total de via <u>gens</u>	

VII

	gem"	30
V.4.b2	"Igualdade de Congestionamento"	40
V.4.2c	Comparação dos modelos de "Otimiza ção do Tempo Total de Viagem (TTT) e Igualdade do Congestionamento"	42
V.4.3	Modelo de Linha Fixa e Parada de Ônibus Variável	48
V.4.4	Modelo de Mudança de Linha	56
V.5	Sumário	56
CAPÍTULO VI	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	60
VI.1	Introdução	60
VI.2	Exemplo de Saída do Programa 1.a	61
VI.3	Aplicação do Modelo de "Otimização do Tempo Total de Viagem"	64
VI.4	Aplicação do Modelo de "Igualdade de Congestionamento"	70
VI.5	Resultados do Programa 3	76
CAPÍTULO VII	CONCLUSÕES	85
CAPÍTULO VIII	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	87
CAPÍTULO IX	BIBLIOGRAFIA	89
APÊNDICE		
A	Nome das Linhas e Número Correspon dentes Consideradas na Pesquisa	88
B	Exemplo de Codificação e Armaze namento de Dados Tipo (0)	90
C	Exemplo de Codificação e Armazena mento de Dados Tipo (1)	92

VIII

D	Programa Fortran 1.a Desenvolvido para calcular média de passageiros dentro do ônibus	94
E	Programa Fortran 1.b Desenvolvido para calcular o tempo médio que um ônibus leva para fazer o percurso total de uma viagem	97
G	Programa Fortran 2 Desenvolvido para procurar a distribuição o <u>óti</u> ma de ônibus nas linhas depende o <u>mínimo</u> tempo total de viagem	99
H	Programa Fortran 3 Desenvolvido para dado tempo um, referente ao movimento de passageiros de <u>coleti</u> vos	102
I	Resultados do Programa 2. <u>Distri</u> buição ótima do número de ônibus por linha com respeito o <u>mínimo</u> TTT	110
J	Cálculo detalhado dos valores <u>quan</u> titativos para a comparação dos modelos de "Otimização do Tempo <u>To</u> tal da Viagem" e "Igualdade de <u>Con</u> gestionamento no Ônibus".	117

LISTA DE SIMBOLOS

ATT	média do tempo de viagem
AVE	média de passageiros nos ônibus
b_r	tempo total de espera na linha r no período particular ($T_r t_r$)
d	tempo de demora de ônibus em uma parada
d_i	distância entre duas paradas consecutivas
K	coeficiente da proporcionalidade de tempo de espera e intervalo de chegada (headway)
K_r	número de viagens por pessoas por um ônibus da linha
L	extensão da linha
M_r	produto da média dos passageiros nos ônibus pelo número de ônibus em linha
N	número de ônibus no sistema
N_r	número de ônibus em cada linha
n	número de paradas na linha
n_{opt}	ótimo número de parada na linha
P	número de linha radial na cidade circular
P_{opt}	ótimo número de linha radial na cidade circular
R	raio da cidade
T	média de tempo de deslocamento quando $n = 0$
T_{ij}	número de passageiros por viagem da parada i a parada j
T_r	número de "viagens por pessoa" pela linha r no período particular
TTT	tempo total de viagem (total travel time)
t_r	tempo médio de um ciclo da linha r
TWO	distância total de caminhada
V	velocidade média de ônibus
v	velocidade média de caminhada
W	tempo de caminhada (walking time)
X	tempo de espera (waiting time)
Y	tempo de deslocamento (journey time)
ρ	densidade de população por área unitária

C A P Í T U L O I

INTRODUÇÃO

Transporte é um fator essencial na vida atual. Dificilmente alguém pode dizer que vive independente de transporte; a dependência ao sistema de transporte é aumentada continuamente, especialmente nas áreas urbanas.

Muitas pessoas são forçadas pela natureza do seu trabalho e seu modo de vida, a morar em áreas densamente povoadas e a trabalhar em centros comerciais. Diariamente essas pessoas efetuam viagens para ir e voltar do trabalho.

A maioria dessas pessoas não têm carro próprio e, aquelas que o possuem, preferem não dirigir durante as horas de maior movimento, devido ao congestionamento de tráfego. Preparar e melhorar o transporte público não é somente necessário para atender a esta demanda, como também, uma solução desejável para o problema de tráfego nas grandes áreas metropolitanas.

O modo de como o investimento seria empregado no transporte não pode ser estabelecido, pelos menos a princípio, sem considerar a relação do transporte com outras atividades econômicas. O investimento em transporte pode afetar o lugar e, também, o andamento do desenvolvimento econômico de uma região.

Os custos e benefícios a serem considerados, sob o ponto de vista econômico de um sistema de transporte, envolvem tres categorias: o custo monetário direto, como custo de capital, e o custo de operação (por exemplo, depreciações materiais, combustíveis honorários); os custos (ou benefícios) indiretos a curto prazo associados aos tempos de caminhada de espera e de deslocamento do passageiro; e, finalmente, os custos (ou benefícios) a longo prazo, resultantes do impacto do sistema de transporte, como alteração dos serviços prestados do sistema, alteração do número de usuários e

influência na atividade econômica.

No presente estudo, concentramos nossa atenção na segunda categoria de custos associados com o tempo total de viagem dos passageiros que usam o sistema de transporte público, e usamos isto como medida da eficiência do sistema. O problema é, então, de otimização da operação do sistema, dentro da restrição do nível fixo de investimento de capital e, ignorando os efeitos a longo-prazo, mencionadas acima.

As variáveis no problema, incluem o número de ônibus em cada linha, as posições de paradas e, as próprias linhas. Após alguns desenvolvimentos de modelos teóricos, o caso prático da operação do sistema de ônibus de Campina Grande, Paraíba, é considerado.

A tese começa, no capítulo 2, com uma revisão de trabalhos anteriores que fazem a análise e a otimização de transporte público. As conclusões desses, combinadas com as circunstâncias em Campina Grande, são apresentadas no capítulo 3 para definir o escopo deste trabalho mais particularmente. O capítulo 4 descreve o processo de colecionamento de dados, a codificação e perfuração de dados. No capítulo 5, alguns modelos matemáticos são desenvolvidos em ordem, para formar uma estrutura analítica de operação, e otimização de sistema de transporte público. Esses modelos são aplicados sobre os dados coletados em Campina Grande, e os resultados são descritos no capítulo 6. A conclusão do trabalho e sugestões para pesquisas futuras são apresentados nos capítulos 7 e 8 respectivamente. Algumas informações auxiliares sobre o processamento dos dados e os programas principais são encontrados no Apêndice.

C A P Í T U L O I I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1. Introdução

Transporte público é, somente, uma parte de todo o sistema de transporte, mesmo em pequenas áreas urbanas. Os aviões, trens, ônibus, táxis, automóveis, e todos os outros possíveis meios de transportes na área, devem ser considerados como parte do sistema total de transporte. A Coordenação eficiente de todos os elementos deste sistema, seria o último fator a ser considerado pelos responsáveis pelo planejamento dos transportes.

Uma técnica completa de otimização para projetos de sistemas de transportes é impossível de ser encontrada. A primeira dificuldade para o desenvolvimento de cada programa é o número de parâmetros a serem considerados. Esses incluem vias de tráfego, frequência de serviço, velocidade e despesas.

Para um longo período, a arte de projetar serviços de transportes, normalmente consiste do processo de erro e tentativa para diferentes projetos do sistema, seguidos pelo teste do mesmo. O processo começa pela obtenção de informações sobre o uso da terra, condições sócio-econômicas e características de modelo de tráfego da área. De posse dessas informações, o planejador inicia o projeto completo do sistema de transporte com vias de tráfego, frequência de serviço, velocidade e ponto de transferência. Os números de alternativas são, usualmente, diminuídas por meio das decisões de caráter político e conceitos baseados em experiências anteriores. Os resultados dos projetos são usualmente testados pela estimativa do número de usuários de transportes que poderá atrair e pela avaliação destes em termos de capital estimado e custos

de operação. Em estudos mais sofisticados, testes adicionais devem ser feitos para medir a acessibilidade para um certo grupo de pessoas, particularmente pessoas pobres.

Um dos problemas com o enfoque deste método é o tempo e os gastos envolvidos. Se os projetos mostram-se inadequados durante a fase de teste, não existe outros recursos, que o de voltar à fase de planejamento, como um processo cíclico, com limitadas alternativas, o que logicamente dificulta a aproximação para um sistema ótimo.

Um segundo problema é a falta de conhecimento no começo de projeto, da quantidade e natureza dos possíveis usos dos transportes nos vários setores da área em estudo. Se existe uma média específica disponível além daquela proveniente da intuição do planejador, este é, geralmente, o produto de um estudo anterior e seu trabalho será influenciado por aquele estudo.

O processo para um sistema de transporte como o descrito acima, consiste de um ciclo muito custoso, onde os projetos possuem várias alternativas, e, então, são testados. Por essa razão, recentemente os esforços estão mais voltados para as soluções parciais. Alguns destes esforços são revisados a seguir.

II.2 - Modelos Seleccionados para a Solução Parcial de um Sistema de Transporte

PRATT e SCHULTS (1) tentam descrever um projeto de solução parcial, sendo que o elemento chave deste projeto é a estimativa do uso do transporte antes do projeto do sistema. Esta estimativa, e medidas que podem ser derivadas a partir dela, oferecem uma base para seleccionar a área de serviço, caminhos percorridos, frequência de serviço e gastos. A técnica empregada aconselha a projetar um modelo de viagens estimadas para testar o serviço de transporte gerado contra as características dadas da área em estudo.

REA (2) apresenta um modelo que é uma maneira para planejar redes de transportes públicos que incluem todo o potencial de veículos e rede viária existente. As entra

das do modelo são a rede viária, especificação de serviço e demanda de tráfego.

A rede viária é uma combinação de todas as possíveis e aceitáveis rotas alinhadas e os nós na área em estudo. Os nós nessa rede representam pontos de embarque e desembarque e pontos de transferência.

A especificação do serviço, descreve o tipo e características de serviço do sistema de redes propostos, e define como devem ser usadas. Esta entrada define qual a combinação de rede e de serviço de frequência que deve ser usado para um dado nível de fluxo, através de uma linha. O limite da viabilidade de serviço de especificação pode ser baseado em custo operacional ou custo total.

A terceira entrada ao modelo é a demanda de transporte, e, descreve, o tamanho e a orientação da demanda que o sistema deve acomodar.

O mecanismo do modelo é um procedimento interativo. As etapas são as seguintes:

- 1) Atribui para todas as linhas na rede de viária o mais alto nível de serviço.
- 2) Determina o menor tempo de percurso, através da rede viária entre todas as origens e destinos.
- 3) Alimenta cada demanda de origem-destino pelo caminho mínimo viável.
- 4) Controla o nível de serviço em cada linha alimentada por correspondências na especificação de serviço.
- 5) Caso todas as linhas satisfaçam o serviço da especificação, termina-se o processo. Se não satisfaz, retorna-se para a etapa 2.

Um programa de computador foi desenvolvido por Wren (3) para minimizar o número de veículos e quilometra

gem corridas dos veículos vazios. O programa, primeiramente forma uma solução por tentativa com um número particular de veículos que devem ser especificados pelo usuário ou pelo computador, com o número máximo de viagens em operação simultânea.

A solução obtida nesta etapa conteria, normalmente, um número de conexões impossíveis. Estas seriam situações onde um tempo insuficiente é dado para uma conexão, ou onde exigisse de um ônibus o início de uma viagem antes de concluída a anterior. O computador, então, adiciona veículos, um ou mais em um tempo, obtendo soluções, nas quais o número de conexões impossíveis são progressivamente reduzidas, até que uma situação completamente válida seja obtida. A solução em cada etapa visa a minimizar as corridas vazias e o tempo fora da garagem.

Soddon e Day (4) fazem algumas observações do "intervalo da chegada" (headway) do ônibus em conjunto com a chegada de passageiros na parada de ônibus, a fim de encontrar uma função para a média do tempo de espera (AWT). Eles começaram com uma função comum:

$$AWT = \sum_{i=1}^n \left[\begin{array}{c} h_i \\ \frac{h_i}{2} \\ \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \end{array} \right]$$

Isso significa que a AWT durante o intervalo de estudo que é dado pelo somatório de 'n' chegada, é a probabilidade que o passageiro chegue durante o período h_i , multiplicado pelo valor admitido da espera, $h_i/2$, durante aquele período h_i . AWT seria a $h_i/2$, se os ônibus são regulares e chegam com um intervalo estabelecido h_i e os passageiros chegam aleatoriamente. AWT seria maior quanto mais desiguais fossem as chegadas, e, tanto menor, quanto os ônibus não são completamente regulares, mas se os passageiros têm algum conhecimento sobre o horário estabelecido.

Soddon e Day, chegaram aos seguintes resultados:

- 1) A consideração da chegada aleatória dos passageiros não seria válida, quando o serviço não fosse frequente.
- 2) Análise da chegada de passageiros mostra que isto acontece de maneira aleatória, até um valor médio de "intervalo da chegada" de aproximadamente 10 minutos.
- 3) Com a análise das alternativas da função AWT, sugeriram a seguinte forma de equação para AWT.

$$AWT = a_0 + a_1 \frac{\sum h_i^2}{\sum h_i} + a_2 \left[\frac{\sum h_i^2}{\sum h_i} \right]^2$$

$$\text{Onde: } a_0 = 11,391295$$

$$a_1 = 0,486813, e$$

$$a_2 = - 0,000090479.$$

C A P Í T U L O I I I

OBJETIVO DA PESQUISA

Como mencionado nos capítulos anteriores, devido ao excessivo número de parâmetros existentes em um sistema completo de transporte, não é fácil conseguir uma otimização completa da equação deste sistema. Devido a isso, o esforço desenvolvido até agora para este problema, teve soluções parciais e mais inclinadas ao ponto de vista dos administradores do que dos usuários. Algumas vezes, a otimização de um parâmetro no sistema, envolve o prejuízo de outras partes.

O objetivo desta pesquisa é otimizar o tempo total de viagem dos passageiros no sistema de transporte público (ônibus) de Campina Grande. Esta otimização inicia-se com alguns modelos matemáticos simples, objetivando mostrar o assunto e a natureza do processo de otimização.

Como outros estudos de transportes, este também foi feito com as características e o desempenho do sistema de ônibus em operação, linhas existentes e número de usuários.

Em Campina Grande, a condição do atual sistema de transportes coletivos (tendo 7 empresas distintas e um número limitado de ônibus, 51 no período da pesquisa) sofrem algumas restrições no processo de otimização. Para simplificar, considera-se um sistema único, a fim de conseguir uma solução ótima. A única restrição considerada então, foi o número de ônibus.

A otimização pode ser conseguida pelas alterações de:

- 1) número de ônibus em cada linha
- 2) posição das paradas em cada linha
- 3) das próprias linhas.

Nos modelos que são apresentados no capítulo 5, somente foram considerados os 2 primeiros itens. A alteração das rotas, requer um modelo mais complexo e fica disponível para futuras pesquisas nesta área.

C A P Í T U L O I V

COLETA E ARMAZENAMENTO DOS DADOS

O município de Campina Grande tem uma população de aproximadamente 200.000 habitantes e uma área de 970 km², com 50 km² na sede, dividida em doze zonas municipais (5). As formas de transportes público são: táxi, e o sistema de ônibus. O sistema de ônibus envolve 27 linhas que são operadas por 7 distintas Companhias. Cada linha tem 1 até 5 ônibus, que começam a operar de 5 h 30 min., e continuam até 23 h, em alguns casos.

A propósito de transporte, é possível considerar tres tipos de dias: (i) dias "normais" (segundas, terças e quintas feiras), (ii) dias de "feira" (quartas, sextas feiras e sábados), (iii) domingo. Os dias de maior movimento para o transporte público são os de feira, quando muitas pessoas vêm ao centro da cidade para fazer compras.

A fim de coletar dados sobre os deslocamentos feitos pelas pessoas no sistema de ônibus, foi feita uma amostragem de cada linha. As informações foram coletadas de um ônibus de cada linha continuamente por dois dias. Um dia normal e outro dia de feira. O dia é dividido em tres períodos, de 6 às 11 h, de 11 às 16 h e das 16 às 21 h. Consequentemente, o processo de amostragem continuava por 30 horas por cada linha.

Antes do início da pesquisa, contatos foram feitos com as companhias de transporte público, com a finalidade de se obter cooperação e, também, para conseguir informações básicas sobre: as rotas dos ônibus, tipo das rotas (circular ou terminal) número de ônibus em cada linha e número aproximado de passageiros por dia. Uma investigação preliminar foi realizada, para identificar e anotar a posição das paradas de ônibus em cada rota.

A coleta dos dados foi realizada por tres investigadores em cada Ônibus: um situado próximo da porta de entrada; o segundo próximo de condutor e o terceiro próximo da porta de saída. Cada passageiro recebia um cartão, dado pelo primeiro investigador, no qual era anotado o número da parada em que o passageiro havia subido no Ônibus. O segundo investigador perguntava ao passageiro sobre o propósito de sua jornada e, também, sua idade e marcava isso, atrás do cartão. Por conveniência, o propósito das viagens era codificado com o seguinte:

Estudo	1
Trabalho	2
Passeio	3
Compras	4
Visitas Sociais	5
Médico	6
Residência	7
Outros	8

Deve-se salientar que as idades, algumas vezes, foram estimadas e, daí, anotadas.

Os cartões de todos os passageiros eram coletados pelo terceiro investigador, conforme iam deixando o Ônibus. Todos os cartões coletados em cada parada eram colocados em um envelope e, anotado também o número da parada e a hora em que o passageiro havia descido. No final de cada jornada, todos os envelopes eram colocados juntos, e, postos em outro envelope, no qual eram anotadas as seguintes informações:

- (i) o nome da linha
- (ii) o número da linha (veja apêndice A)
- (iii) o tempo de espera na parada inicial
- (iv) o horário da saída da parada inicial
- (v) o horário da chegada na parada final
- (vi) o nome da companhia de Ônibus
- (vii) os nomes dos investigadores
- (viii) outras observações ou comentários sobre a jornada.

Essas informações foram divididas em duas partes: uma contendo detalhes sobre o número de passageiros e as características do ônibus (tipo 0) e a outra, contendo detalhes sobre as características dos passageiros (tipo 1). Os dados foram, então, codificados e perfurados nos cartões de computador.

Um cartão de computador tem 80 colunas, as quais podem ser usadas para o armazenamento dos dados. As informações das características dos ônibus foram codificadas e armazenadas como o seguinte:

Dados	Nº da coluna
Número do cartão	1,2
Tipo do dado (0 ou 1)	3
Número da linha (1 para 27)	4,5
Tipo da linha (circular = 0, terminal = 1)	6
Tipo do dia (normal = 0, feira = 1)	7
Número de ônibus na linha (1 para 5)	8
Número de viagens de todos os ônibus na linha	9,10,11
Hora da chegada de ônibus na parada inicial	12,13,14,15
Número da parada	16,17
Número da zona (1 a 12)	18,19
Horário da saída da parada	20,21,22,23
Número de passageiros que subiram	24,25
Número de passageiros que desceram	26,27

Os tipos de dados das colunas 16 a 27 foram repetidos nas colunas de 28 a 39, 40 a 51, 52 a 63 e 64 a 75, para outras paradas de ônibus. As colunas 76 a 78 foram reservadas por número do cartão para uma rota e dia particular. Um exemplo é mostrado na Figura IV.1.

O significado dos números de código, como apresentado na Figura IV.1 é como o seguinte:

- 00 - O primeiro cartão de uma viagem particular. (O número do cartão começa com 00)
- 0 - O dado era do tipo 0
- 06 - O número da rota era seis
- 1 - A linha era terminal

- 1 - O dia era do tipo 1 (quarta ou sexta feira)
- 1 - Havia um ônibus na rota
- 028 - A rota tinha 28 viagens por dia
- 1131 - O ônibus havia chegado à parada inicial às 11 h e 30 min.
- 00 - A parada inicial
- 01 - A parada inicial é na zona 01
- 1135 - O ônibus deixou a parada 00 às 11 h e 35 min.
- 02 - Dois passageiros subiram na parada 00
- 00 - Ninguém desembarcou na mesma parada
- 01 - A primeira parada
- 01 - A primeira parada é na zona 01
- As quatro colunas em branco, indicam que não existem informações sobre o horário nessa parada de ônibus.
- 30 - Trinta passageiros, subiram na parada de ônibus número 01
- 00 - Ninguém desembarcou, O mesmo acontecendo até a coluna 76
- 055 - Significa que o cartão é o quiquagésimo quinto da linha 06 e dia 1.

Os dados foram, assim, codificados e perfurados em 6.000 cartões aproximadamente, representado 30.000 paradas de ônibus, um exemplo é mostrado no Apêndice B.

Os dados sobre as características dos passageiros, foram codificados e armazenados de uma maneira similar:

Dados	Nº da coluna
Número de viagem	1,2
Tipo do dado (0 ou 1)	3
Número da linha (1 a 27)	4,5
Tipo da linha (circular = 0, terminal = 1)	6



0000611102811310001113502000101 30000201 0000030111450001040111500001055

01118002056120400011141904000121520040001216200400012163005000181618040101007

Dados	Nº da coluna
Tipo do dia (normal = 0, feira = 1)	7
Número de Ônibus na linha (1 a 5)	8
Número de viagens de todos os Ônibus na linha	9,10,11
Número de parada da subida de passageiros	12,13
Número da zona pertencente a parada da subida (1 a 12)	14,15
Número de parada da descida de passageiros	16,17
Número da zona pertencente a parada da descida (1 a 12)	18,19
Motivo da viagem	20
Idade	21,22

Os tipos de dados nas colunas 12 a 22 eram repetidos nas colunas 23 a 33, 34 a 44, 45 a 55, 56 a 66 e 67 a 77, para outros passageiros. Um exemplo é mostrado na Figura IV.2.

O significado do número de código, como a apresentado na Figura IV.2 é como o seguinte:

- 01 - Era a primeira viagem para o Ônibus
- 1 - O dado era do tipo 1
- 18 - O número da rota era 18
- 0 - A linha era circular
- 0 - O dia era do tipo 0 (terça ou quinta feira)
- 2 - Havia 2 Ônibus na rota
- 056 - A rota tinha 56 viagens por dia ($28 \times 2 = 56$)
- 12 - O passageiro subiu ao Ônibus na parada número 12
- 04 - A parada de Ônibus número 12 era na zona 4
- 00 - O passageiro desembarcou do Ônibus na parada 00
- 01 - A parada de Ônibus 00 era na zona 01
- 1 - O motivo da viagem era estudo
- 14 - O passageiro tinha 14 anos de idade e, assim, por dian
te.

Os dados foram assim codificados e perfurados em 9.000 cartões aproximadamente, representando 54.000, passagens. Um exemplo é mostrado no Apêndice C.

Algumas interpolações de horário de descida foram feitas, onde necessário, de maneira a ajudar na conferência dos dados. Essas conferências consistiram na verificação da compatibilidade e validade dos dados (por exemplo, verificar o número da parada de ônibus se era na zona especificada e verificar que o horário da descida em uma parada de ônibus era posterior ao horário da descida no posto anterior.

A coleta de dados foi feita durante 4 dias de 17 a 20 de dezembro de 1974 (de terça à sexta-feira) por 2 grupos (A e B). Cada grupo consistia de 14 subgrupos de 3 investigadores, dando um total de 84 investigadores. O horário de trabalho desses grupos A e B, é mostrado na Tabela IV.1.

Nenhuma informação foi coletada nas linhas 2 (Monte Santo) e 15 (Bodocongô via Matadouro). A linha 2 somente operava nos sábados e os dados da linha 15 eram similares aos da linha 6. As linhas 6 a 15 foram consideradas como 1 linha e, a mesma, para o propósito de análise de dados. Informações adicionais na forma de mapas, zoneamento e uso da terra em cada zona, foram obtidos, através das autoridades municipais. Figura IV.3 mostra em detalhe o zoneamento e as linhas de ônibus investigadas.

Período	17/12/74		18/12/74		19/12/74		20/12/74	
	3a	feira	4a	feira	5a	feira	6a	feira
6 às 11 h		A		B		A		B
11 às 16 h		B		A		B		A
16 às 21 h		A		B		A		B

Tabela IV.1. Horário de trabalho dos pesquisadores.



C A P Í T U L O V

MODELOS MATEMÁTICOS

V.1. Introdução

Um modelo é somente um meio de simulação, e, assim, não pode reproduzir a complexidade da situação real. Os modelos simulam a operação de um sistema e, a partir do resultado da simulação, as alternativas podem ser avaliadas.

O escopo da dissertação é indicado no capítulo 3. Este capítulo desenvolve alguns modelos matemáticos a fim de formar a estrutura de análise da operação e otimização do sistema público de transporte.

Alguns destes modelos são aplicados para os dados coletados no capítulo 4. Antes de descrever os modelos, é adequado fazer algumas considerações gerais, discutir as variáveis e explicar brevemente os programas de computador, que são desenvolvidos para os dados coletados.

V.2. Considerações Gerais e Variáveis

O custo geral perceptível da viagem para um passageiro de ônibus depende dos seguintes fatores:

- (i) W, tempo de caminhada
- (ii) X, tempo de espera
- (iii) Y, tempo de deslocamento
- (iv) congestionamento do número de passageiros no ônibus
- (v) variabilidade do serviço

O tempo total da viagem (TTT) para todos os passageiros num período pode ser definido como:

$$TTT = \sum (W + X + Y) \dots\dots\dots (V.1)$$

Na prática, não é necessário que o peso dos tres elementos, a direita da equação V.1, sejam iguais. Se usamos o conceito "percepção de passageiro" sobre o tempo de viagem, então, o tempo de caminhada e o tempo de espera, serão percebidos como sendo maior que o tempo do deslocamento, e, conseqüentemente, o peso dos dois primeiros elementos é maior que o terceiro. Mas neste trabalho, de qualquer maneira, no processo de otimização, a função objetiva será tomado como somatório simples dos tres elementos.

O valor do tempo de espera, x , é proporcional à $1/Nr$ (Nr é o número de ônibus em cada linha). Se a Chegada dos passageiros e dos ônibus são aleatórias, com média de "intervalo de chegada" (headway) a minutos, a média do tempo de espera será a ($\bar{x} = a$). Se a chegada do ônibus é regular mas os passageiros não sabem o seu horário, a média de tempo de espera será metade do "intervalo de chegada" ($\bar{x} = a/2$). Se o ônibus é regular e os passageiros sabem o horário, o tempo de esepra será zero ($\bar{x} = 0$). Na prática, porém, os ônibus não são completamente regulares nem os passageiros têm suficiente conhecimento do horário, então, simplesmente, admitimos que a média de espera é proporcional a a ($\bar{x} = Ka$) onde K é uma constante entre 0 e 1.

As variáveis no problema de otimização do tempo total de viagem (TTT) serão.

- (i) N , número de ônibus no sistema
- (ii) Nr , número de ônibus em cada linha
- (iii) as posições das paradas
- (iv) os horários dos ônibus
- (v) as próprias linhas.

V.3. Programas do Computador

1. Programa 1.a: O programa é desenvolvido para dados tipo zero. Cada tipo de dia é dividido em 4 períodos. Para cada período de cada dia, o programa calcula para cada linha, o número de paradas pelas quais o ônibus passou neste período, o número de pessoas que subiu no ônibus durante este período e a média de pessoas dentro do ônibus durante o período. Ainda pesquisa o máximo e o mínimo de passageiros no ônibus e a respectiva parada, (veja Apêndice D).

Programa 1.b: Este programa calcula o tempo médio que um ônibus leva para fazer o percurso total de uma viagem, para cada tipo de dia de uma linha. É usado nos dados do tipo zero, (veja Apêndice E).

2. Programa 2. Este programa tem como entrada o número de ônibus e o tempo total de espera dos passageiros em cada linha, para cada período. Sua função é fazer uma permutação de ônibus de uma linha para outra. Se esta permutação resultar num valor de tempo total de espera dos passageiros menor que o sistema anterior, então esta será a melhor distribuição de ônibus no sistema. A saída do programa é a distribuição de ônibus no sistema que depende do menor tempo total de espera dos passageiros no sistema (veja Apêndice G).

3. Programa 3. O programa é desenvolvido para dado tipo um, referente ao movimento de passageiro de coletivos. Calcula a matriz do movimento de passageiros de uma zona para outra, para cada tipo de dia de uma linha, e também o somatório das pessoas que embarcaram e desembarcaram do coletivo numa zona. No final imprime a matriz de movimento de passageiros de uma zona para outra, para cada dia normal (zero) e feira (um) e matrizes referentes ao motivo e a idade para cada dia, separadamente. Outras saídas do programa são o resumo dos erros contidos nos cartões, como números de paradas perfurados erradamente, assim como zonas, motivo e idade para cada linha, (veja Apêndice H).

V.4. Os Modelos Matemáticos

O objetivo dos diferentes modelos é a procura da relação entre os tres elementos: tempo de caminhada, tempo de espera e tempo de deslocamento na equação V.1. Começamos com modelos simples e pelo conhecimento da natureza do processo de otimização, em que os efeitos são relacionados uns com as outras, tentamos aproximar os modelos mais complexos e realísticos.

V.4.1. "Cidade Circular" com todas as viagens do/ou para o centro da cidade

O modelo considera uma cidade circular com raio R. As linhas são do centro à orla do círculo e vice-versa. O número total de ônibus no sistema é constante e, consequentemente, o aumento do número das linhas reduz o número de ônibus em cada linha. Existe uma relação entre tempo de caminhada e tempo de espera; aumentando o número de linhas diminui o tempo de caminhada, mas aumentando o tempo de espera e, vice-versa. O tempo de deslocamento será constante. O objetivo

é encontrar um valor ótimo do número da linha radial, P , que minimiza o tempo total de viagem (TTT).

Matematicamente o (TTT) pode ser expresso como uma função de número de ônibus na cidade N , da velocidade média de ônibus V , da velocidade média de caminhada v , e do número de linha radial p . O tempo de ciclo para um ônibus será $2R/V$ e o número de ônibus na linha será N/P . Dois submodelos simples são considerados a seguir, os quais admitem que todas as viagens são feitas do/ou para o centro da cidade.

V.4.1a. Concentração de população na circunferência

Admite-se que todos os passageiros tomam o ônibus da orla ao centro ou do centro à orla (Fig. V.1). Neste caso, a média de tempo de espera será proporcional a $2RP/VN$ (tempo entre as chegadas dos ônibus). A média de tempo de deslocamento será R/V e a média do tempo de caminhada $\frac{1}{4} 2\pi R/v_p$ (admitindo-se que as ruas são radial e circular). Conseqüentemente a média do tempo de viagem (ATT) será

$$ATT = \frac{2RP}{VN} K + \frac{R}{V} + \frac{1}{4} \frac{2\pi R}{v_p}$$

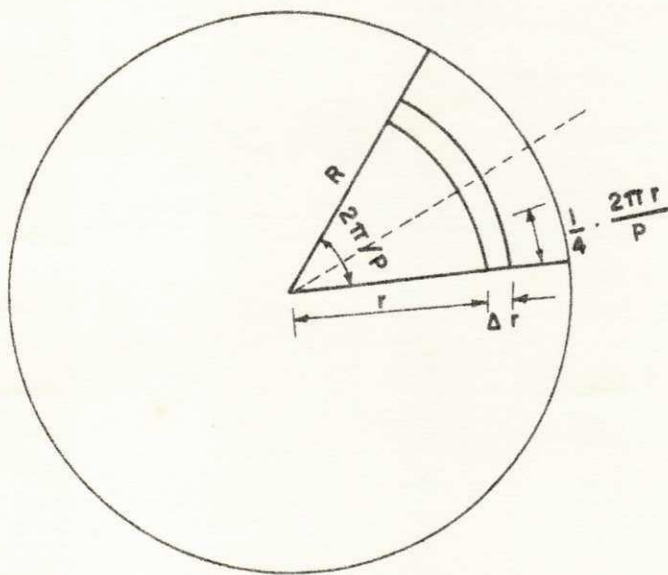
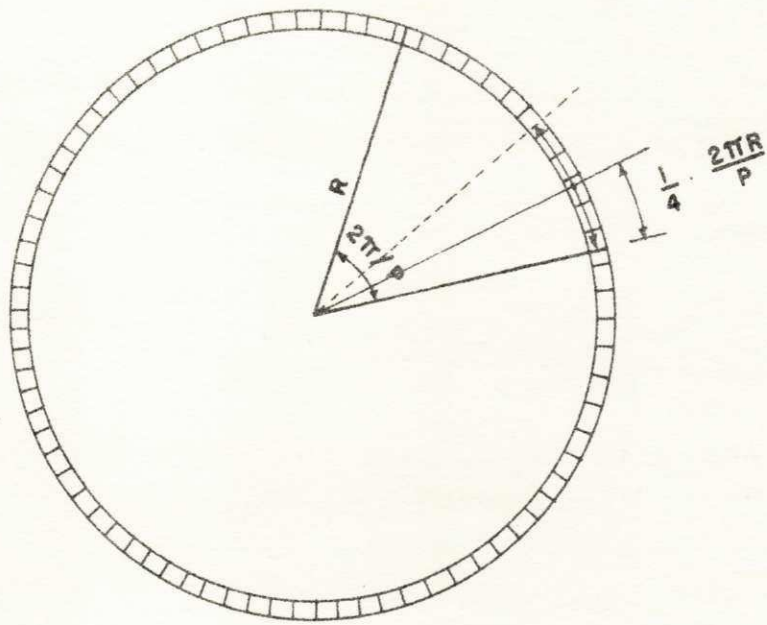
O valor ótimo de P pode ser obtido pela diferenciação de (ATT) com respeito a P . Então, tem-se:

$$\frac{\partial (ATT)}{\partial P} = - \frac{1}{2} \frac{\pi R}{v_p^2} + \frac{2KR}{VN} = 0$$

$$\therefore P_{opt} = \left[\frac{\pi}{4K} \frac{NV}{v} \right]^{1/2}$$

Figura V.1. "Cidade Circular" com Concentração de População na Circunferência.

Figura V.2. "Cidade Circular" com Distribuição Uniforme da População na Cidade.



O número de linha radial cresce com a raiz quadrada da razão velocidade de ônibus e velocidade de caminhada e, também, com a raiz quadrada do número de ônibus no sistema N.

V.4.1b. Distribuição uniforme da população na cidade.

Neste caso é considerado que a população é distribuída uniformemente na cidade. Se ρ é densidade de população por área unitária, então o número de pessoa na área entre raio $(r \text{ e } r+\Delta r)$ e duas linhas sucessivas (Fig. V.2) será $\rho \frac{2\pi}{P} \Delta r$ e a média da distância para uma pessoa será $\frac{1}{4} r \frac{2\pi}{P}$. Então a distância total de caminhada (TWD) pode ser calculada pela integração sobre esta área de 0 a R, e tem-se:

$$\begin{aligned} \text{(TWD)} &= \int_0^R \rho \left(\frac{2\pi}{P} \right)^2 \frac{r^2}{4} dr \\ &= \frac{\rho \pi^2}{P^2} \frac{r^3}{3} \Big|_0^R = \rho \frac{\pi^2 R^3}{3P^2} = (\rho \pi R^2) \frac{\pi R}{3P^2} \end{aligned}$$

Agora a média do tempo total (ATT) pode ser calculada e tem-se:

$$\text{média do tempo de caminhada} = \frac{\pi R}{3vp^2}$$

$$\text{média do tempo de espera} = \frac{2RP}{VN} \cdot K$$

$$\text{tempo de deslocamento} = \frac{R}{V}, \quad e$$

$$\text{ATT} = \frac{\pi R}{3vp^2} + \frac{2RP}{VN} \cdot K + \frac{R}{V},$$

O valor ótimo de p pode ser calculado como segue:

$$\frac{\partial (ATT)}{\partial P} = - \frac{2\pi R}{3vp} + \frac{2R}{VN} \cdot K = 0$$

$$\therefore P_{opt} = \left[\frac{\pi}{3K} \cdot N \frac{V}{v} \right]^{1/3}$$

Comparando-se o número ótimo da linha radial deste modelo com o do modelo anterior, observa-se que P_{opt} depende da razão entre velocidade de ônibus e velocidade de caminhada. Mas neste modelo o índice é $1/3$ em lugar de $1/2$. Este acentua a natureza do processo de otimização: é uma relação entre tempo de caminhada e tempo de espera. O tempo de caminhada depende de v e o tempo de espera depende da média de "intervalo de chegada" que depende de V . Como P cresce o "intervalo de chegada" de cada linha também cresce, mas o tempo de caminhada decresce.

O modelo mais complexo ocorre quando a distribuição de população na cidade não é uniforme. Então, a distância total de caminhada e, conseqüentemente, tempo total de caminhada será o somatório de tempo total de caminhada para cada bloco separadamente. O tempo total de caminhada para cada bloco ou cada área uniforme, pode-se obter em particular pela multiplicação do número de pessoa em área uniforme pelo tempo necessário para a caminhada do centro de gravidade desta área à linha mais próxima.

Estes modelos são usados em uma cidade do ponto de vista teórico. A cidade é circular e simétrica, com uma função simples e conhecida densidade de população. O número total de ônibus é dividido em p equipes, mas é possível que o número de linha N/p não seja inteiro. O seguinte exemplo

mostra a natureza do modelo do ponto de vista teórico:

Exemplo V.1: Se assumir uma velocidade média de ônibus 20 km/h, e velocidade média de caminhada 4 km/h, o número ótimo de linha para um sistema com 50 ônibus seria:

$$P_{opt} = \left(\frac{\pi}{3 \times 0.5} \times 50 \times \frac{20}{4} \right)^{1/3} = (523)^{1/3}$$

$$= 8 \text{ linhas}$$

(K, o coeficiente de "intervalo de chegada" e tempo de espera admite-se igual a 0.5).

No exemplo acima a distância da caminhada para uma pessoa que mora ao redor de uma circunferência de 5 quilômetros do centro da cidade seria:

$$\frac{2\pi R}{4p} = \frac{2 \times 3.14 \times 5}{8 \times 4} = 1 \text{ km.}$$

Um raio maior que este, não é razoável. O mesmo problema ocorre quando o centro da cidade não é ajustado com o centro do círculo imaginário. As pessoas que moram no lado maior têm que andar mais que pessoas que moram do outro lado. Além disto, as ruas, atualmente, não são radiais.

Nos próximos modelos, consideram-se os dados de cidade real com conhecimento de nível de uso de diferentes linhas. Os modelos não consideram nenhuma simetria na estrutura da cidade. É esperado, entretanto, que o problema geral de otimização sobre estas circunstâncias possa ser muito mais difícil e, assim, é necessário considerar a otimização de fatores específicos, todos ao mesmo tempo.

V.4.2. Modelo de linha e parada fixas

Neste modelo as linhas e paradas do sistema atual não mudam. No seguinte, consideramos dois submodelos. No primeiro, procuramos otimizar a permuta de ônibus nas linhas, objeto a minimizar tempo total de viagem. No segundo, o número de pessoas no ônibus é considerado e a idéia geral é a aproximação de um sistema com iguais congestionamentos em todos os ônibus. No fim, os dois submodelos são comparados. A seguir, descrevemos cada modelo.

V.4.2a. "Otimização do tempo total de viagem"

Sendo neste modelo, as linhas e paradas fixas, o tempo de caminhada será um valor constante na equação V.1. O modelo procura otimizar, a permuta ótima dos ônibus nas linhas. Enquanto o número de ônibus numa linha cresce, o tempo de espera dos passageiros na mesma linha decresce, mas como o número total de ônibus no sistema é constante, então, se um ônibus for transferido, uma linha será beneficiada, enquanto a outra será prejudicada. Obviamente a ótima de permuta depende do número de passageiros em cada linha. Outro efeito, é aquele sobre o tempo médio de deslocamento. Como o número de ônibus numa linha decresce, o número dos passageiros nos ônibus da mesma linha cresce. Conseqüentemente, o tempo necessário para embarcar e desembarcar do ônibus cresce, e, assim, o tempo médio do deslocamento também cresce. De qualquer maneira, neste modelo, afirma-se que este efeito é pequeno em comparação com o efeito do tempo de espera. Conseqüentemente, o objetivo é minimizar o tempo de espera com respeito à permuta do número ótimo de ônibus nas linhas, dependendo do número total dos ônibus no sistema que é constante,

ou:

$$\sum_r N_r = N$$

onde N_r número de ônibus em cada linha e N número total de ônibus no sistema.

O valor ótimo de ônibus na linha, pode ser calculado facilmente pela diferenciação do tempo total de espera com respeito ao N_r . O processo matematicamente pode ser demonstrado como se segue.

Tempo médio de espera para um passageiro

$$= K \frac{t_r}{N_r}$$

Tempo médio de espera para os passageiros de uma linha

$$= K T_r \frac{t_r}{N_r} = K \frac{b_r}{N_r}$$

∴ tempo médio de espera para o sistema

$$X = K \sum_r \frac{b_r}{N_r} \quad \dots\dots (V.2)$$

onde:

t_r = tempo médio de um ciclo da linha r

N_r = número de ônibus na linha r

T_r = número de "viagens por pessoa" pela linha r no período particular.

$b_r = T_r t_r$, Tempo total de espera na linha r no período particular

K = Coeficiente da proporcionalidade de tempo de espera e intervalo da chegada que, já foi explicado anteriormente.

O tempo total de espera, X , tem que ser minimizado sujeito a:

$$\sum_r N_r = N.$$

$$dX = \sum_r \frac{d}{dN_r} \left(K \frac{b_r}{N_r} \right) dN_r = 0$$

$$dX = -K \sum_r \frac{b_r}{N_r^2} dN_r = 0$$

$$\text{Como } \sum_r dN_r = 0$$

Este é resolvido para todo $dN_r = 0$, somente quando b_r/N_r^2 for constante. Isso significa que:

$$\frac{b_1}{N_1^2} = \frac{b_2}{N_2^2} = \dots \dots \dots \frac{b_r}{N_r^2} = \sum_r \frac{b_r}{N_r^2}, \text{ ou}$$

$$\frac{b_r}{N_r^2} = \sum_r \frac{b_r}{N_r^2} = \frac{\sum_r b_r}{N^2}$$

$$\therefore \frac{N_r}{N} = \frac{b_r^{1/2}}{\sum_r b_r^{1/2}} \dots \dots \dots (V.3)$$

Esta equação se refere à "solução do tempo de espera". N_r pode ser calculado pela equação (V.3). Geralmente N_r não será um valor inteiro, e teria de ser arredondado. Por esta razão algumas vezes, mais que uma estimativa é necessária, sujeitá-la à condição de $\sum N_r$ para ser igual ao número total de ônibus no sistema.

Para se fazer a avaliação do novo sistema, tem-se que calcular o tempo total de espera para o mesmo e compará-lo com o tempo total de espera para o sistema atual (equação V.2).

O exemplo seguinte mostra o processo:

Exemplo V.2: Neste exemplo o modelo é aplicado para os dados obtidos do programa 1.a (Apêndice D) para dia normal e período de 7 às 11 h. Pelo resultado do programa tem-se K_r número dos passageiros que subiram num ônibus durante este período e t_r tempo médio de um ciclo da linha r. Então, T_r que representa o número total de passageiros que são transportados por todos os ônibus de cada linha, é conhecido. O tempo total de espera para esta linha, neste período será $b_r = K T_r t_r$. Sendo K um valor constante não é considerado no cálculo. Então N_r ótimo pode ser calculado, igualando-se $b_r^{1/2} / \sum b_r^{1/2}$ a N_r/N , onde N é o número de ônibus no sistema durante este período, não estando incluído, portanto, o número de ônibus nas linhas, sobre as quais não existem informações. Neste período não existem dados sobre a linha 4, a qual dispõe apenas de 2 ônibus; então, N é 49 e não 51 ônibus. O cálculo para a linha 1 neste período é o seguinte:

$$N_1 = 5 \text{ ônibus}$$

$$K_1 = 167 \text{ passageiros}$$

$$t_1 = 59 \text{ minutos}$$

$$T_1 = K_1 N_1 = 167 \times 5 = 835 \text{ passageiros}$$

$$b_1 = T_1 t_1 = 835 \times 59 = 49265$$

$$b_1^{1/2} = 222$$

O somatório de $b_r^{1/2}$ pode ser obtido de pois do cálculo de $b_r^{1/2}$ para todas as linhas. Para este período seria 3996 (tabela V.1). Então temos:

$$\frac{b_1^{1/2}}{\sum_r b_r^{1/2}} = \frac{N_1}{N}$$

$$\text{ou } \frac{222}{3996} = \frac{N_1}{49}$$

$$N_1 = 2,73 \text{ (arredonda-se para 3).}$$

Similarmente, outros valores de $N_2 \dots \dots N_r$ são calculados. O processo de estimativa é repetido até que a condição, $\sum N_r =$ número total de ônibus no sistema, seja satisfeita (49 no presente exemplo). Os cálculos para outras linhas estão resumidos na tabela V.1. A quarta coluna à direita desta tabela mostra o valor final de N_r , que satisfaz a condição acima.

As duas últimas colunas na tabela V.1 mostram os valores de b_r/N_r (o tempo de espera pelos passageiros de um ônibus de linha r) para o sistema atual e o novo sistema, respectivamente. A percentagem de economia de tempo total de espera pelo novo sistema pode ser calculada através da seguinte fórmula:

Nº da linha	N_r atual	K_r	$T_r = N_r K_r$	t_r	$b_r = T_r t_r$	$b_r^{1/2}$	Ótimo $N_r = \frac{1}{2} \frac{N \cdot b_r^{1/2}}{\sum b_r^{1/2}}$	1º estimativa	2º estimativa	b_r/N_r atual	b_r/N_r novo
1	5	167	835	59	49265	222	2,73	3		9853	16421
3	1	404	404	50	20200	142	1,75	2		20200	10100
4	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-
5	2	568	1133	38	43168	208	2,56	3		21584	14389
6	4	433	1732	65	112580	336	4,13	4		28145	28145
7	5	123	615	100	61500	248	3,05	3		12300	20500
8	2	101	202	112	22624	150	1,85	2		11312	11312
9	2	283	566	49	27734	167	2,05	2		13867	13867
10	2	474	948	39	36972	192	2,36	2		18486	18486
11	1	339	339	30	10170	101	1,24	1		10170	10170
12	2	98	196	38	7448	86	1,06	1		3724	7448
13	1	262	262	41	10742	104	1,28	1		10742	10742
14	3	406	1218	40	48720	221	2,72	3		16240	16240
16	1	300	300	31	9300	96	1,18	1		9300	9300
17	2	616	1232	64	78848	281	3,46	3		39424	26283
18	2	536	1072	46	49312	222	2,73	3		24656	16437
19	1	415	415	43	17845	134	1,65	2		17845	8922
20	1	251	251	40	10040	100	1,23	1		10040	10040
21	3	572	1716	34	58344	242	2,98	3		19448	19448
22	1	131	131	74	9694	98	1,21	1		9694	9694
23	2	331	662	33	21846	148	1,82	2		10923	10923
24	2	423	846	37	31302	177	2,18	2		15651	15651
25	2	268	536	40	21440	146	1,80	2		10720	10720
26	1	166	166	57	9462	97	1,19	1		9462	9462
27	1	97	97	63	6111	78	0,96	1		6111	6111
	49					3996		49		359897	330812
Percentagem da economia do tempo total = $\frac{359897 - 330812}{359897} \times 100 = 8.08\%$											

TABELA V.1. Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito à mínimo TTT, TTT como uma função contínua. (Dia normal, período de 7 as 11h).

$$\frac{\sum \frac{b_r}{N_r} \text{ sist. atual} - \sum \frac{b_r}{N_r} \text{ sist. novo}}{\sum \frac{b_r}{N_r} \text{ sist. atual}} \times 100$$

Para o exemplo acima temos:

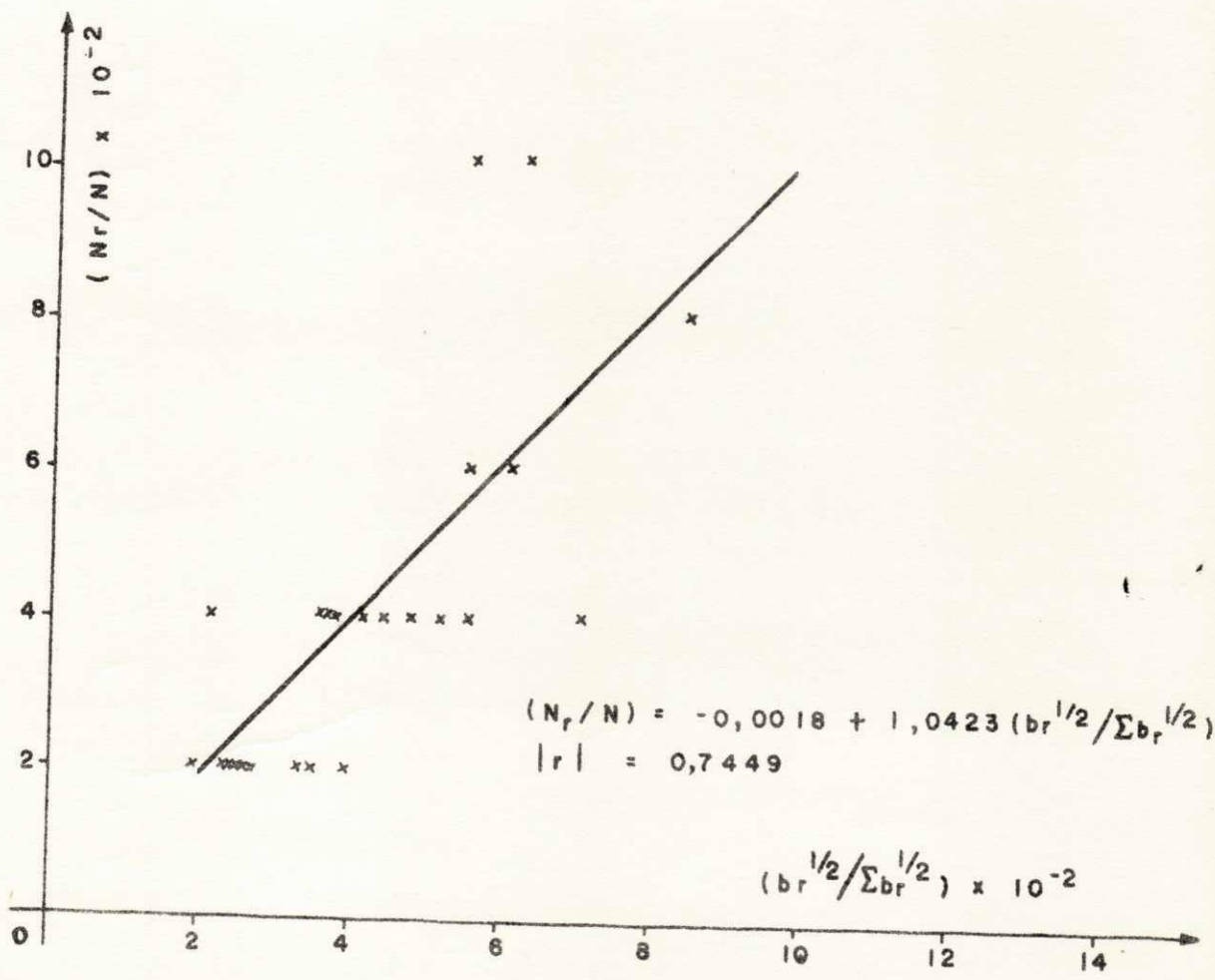
$$\frac{359897 - 330812}{359897} \times 100 = 8,08\%$$

O processo de otimização, é mostrado graficamente na figura V.3. Os valores de $b_r^{1/2} / \sum b_r^{1/2}$ são traçados contra os de N_r/N . A regressão linear é usada para traçar a melhor reta através dos pontos. Isso é ideal quando todos os pontos estão sobre a reta. Alguns pontos, aparentemente ilógicos e exceções, podem ser estudados para descobrir as razões pelas quais encontram-se fora do modelo teórico. Mais explicações aparecerão na comparação deste com o próximo modelo.

No modelo acima considera-se a função de tempo de espera equação V.2 como uma função contínua, e, para calcular o valor ótimo do número de ônibus nas linhas, usam-se as propriedades da variável contínua. No final o valor N_r , é arredondado. Neste arredondamento, algumas vezes estão incluídas perdas no benefício do tempo da viagem. Na tabela V.2 a economia do tempo total da viagem para todos os períodos deste modelo é resumida. Os cálculos são apresentados no capítulo 6.

A análise acima pode ser modificada, considerando-se a função de tempo de espera como sendo uma função descontínua, e otimizando-se o valor de N_r , de etapa em etapa. O programa de computador nº 3 procura fazer a análise, transferindo-se um ônibus de uma linha, para outra. Em cada

Figura V.3. Relação Gráfica entre N_r/N e $br^{1/2}/\Sigma br^{1/2}$ de Condição Atual Representado pela Reta de Regressão. (Período de 7 às 11 h, dia normal).



etapa, o valor $\sum b_r/N_r$ é calculado e comparado com o valor anterior, e, o valor N_r depende do menor $\sum b_r/N_r$ escolhido, como condição favorável. Para facilidade, em cada permutação o programa, somente compara o valor de $b_j/N_j(N_j+1)$ e $b_i/(N_i-1)N_i$, onde i é índice da linha que emprestou um ônibus, e j , é a linha que recebeu um ônibus. Então se o valor $b_i/N_j(N_i-1)$ é menor que $b_j/(N_j+1)N_i$, significa que a permutação estará favorável*.

O exemplo V.2 é resolvido por este programa. A "percentagem da economia do tempo total" deste programa é igual ao do processo anterior. Os resultados dos programas são apresentados no Apêndice I. A percentagem da economia do tempo para compras com modelo anterior é resumido na tabela V.2.

Dia	Normal			Feira		
	7às 11h	11às15h	15às20h	7às 11h	11às15h	15às20h
% da economia do tempo total (função TTT contínua)	8,08	5,38	5,41	4,06	8,31	5,08
% da economia do tempo total (função TTT descontínua)	8,08	5,78	5,27	4,06	8,46	4,88

Tabela V.2. Comparação da percentagem da economia do tempo total entre TTT como uma função contínua e TTT como uma função descontínua.

$$* \text{ se } \frac{b_1}{N_1} + \frac{b_2}{N_2} + \dots + \frac{b_i}{N_i-1} + \dots + \frac{b_j}{N_j+1} + \dots + \frac{b_n}{N_n} < \frac{b_1}{N_1} + \frac{b_2}{N_2} + \dots + \frac{b_i}{N_i} + \dots + \frac{b_j}{N_j} + \dots + \frac{b_n}{N_n}$$

$$\text{ou } \frac{b_i}{(N_i-1)N_i} + \frac{b_j}{(N_j+1)N_j} < \frac{b_i}{N_i} + \frac{b_j}{N_j}$$

$$\text{ou } \frac{b_i}{(N_i-1)N_i} < \frac{b_j}{N_j(N_j+1)} \quad \text{a permutação é favorável}$$

V.4.2b. "Igualdade de Congestionamento"

No modelo anterior somente considera-se o total dos passageiros de cada linha. O número médio dos passageiros ou do congestionamento nos ônibus não é levado em conta. Neste modelo a média de congestionamento é considerada, e, procura-se uma permuta dos ônibus baseada na igualdade do congestionamento em todas as linhas.

Com o aumento do número de ônibus numa linha, decresce o número de passageiros em cada ônibus da mesma linha. Mas, com esta transferência, decresce o número de ônibus em algumas outras linhas e, conseqüentemente, cresce o número médio dos passageiros naquela linha. A permuta ótima neste caso, também depende do número de passageiros em cada linha e da extensão do deslocamento. O objetivo é minimizar a razão do máximo número médio ao mínimo número médio nos ônibus, no sistema sujeito a $\sum N_r = N$. matematicamente, pode-se explicar como segue:

$$\text{minimização} \quad \frac{(M_r/N_r)_{\max}}{(M_r/N_r)_{\min}}$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum N_r = N$$

onde M_r representa o produto da média dos passageiros nos ônibus pelo número de ônibus em linha ou, é o número médio dos passageiros nos ônibus, se $N_r = 1$.

Idealmente, significa que o número médio de passageiros em todos os ônibus são i guais, ou

$$\frac{M_1}{N_1} = \frac{M_2}{N_2} = \dots = \frac{M_r}{N_r} = \frac{\sum M_r}{\sum N_r}$$

$$\text{ou } \frac{N_r}{N} = \frac{M_r}{\sum M_r} \dots \dots \dots (V.4)$$

O número de ônibus pode ser calculado pela equação V.4 e, tem-se que arredondar o valor, que geralmente é encontrado pelo "processo de procura" (search procedure).

Para avaliar-se o novo sistema pode-se comparar as razões de máximo M_r/N_r a mínimo M_r/N_r do sistema novo com o atual. O seguinte exemplo ilustra o processo:

Exemplo V.3. Determinar o valor de N_r correspondente à otimização do número de pessoas nos ônibus no período de 7 às 11 hs, e dia normal.

Dos resultados do programa 1.a, tem-se a Média de passageiros nos ônibus (AVE). Então $M_r = N_r \times (AVE)$ é conhecido. Pela equação V.4 o valor de N_r ótimo pode ser calculado.

O cálculo para a linha 1 é o seguinte:

AVE = 25 passageiros

$M_r = AVE, N_r = 25 \times 5 = 125$ passageiros

O somatório de M_r pode ser obtido depois do cálculo de M_r para todas as linhas. O valor para este exemplo será 1465 passage

ros (Tabela V.3).

Então para N_r :

$$N_r = \frac{M_r N}{M_r} = \frac{125 \times 49}{1465} = 4,18 \text{ (arredondado para 4)}$$

Da mesma forma, os valores N_2, \dots, N_{r-1}, N_r são calculados. O processo de estimativa tem que satisfazer a equação $\sum N_r = N$. A solução para o sistema está resumida na tabela V.3.

Neste exemplo: $\frac{(M_r/N_r)_{\text{máxima}}}{(M_r/N_r)_{\text{mínima}}}$ é reduzida

de 4,50 para 3,33 e a média máxima reduzida de 54 passageiros para 40 passageiros.

A análise gráfica para este exemplo acima, é mostrada na figura V.4. Os valores $M_r/\sum M_r$ são traçados contra N_r/N . A linha de regressão mostra uma boa correlação, $|r| = 0,824$.

V.4.2c. Comparação dos modelos de "Otimização do Tempo Total da Viagem" (TTT) e "Igualdade do Congestionamento".

Para compara-se os dois modelos, o TTT pode ser calculado para os números ótimos de ônibus obtido pelo método de congestionamento, e o fator de conforto (razão de mínima à máxima de M_r/N_r) para ótima N_r é obtido pelo método de otimização do tempo total de viagem. O cálculo para o período de 7 às 11 h e dia normal é resumido na tabela V.4. Os resultados dos outros períodos são mostrados na tabela V.5.

Os resultados da tabela V.5 mostram que,

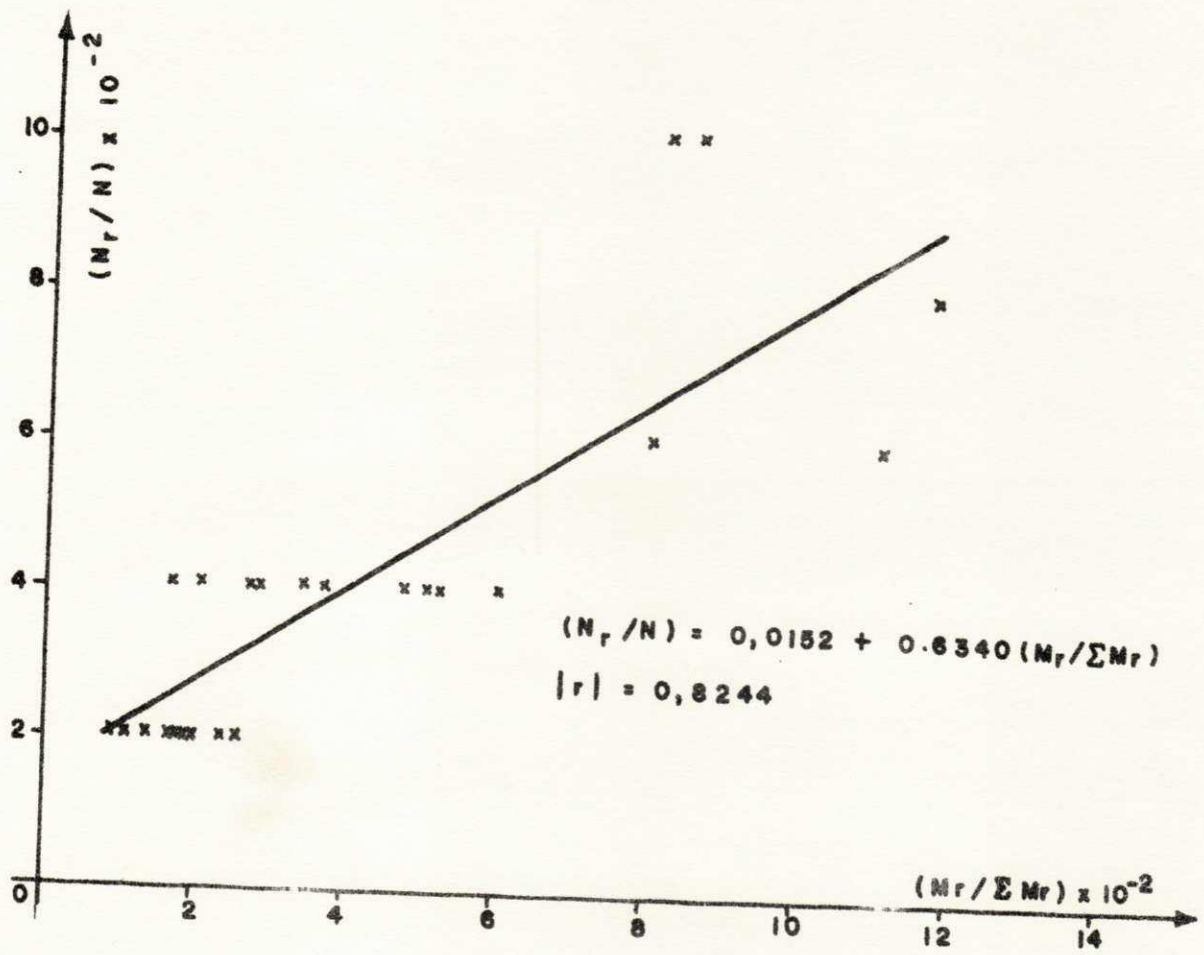
Nº da linha	N_r atual	$(AVE) = \frac{M_r}{N_r \text{ atual}}$	$M_r = (AVE) \cdot N_r$	$N_r = \frac{M_r}{\sum M_r} \cdot N$	1ª estimativa	2ª estimativa	M_r/N_r novo
1	5	25	125	4.18	4	4	31
3	1	35	35	1.17	1	1	35
4	-	-	-	-	-	-	-
5	2	27	54	1.80	2	2	27
6	4	43	172	5.75	6	6	29
7	5	24	120	4.01	4	4	30
8	2	12	24	0.80	1	1	24
9	2	20	40	1.34	1	1	40
10	2	38	76	2.54	3	2	38
11	1	28	28	0.93	1	1	28
12	2	15	30	1.00	1	1	30
13	1	25	25	0.84	1	1	25
14	3	39	117	3.91	4	4	29
16	1	12	12	0.40	1	1	12
17	2	44	88	2.94	3	3	29
18	2	35	70	2.34	2	2	35
19	1	37	37	1.24	1	1	37
20	1	27	27	0.90	1	1	27
21	3	54	162	5.41	5	5	32
22	1	24	24	0.80	1	1	24
23	2	37	74	2.48	2	2	37
24	2	20	40	1.34	1	1	40
25	2	25	50	1.67	2	2	25
26	1	15	15	0.50	1	1	15
27	1	20	20	0.66	1	1	20
49			1465		50	49	

	Atual	Novo
$(M_r/N_r)_{\text{Max}}$	$\frac{54}{12} = 4.50$	$\frac{40}{12} = 3.33$
$(M_r/N_r)_{\text{Min}}$		
Conforte	0.22	0.30

TABELA V.3. (Dia normal, período de 7 às 11h)

Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito a igualdade de congestionamento no ônibus.

Figura V.4. Relação Gráfica entre N_r/N e $M_r/\Sigma M_r$ de Condição Atual, Representado pela Reta de Regressão. (Período de 7 às 11 h, dia normal).



Nº da linha	D_r	M_r	N_r atual	N_r TTT	N_r conges	(b_r/N_r) atual	(b_r/N_r) TTT	(b_r/N_r) conges	(M_r/N_r) atual	(M_r/N_r) TTT	(M_r/N_r) conges
1	49265	125	5	3	4	9853	16421	12316	25	41	31
3	20200	35	1	2	1	20200	10100	20200	35	17	35
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	43168	54	2	3	2	21584	14389	21584	27	18	27
6	112580	172	4	4	6	28145	28145	18763	43	43	29
7	61500	120	5	3	4	12300	20500	15375	24	40	30
8	22624	24	2	2	1	11312	11312	22624	12	12	24
9	27734	40	2	2	1	13867	13867	27734	20	20	40
10	36972	76	2	2	2	18486	18486	18486	38	38	38
11	10170	28	1	1	1	10170	10170	10170	28	28	28
12	7448	30	2	1	1	3724	7448	7448	15	30	30
13	10742	25	1	1	1	10742	10742	10742	25	25	25
14	48720	117	3	3	4	16240	16240	12180	39	39	29
16	9300	12	1	1	1	9300	9300	9300	12	12	12
17	78848	88	2	3	3	39424	26283	26283	44	29	29
18	49312	70	2	3	2	24656	16437	24656	35	23	35
19	17845	37	1	2	1	17845	8922	17845	37	19	37
20	10040	27	1	1	1	10040	10040	10040	27	27	27
21	58344	162	3	3	5	19448	19448	11669	54	54	32
22	9694	24	1	1	1	9694	9694	9694	24	24	24
23	21846	74	2	2	2	10923	10923	10923	37	37	37
24	31302	40	2	2	1	15651	15651	31302	20	20	40
25	21440	50	2	2	2	10720	10720	10720	25	25	25
26	9462	15	1	1	1	9462	9462	9462	15	15	15
27	6111	20	1	1	1	6111	6111	6111	20	20	20
						359897	330812	375627			
Conforte									0,22	0,28	0,30

TABELA V.4. (Dia normal, período de 7 às 11 h)

Cálculo detalhado dos valores quantitativos para a comparação dos modelos de "Otimização do Tempo Total da Viagem" e "Igualdade de Congestionamento" no ônibus.

Dia	Período	(*)	0	1	2
		Modelo →			
Normal	7 às 11 h	$\Sigma(b_r/N_r)$	359897	330812	375627
		Conforto	0,22	0,28	0,30
	11 às 15h	$\Sigma(b_r/N_r)$	332182	312967	353721
		Conforto	0,20	0,13	0,34
	15 às 20 h	$\Sigma(b_r/N_r)$	414225	392379	445924
		Conforto	0,23	0,10	0,30
Feira	7 às 11 h	$\Sigma(b_r/N_r)$	340948	327101	395751
		Conforto	0,15	0,14	0,26
	11 às 15 h	$\Sigma(b_r/N_r)$	373983	342341	436207
		Conforto	0,13	0,08	0,21
	15 às 20 h	$\Sigma(b_r/N_r)$	428735	407801	4916993
		Conforto	0,25	0,17	0,30

TABELA V.5. Comparação dos Modelos de "Otimização do Tempo Total da Viagem" e "Igualdade de Congestionamento" no Ônibus. (Veja Apêndice J).

(*) Modelo 0 Condição Atual

Modelo 1 Otimização do Tempo Total da Viagem

Modelo 2 Igualdade de Congestionamento

exceto no período de 7 às 11 h (dia normal) os menores valores de tempo de viagem são obtidos pelo incremento do congestionamento. Está claro, que a otimização de um parâmetro resulta na minimização do outro. Por exemplo: para o período das 15 às 20 h (dia de feira) o modelo 1 (otimização do tempo total) reduz o TTT de 428735 à 407801 mas aumenta o congestionamento, ocorrendo, então, uma diminuição do conforto de 0,25 à 0,17. Quanto ao modelo 2 (igualdade de congestionamento) aumenta o conforto de 0,25 à 0,30 mas, aumenta simultaneamente o TTT de 428735 à 491683.

V.4.3. Modelo de Linha Fixa e Parada de Ônibus Variável

Neste modelo o objetivo é minimizar o tempo total de viagem (TTT) somente numa linha, pelo aumento ou diminuição do número das paradas de ônibus. Obviamente, com o aumento do número de paradas dos ônibus, o tempo da caminhada diminui, e o tempo da espera e o tempo de deslocamento aumentam simultaneamente.

O "tempo de demora" em cada parada seria $(d + bm)$ onde d é o tempo necessário para desaceleração e aceleração; b é o tempo necessário para um passageiro subir ou descer do ônibus, e m é o maior número de passageiros, os quais, ou descem ou sobem no ônibus na mesma parada. No entanto, é possível ver que com a mudança do número de paradas o número de passageiros não muda, e, então, o termo bm na equação $d + bm$ não é necessário ser considerado. Então, o tempo de demora que se considera é somente o termo d para cada parada.

Um modelo simples que se pode considerar é aquele que tem uma distribuição uniforme das paradas ao longo da linha. Assim:

n = número de paradas na linha

v = velocidade de caminhada

N_r = número de ônibus na linha (r)

L = extensão da linha

V = velocidade de ônibus, sem incluir as paradas

d = tempo de demora

T_o = média de tempo de deslocamento quando $n = 0$

Então:

$$\text{média do tempo de caminhada} = \frac{1}{4} \frac{L}{nv}$$

$$\text{média do tempo de espera} = 2K \left(\frac{L/V + nd}{N_r} \right)$$

(média de intervalo da chegada = tempo do ciclo/número de ônibus na linha)

média do tempo de deslocamento com n paradas

$$\text{das} = \frac{(L/V) + nd}{L/V} T_o$$

Então a média do tempo total da viagem (TTT) será:

$$(TTT) = \frac{1}{4} \frac{L}{nv} + 2K \left(\frac{L/V + nd}{N_r} \right) + \left(\frac{L}{V} + nd \right) \frac{T_o}{L/V}$$

e o valor ótimo de n seria:

$$\frac{\partial (TTT)}{\partial n} = -\frac{1}{4} \times \frac{L}{vn^2} + \frac{2Kd}{N_r} + \frac{T_o V d}{L} = 0$$

$$\therefore n_{opt} = \left[\frac{\frac{1}{4} \times \frac{L}{v}}{2K \frac{d}{N_r} + \frac{T_0 V d}{L}} \right]^{1/2}$$

O valor ótimo de n depende de d e para cada valor de d temos um valor particular para N_{opt} (N_{opt} de cresce com o crescimento de d). O exemplo seguinte mostra esta relação.

Exemplo V.4. O número ótimo de parada por linha nas considerações abaixo pode ser calculadas como se segue:

$$v = 4 \text{ Km/h}$$

$$N_r = 5 \text{ ônibus}$$

$$L = 10 \text{ Km}$$

$$V = 30 \text{ Km/h}$$

$$d = 0,5 \text{ minutos}$$

$$T_0 = 7,5 \text{ minutos}$$

$$K = 0,5$$

$$n_{opt} = \left[\frac{\frac{1}{4} \times \frac{10}{4}}{2 \times 0,5 \times \frac{0,5/60}{5} + \frac{(7,5/60) 30 \times (0,50/60)}{10}} \right]^{1/2}$$

$$= [130]^{1/2} = 11 \text{ paradas.}$$

Se d diminui para 15 segundos, o número de paradas será 14 em lugar de 11.

O modelo mais geral e prático seria considerar-se a distribuição realista das paradas ao longo da linha. O processo de análise seria o seguinte:

- (i) Determinação da demanda para cada parada
- (ii) Determinação da "área de influência" (catchment area) para cada linha
- (iii) Distribuição uniforme da demanda na área de influência de cada parada
- (iv) Determinação do tempo total de viagem por sistema
- (v) Mudança do número de paradas e retorno ao ítem(i)
- (vi) O processo continua para diferentes valores de n, encontrando n para o mínimo TTT.

A escolha de um novo n em cada tentativa pode ser feita aleatoriamente, mas é melhor começar a eliminação da parada com aquelas de baixa demanda, e, se for necessário o adicionamento de novas paradas, intercalá-las entre as paradas de demanda alta.

Um programa de computador pode ser desenvolvido facilmente para resolver o problema acima descrito. O perfil do programa é oferecido abaixo, sem desenvolver o programa.

Para três paradas consecutivas (i-1), (i) e (i+1) (figura V.5), tem-se:

$$D_1 = \frac{1}{2} (d_i^- + d_i^+) - \frac{1}{2} d_i^- = \frac{1}{2} d_i^+$$

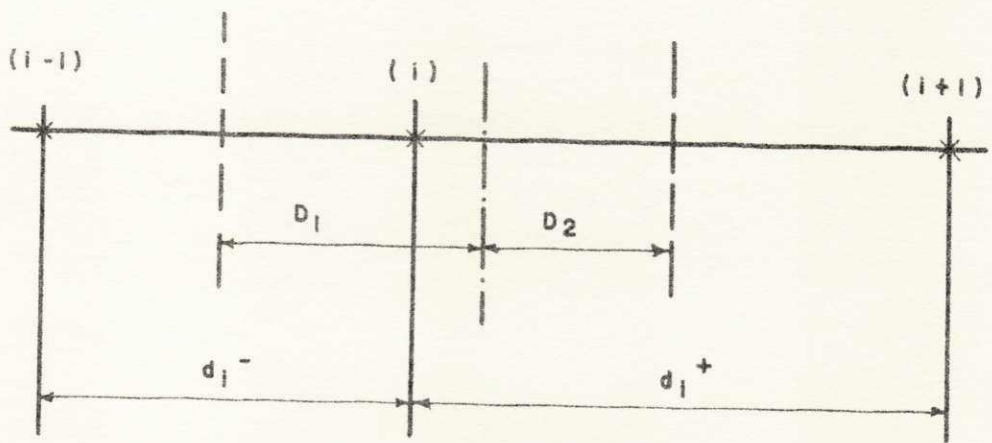
$$D_2 = \frac{1}{2} (d_i^+ - d_i^-) - \frac{1}{2} d_i^+ = \frac{1}{2} d_i^-$$

onde:

d_i^- = a distância entre paradas (i-1) e (i)

d_i^+ = a distância entre paradas (i) e (i+1)

Figura V.5. Área de Influência Imaginária para tres Paradas
Consecutivas.



D_1 = intervalo que, com a eliminação da parada i , passará a pertencer a parada $(i-1)$.

D_2 = intervalo que, com a eliminação da parada i , passará a pertencer à parada $(i+1)$.

Considera-se que a linha limite de influência será na média de duas paradas consecutivas e a distribuição da demanda para cada área de influência será uniforme. Então, depois da eliminação da parada i , $T_{(i-1),j}$ (número de passageiros por viagem da parada $(i-1)$ a parada j) cresce, por:

$$T_{ij} \frac{D_1}{D_1 + D_2} = T_{ij} \frac{d_i^+}{d_i^+ + d_i^-}$$

e $T_{(i+1),j}$ cresce, por:

$$T_{ij} \frac{D_2}{D_1 + D_2} = T_{ij} \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

O mesmo processo é usado para obter T_{ji} .

O processo será repetido para o novo sistema. O programa calcularia o novo T_{ij} e nova d_i^+ , d_i^- e, assim por diante. Em cada eliminação de uma parada tem-se:

1) Tempo de caminhada:

Os passageiros na fração de $d_i^+ / (d_i^+ + d_i^-)$ têm uma distância média de $1/4 d_i^+$ e na fração $d_i^- / (d_i^+ + d_i^-)$ uma média de $1/4 d_i^-$. O tempo médio total de caminhada será:

$$W_i = \frac{1}{v} \left[\frac{1}{4} d_i^+ \frac{d_i^+}{d_i^+ + d_i^-} + \frac{1}{4} d_i^- \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \right]$$

$$= \frac{1}{4v} \frac{(d_i^+)^2 + (d_i^-)^2}{(d_i^+ + d_i^-)}$$

O tempo da caminhada na parada j , no final do deslocamento será semelhante (W_j).

(ii) Tempo de espera:

O tempo de ciclo do ônibus c será o tempo do ciclo anterior menos d , tempo da demora, ou seja: ($C = C_{ant} - d$) e, conseqüentemente, a média do tempo de espera x , será:

$$X_{nova} = X_{anterior} \left(\frac{C_{ant} - d}{C_{ant}} \right)$$

(iii) Tempo de deslocamento:

O novo tempo de deslocamento Y_{ij} , será igual ao tempo de deslocamento anterior, se a parada eliminada não estiver entre as paradas i e j ; será igual ao tempo de deslocamento anterior menos o tempo da demora " d ", se a parada eliminada estiver entre as paradas i e j .

O programa, em cada eliminação da parada, calcula o tempo total da viagem que será igual a:

$$TTT = \sum_i \sum_j T_{ij} (W_i + W_j + x + Y_{ij})$$

No final, pode-se escolher o número ótimo da parada, o qual depende do tempo mínimo total da viagem.

V.4.4. Modelo de Mudança de Linha

Mudança de linha requer um modelo mais complexo. Para mostrar isso, volta-se ao primeiro modelo simples: cidade circular, distribuição da população uniforme com linhas radiais e todas as viagens, do/ou para o centro. Para este modelo, o número ótimo de rotas radiais pode ser calculado. Porém, quando o raio da cidade é grande, as linhas radiais não são suficientes para as pessoas que moram em torno da circunferência, e, assim, algumas linhas circulares seriam necessárias. A decisão sobre o número das linhas radiais e circulares e suas posições não será fácil. Por exemplo: para um passageiro no ponto X (figura V.6a) existem quatro opções iniciais XR, XP, XT, XV. De P e T pode-se pegar um ônibus para o centro. Mas, enquanto que de R, tem que se ir a S ou Q e de V a W ou U. Do ponto R e V, o passageiro pode pegar um ônibus ou ir a pé. Para a primeira opção terá dois tempos de espera. De qualquer maneira, para este modelo é possível definir a área de influência (catchment area) para cada linha (figura V.6.b) e admitir que as pessoas em cada área de influência irão utilizar uma linha particular. Isto, pode ser aplicado sobre toda a área da cidade, e o tempo total da viagem pode ser calculado para quaisquer das linhas radiais e circulares. Considerando, no princípio, o arranjo ótimo poderá ser obtido por um tipo de "processo de procura". Porém este arranjo só será considerado a ótimo para uma espécie particular da linha. Muito embora outro arranjo de linha também seja possível, como pode ser visto dos exemplos na figura V.7.

Para uma cidade real com distribuição da população não uniforme, onde também não são todas as viagens contrárias ou para o centro, e com ruas fixadas, a otimização não será fácil e é deixada para o futuro.

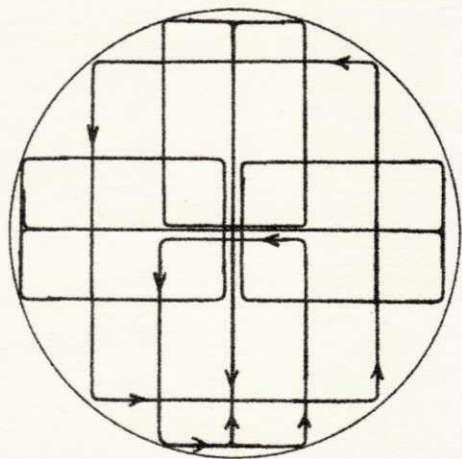
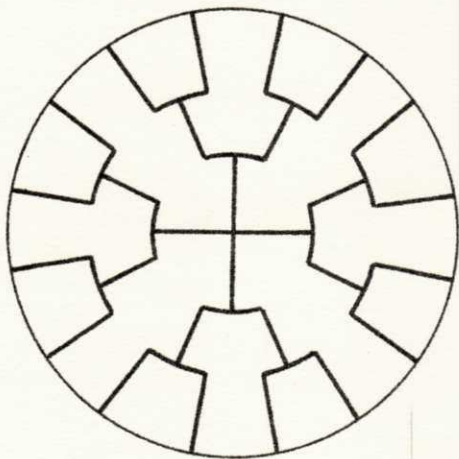
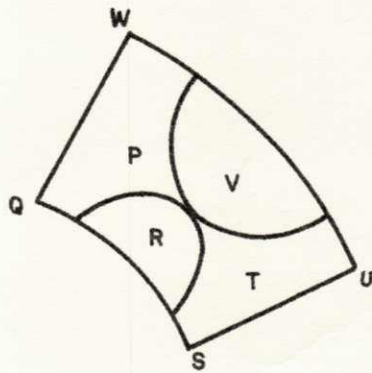
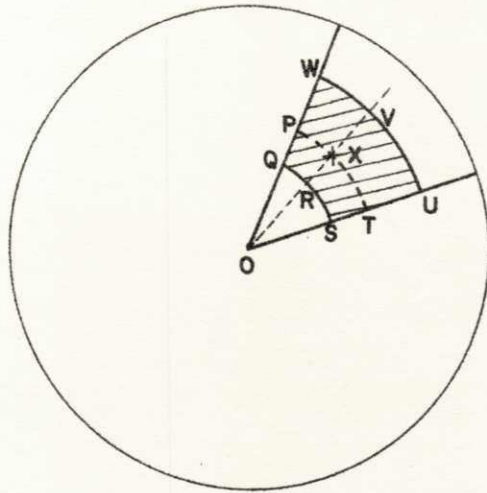
V.5. Sumário

No primeiro modelo, considerou-se uma cidade circular com todas as viagens, do/ou para o centro. Uma de concentração de população na circunferência e outra, com distribuição uniforme de pessoas na cidade. A tentativa, consistiu

Figura V.6a. Cidade Circular, Distribuição da População Uniforme com Linhas Radiais e Circulares. (Modelo de mudança de linha)

Figura V.6b. Área de Influência Imaginária da Zona Ha chureada na Figura V.6a.

Figura V.7. Dois Arranjos Imaginários das Linhas para Cidade Circular.



tia em procurar-se o número ótimo de linhas radiais. No segundo modelo, foram consideradas as linhas e paradas fixas. Primeiramente, considerou-se o tempo total da viagem minimizado, sujeito ao número de ônibus no sistema, sendo constante e, em segundo lugar, com a mesma restrição, o congestionamento no ônibus. Este modelo foi aplicado aos dados coletados na cidade de Campina Grande. Apresentaram-se aqui, algumas discussões gráficas e composições entre os dois submodelos.

No terceiro modelo, a linha era fixa e a parada variável. Neste tempo total da viagem foi minimizado, com relação ao arranjo das paradas dos ônibus somente para uma linha. Um exemplo foi apresentado para casos simples, de quando as paradas são uniformemente distribuídas na linha. Para um caso mais realístico, o perfil de um programa de computador é oferecido. O modelo de mudança da linha foi deixado para uma pesquisa futura.

C A P Í T U L O VI

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

VI.1. Introdução

Esse capítulo tem a finalidade de ilustrar o uso dos dados, obtidos com saída dos programas desenvolvidos durante esta investigação. Desde que, os dados produzidos são de natureza repetitiva e, em grande quantidade, escolheu-se alguns exemplos apenas como ilustração. O conjunto completo dos dados encontra-se-á na biblioteca do CCT sob o título "Dados Obtidos e Programas Desenvolvidos para um Estudo de Transporte Público na Cidade de Campina Grande", e, desta maneira, estará à disposição para investigações e estudos futuros.

Os exemplos estão divididos em subcapítulos como se segue:

VI.2. Exemplo de saída do programa 1.a

VI.3. Aplicação do modelo de "Otimização do Tempo Total de Viagem" com os dados obtidos pelo programa 1.a e 1.b.

VI.4. Aplicação do modelo de "Igualdade de Congestionamento" com os dados obtidos pelo programa 1.a.

VI.5. Resultados do programa 3.

VI.2. Exemplo dos Resultados do Programa 1.a.

Apresenta-se um exemplo das estatísticas fornecidas pelo programa 1.a., dando, desta forma, idéia sobre seu formato de saída. Os resultados fornecidos por esse programa, são usados como entrada para o modelo "Otimização do Tempo Total de Viagem".

O resultado do processamento da linha 18 foi escolhido como exemplo, o qual é mostrado na tabela VI.2.

Chave da Tabela VI.2:

NL	Número da linha
TD	Tipo do dia, normal (0) e, fei <u>ra</u> (1)
PE	Período da viagem, 6 às 7 h (1), 7 às 11 h (2), 11 às 15 h (3) e 15 às 20 h (4)
NO.PAR	Número da pessoa que pegou <u>ôni</u> bus em cada período
MED PNO	Média do número de passageiros em cada período
I MIN	Número mínimo de passageiros no <u>ôni</u> bus durante o período
NA MIN	Parada, na qual existe o núme <u>ro</u> mínimo de passageiros no <u>ôni</u> bus
I MAX	Número máximo de passageiros no <u>ôni</u> bus durante o período
NA MAX	Parada, na qual existe o núme <u>ro</u> máximo de passageiros no <u>ôni</u> bus.

LN	TD	PE	NO. PAR	NO. PSB	MED PNO	I MIN	NA MIN	I MAX	NA MAX
18	0	1	19	65	15	8	19	41	7
18	0	2	223	536	74	1	130	129	223
18	0	3	93	281	37	5	57	97	31
18	0	4	248	601	35	1	127	94	248
18	1	1	70	70	15	3	56	41	17
18	1	2	204	276	32	2	12	72	173
18	1	3	65	181	38	12	58	76	62
18	1	4	214	378	39	0	186	96	152

TABELA VI.2. Exemplo do Formato de Saída do Programa 1.a.

VI.3. Aplicação do Modelo de "Otimização do Tempo Total de Viagem".

As saídas dos programas 1.a e 1.b (veja Apêndice D e E) são usadas para obter o número ótimo de ônibus, levando em consideração o tempo total de viagem.

As tabelas VI.3.1 até VI.3.5 mostram a aplicação deste modelo para diferentes períodos. A coluna 3 de cada tabela, representa a saída do programa 1.a e a coluna 5 representa o resultado do programa 1.b. A coluna 10 mostra a distribuição ótima de ônibus por linha.

A aplicação deste modelo, inclui a economia do tempo total da viagem até 8.31% para o período de tempo considerado nesta pesquisa.

Nº da linha	N_r atual	K_r	$T_r = N_r K_r$	t_r	$b_r = T_r t_r$	$\frac{1}{2} b_r$	Ótimo $N_r = \frac{1}{2} \frac{N \cdot b_r}{\sum b_r}$	1ª estimativa	2ª estimativa	b_r/N_r atual	b_r/N_r novo
1	5	340	1700	59	100300	316	3,79	4	4	20060	25075
3	1	363	363	50	18150	135	1,62	2	2	18150	9075
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2	604	1208	38	45904	214	2,57	3	3	22952	15301
6	4	559	2236	65	145340	381	4,57	5	5	36335	29068
7	5	150	750	100	75000	273	3,28	3	3	15000	25000
8	2	121	242	112	27104	165	1,98	2	2	13552	13552
9	2	236	472	49	23128	152	1,83	2	2	11564	11564
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2	423	846	38	32148	179	2,15	2	2	16074	16074
13	1	272	272	41	11152	106	1,27	1	1	11152	11152
14	3	358	1074	40	42960	207	2,49	2	2	14320	21480
16	1	400	400	31	12400	111	1,33	1	1	12400	12400
17	2	469	938	64	60032	245	2,94	3	3	30016	20010
18	2	281	562	46	25852	161	1,93	2	2	12926	12926
19	1	401	401	43	17243	131	1,57	2	1	17243	17243
20	1	346	346	40	13840	118	1,42	1	1	13840	13840
21	3	263	789	34	26826	164	1,97	2	2	8942	13413
22	1	284	284	74	21016	145	1,74	2	2	21016	10508
23	2	618	618	33	20394	143	1,72	2	2	10197	10197
24	2	958	958	37	35446	188	2,26	2	2	17723	17723
25	2	436	436	40	17440	132	1,58	2	2	8720	8720
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	44					3666		45	44	332182	314321
Percentagem da economia do tempo total = $\frac{332182 - 314321}{332182} \times 100 = 5,38\%$											

TABELA VI.3.1.(Dia normal, Período de 11 as 15h).

Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito à mínimo

TTT (TTT como uma função contínua)

Nº da linha	N_r atual	K_r	$T_r = N_r N_r$	t_r	$b_r = T_r t_r$	$\frac{1}{2} b_r$	Otimo. $N_r = \frac{1}{2} \frac{N_r \cdot b_r}{\sum b_r}$	1ª estimativa	2ª estimativa	b_r/N_r atual	b_r/N_r novo
1	5	428	2140	59	126260	355	3,94	4	4	25252	31565
3	1	333	333	50	16650	129	1,43	1	1	16650	16650
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2	559	1118	38	42484	206	2,28	2	2	21242	21242
6	4	572	2288	65	148720	386	4,28	4	4	37180	37180
7	5	147	735	109	73500	271	3,01	3	3	14700	24500
8	2	171	342	112	38304	196	2,18	2	2	19152	19152
9	2	387	774	49	37926	195	2,16	2	2	18963	18963
10	2	411	822	39	32058	179	1,99	2	2	16029	16029
11	1	169	169	30	5070	71	0,79	1	1	5070	5070
12	2	282	564	38	21432	146	1,62	2	2	10716	10716
13	1	417	417	41	17097	131	1,45	1	1	17097	17097
14	3	625	1875	40	75000	274	3,04	3	3	25000	25000
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	2	322	644	64	41216	203	2,25	2	2	20608	20608
18	2	601	1202	46	55292	235	2,61	3	3	27646	18431
19	1	558	558	43	23994	155	1,72	2	2	23994	11997
20	1	275	275	40	11000	105	1,17	1	1	11000	11000
21	3	484	1452	34	49368	222	2,46	2	3	16456	16456
22	1	468	468	74	34632	186	2,06	2	2	34632	17316
23	2	558	1116	33	36828	192	2,13	2	2	18414	18414
24	2	308	616	37	22792	151	1,68	2	2	11396	11396
25	2	342	684	40	27360	165	1,83	2	2	13680	13680
26	1	164	164	57	9348	97	1,08	1	1	9348	9348
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47						4250		46	47	414225	391810
Percentagem da economia do tempo total = $\frac{414225 - 391810}{414225} \times 100 = 5,41\%$											

TABELA VI.3.2.(Dia normal, período de 15 as 20h).

Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito à mínimo TTT (TTT como uma função continua).

Nº da linha	N_r atual	K_r	$T_r = N_r K_r$	t_r	$b_r = T_r t_r$	$\frac{1}{2} b_r$	Ótimo $N_r = \frac{1}{2} \frac{b_r}{\sum b_r}$	1ª estimativa	2ª estimativa	b_r/N_r atual	b_r/N_r novo
1	5	372	1860	50	93000	305	3,84	4	4	18600	23250
3	1	182	182	50	9100	95	1,19	1	1	9100	9100
4	2	547	1094	44	48136	219	2,75	3	3	24068	16045
5	2	579	1158	42	48636	221	2,77	3	3	24318	16212
6	4	442	1768	67	118456	344	4,33	4	4	29614	29614
7	5	160	800	100	80000	283	3,56	4	4	16000	20000
8	2	111	222	105	23310	153	1,92	2	2	11655	11655
9	2	219	438	48	21024	145	1,83	2	2	10512	10512
10	2	390	780	35	27300	165	2,07	2	2	13650	13650
11	1	192	192	35	6720	82	1,03	1	1	6720	6720
12	2	441	882	38	33516	183	2,30	2	2	16758	16758
13	1	368	368	30	11040	105	1,32	1	1	11040	11040
14	3	476	1418	39	55302	235	2,96	3	3	18434	18434
16	1	237	237	31	7347	86	1,08	1	1	7347	7347
17	2	596	1192	48	57216	239	3,01	3	3	28608	19072
18	2	276	552	41	22632	150	1,89	2	2	11316	11316
19	1	229	229	44	10076	100	1,26	1	1	10076	10076
20	1	232	232	39	9048	95	1,19	1	1	9048	9048
21	3	176	528	36	19008	138	1,73	2	2	6336	9504
22	1	133	133	63	8379	92	1,13	1	1	8379	8379
23	2	443	886	25	22150	149	1,88	2	2	11075	11075
24	2	505	1010	24	24240	156	1,96	2	2	12120	12120
25	2	160	320	42	13440	116	1,45	1	2	6710	6720
26	1	137	137	68	9316	97	1,22	1	1	9316	9316
27	1	137	137	74	10138	101	1,27	1	1	10138	10138
51						4054		50	51	340948	327101
Percentagem da economia do tempo total = $\frac{340948 - 327101}{340948} \times 100 = 4,06\%$											

TABELA VI.33. (Dia de feira, período de 7 as 11h).

Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito à mínimo TTT (TTT como uma função contínua).

Nº da linha	N_r atual	K_r	$T_r = N_r N_r$	t_r	$b_r = T_r t_r$	$b_r^{1/2}$	Ótimo $N_r = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{b_r}{K_r}}$	1ª estimativa	2ª estimativa	b_r/N_r atual	b_r/N_r novo
1	5	182	910	50	45500	213	2,63	3	3	9100	15167
3	1	412	412	50	20600	144	1,77	2	2	20600	10300
4	2	381	762	44	33528	183	2,26	2	2	16764	16764
5	2	505	1010	42	42420	206	2,54	3	3	21210	14140
6	4	360	1440	67	96480	311	3,84	4	4	24120	24120
7	5	107	535	100	53500	231	2,85	3	3	10700	17833
8	2	133	266	105	27930	167	2,06	2	2	13965	13965
9	2	179	358	48	17184	131	1,62	2	2	8592	8592
10	2	303	606	35	21210	146	1,80	2	2	10605	10605
11	1	274	274	35	9590	98	1,21	1	1	9590	9590
12	2	457	914	38	34732	186	2,30	2	2	17366	17366
13	1	460	460	30	13800	118	1,45	1	1	13800	13800
14	3	394	1182	39	46098	215	2,65	3	3	15366	15366
16	1	237	237	31	7347	86	1,06	1	1	7347	7347
17	2	682	1364	48	65472	256	3,16	3	3	32736	21824
18	2	181	262	41	10742	104	1,29	1	1	5371	10742
19	1	388	388	44	17072	131	1,62	2	2	17072	8536
20	1	392	392	39	15288	124	1,53	2	2	15288	15288
21	3	528	1584	36	57024	239	2,95	3	3	19008	19008
22	1	407	407	63	25641	160	1,97	2	2	25641	12820
23	2	636	1272	25	31800	178	2,19	2	2	15900	15900
24	2	453	906	24	21744	148	1,83	2	2	10872	10872
25	2	308	616	42	25872	161	1,98	2	2	12936	12936
26	1	176	176	68	11968	109	1,35	1	1	11968	11968
27	1	109	109	74	8066	90	1,11	1	1	8066	8066
51						4135		52	51	373983	342916
Percentagem da economia do tempo total = $\frac{373983 - 342916}{373983} \times 100 = 8,31\%$											

TABELA VI.3.4. (Dia de feira, período de 11 as 15h).

Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito à mínimo TTT (TTT como uma função contínua).

Nº da linha	N_r atual	K_r	$T_r = N_r K_r$	t_r	$b_r = T_r t_r$	$\frac{1}{2} b_r$	$\text{Ótimo } N_r = \frac{1}{2} \frac{b_r}{\sum_r b_r}$	1ª estimação	2ª estimação	b_r / N_r atual	b_r / N_r novo
1	5	404	2020	50	10100	318	3,56	4	4	20200	25250
3	1	590	590	50	26500	172	1,93	2	2	29500	14750
4	2	401	802	44	35288	188	2,11	2	2	17644	17644
5	2	614	1228	42	51576	227	2,54	3	2	25788	25788
6	4	404	1616	67	108272	329	3,68	4	4	27068	27068
7	5	217	1085	100	108500	329	3,68	4	4	21700	27125
8	2	116	232	105	24360	156	1,75	2	2	12180	12180
9	2	295	590	48	28320	168	1,88	2	2	14160	14160
10	2	413	826	35	28910	170	1,90	2	2	14455	14455
11	1	187	187	35	6545	81	0,91	1	1	6545	6545
12	2	484	968	38	36784	192	2,15	2	2	18392	18392
13	1	414	414	30	12420	112	1,25	1	1	12420	12420
14	3	708	2124	39	82836	288	3,23	3	3	27612	27612
16	1	432	432	31	13392	116	1,30	1	1	13392	13392
17	2	500	1000	48	48000	219	2,45	2	2	24000	24000
18	2	378	756	41	30996	176	1,97	2	2	15498	15498
19	1	528	528	44	23232	152	1,70	2	2	23232	11616
20	1	403	403	39	15717	125	1,40	1	1	15717	15717
21	3	401	1203	36	43308	208	2,33	2	2	14436	21654
22	1	416	416	63	26208	162	1,81	2	2	26208	13104
23	2	578	1156	25	28900	170	1,90	2	2	14450	14450
24	2	466	932	24	22368	150	1,68	2	2	11184	11184
25	2	321	642	42	26964	164	1,84	2	2	13482	13482
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	1	128	128	74	9472	97	1,09	1	1	9472	9472
50								51	50	428735	406958
Percentagem da economia do tempo total = $\frac{428735 - 406953}{428730} \times 100 = 5,08\%$											

TABELA VI.3.5. (Dia de feira, período de 15 as 20h).

Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito à mínimo TTT (TTT como uma função contínua)

VI.4. Aplicação do Modelo de "Igualdade de Congestionamento"

A saída do programa 1.a (veja Apêndice D) é usada para obter o número ótimo de ônibus com referência à "igualdade de congestionamento".

As tabelas mostradas na próximas páginas, são exemplos de otimização de aplicações deste modelo. A coluna 3 de cada tabela, representa a saída do programa 1.a, enquanto a coluna 7, representa o resultado obtido pela aplicação do modelo matemático, descrito no capítulo 5.

Um exame dos resultados apresentados nas tabelas VI.4.1 até VI.4.5 mostram que, a aplicação do modelo resulta até um aumento de conforto (razão de (M_r/N_r) mínimo a (M_r/N_r) máximo) até 85% no período de 11 às 15 h e dia normal. Então o modelo é válido, para período de diferentes intervalos de tempo selecionados neste estudo.

Nº da linha	N_r atual	$(AVE) = \frac{M_r}{N_r \text{ atual}}$	$M_r = (AVE) \cdot N_r$	$\frac{M_r \cdot N}{N_r - \sum M_r}$	1ª estimativa	2ª estimativa	M_r/N_r novo
1	5	35	175	5,54	6	5	35
3	1	37	37	1,17	1	1	37
4	-	-	-	-	-	-	-
5	2	26	52	1,65	2	2	26
6	4	35	140	4,43	4	4	35
7	5	30	150	4,75	5	5	30
8	2	10	20	0,63	1	1	20
9	2	23	46	1,46	1	1	46
10	2	-	-	-	-	-	-
11	1	-	-	-	-	-	-
12	2	32	66	2,02	2	2	32
13	1	17	17	0,54	1	1	17
14	3	35	105	3,33	3	3	35
16	1	18	18	0,57	1	1	18
17	2	30	60	1,90	2	2	30
18	2	37	74	2,34	2	2	37
19	1	40	40	1,27	1	1	40
20	1	27	27	0,86	1	1	27
21	3	50	150	4,75	5	5	30
22	1	30	30	0,95	1	1	30
23	2	37	74	2,34	2	2	37
24	2	25	50	1,58	2	2	25
25	2	30	60	1,90	2	2	30
26	1	-	-	-	-	-	-
27	1	-	-	-	-	-	-
44			1389		45		

	Atual	Novo
$(M_r/N_r)_{\text{Max}}$	$\frac{50}{10} = 5$	$\frac{46}{17} = 2,71$
$(M_r/N_r)_{\text{Min.}}$		
Conforto.	0,20	0,37

TABELA VI.4.1. (Dia normal, período de 11 às 15 h)
Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito a igualdade de congestionamento no ônibus.

Nº da linha	N_r atual	M_r $(AVE) = N_r \text{ atual}$	$M_r = (AVE) \cdot N_r$	$N_r = \frac{M_r}{\sum M_r} \cdot N$	1ª estimativa	2ª estimativa	M_r/N_r novo
1	5	32	160	4.48	4	5	32
3	1	20	20	0.55	1	1	20
4	-	-	-	-	-	-	-
5	2	20	40	1.12	1	1	40
6	4	33	132	3.70	4	4	33
7	5	31	155	4.34	4	4	39
8	2	14	28	0.78	1	1	28
9	2	25	50	1.40	1	1	50
10	2	60	120	3.36	3	3	40
11	1	29	24	0.81	1	1	29
12	2	30	60	1.68	2	2	30
13	1	15	15	0.42	1	1	15
14	3	40	120	3.36	3	3	40
16	-	-	-	-	-	-	-
17	2	42	84	2.35	2	2	42
18	2	35	70	1.96	2	2	35
19	1	40	40	1.12	1	1	40
20	1	48	48	1.34	1	1	48
21	3	51	153	4.28	4	4	38
22	1	54	54	1.51	2	2	27
23	2	40	80	2.24	2	2	40
24	2	40	80	2.24	2	2	40
25	2	60	120	3.36	3	3	40
26	1	22	22	0.62	1	1	22
27	-	-	-	-	-	-	-
	47		1680		46	47	

	Atual	Novo
$\frac{(M_r/N_r)_{\text{Max.}}}{(M_r/N_r)_{\text{Min.}}}$	$\frac{60}{14} = 4,29$	$\frac{50}{15} = 3,33$
Conforto	0.23	0.30

TABELA VI.4.2. (Dia normal, período de 15 às 20 h)
Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito a igualdade de congestionamento no ônibus.

Nº da linha	N_r atual	$(AVE) = \frac{M_r}{N_r \text{ atual}}$	$M_r = (AVE) \cdot N_r$	$N_r = \frac{M_r \cdot N}{\sum M_r}$	1ª estimativa	2ª estimativa	M_r/N_r novo
1	5	29	145	4,60	5	5	29
3	1	40	40	1,27	1	1	40
4	2	32	64	2,03	2	2	32
5	2	38	76	2,41	2	2	38
6	4	67	268	8,50	8	9	30
7	5	28	140	4,44	4	4	35
8	2	10	20	0,63	1	1	20
9	2	22	44	1,39	1	1	44
10	2	32	64	2,02	2	2	32
11	1	25	25	0,79	1	1	25
12	2	18	36	1,14	1	1	36
13	1	25	25	0,79	1	1	25
15	3	35	105	3,33	3	3	35
16	1	12	12	0,38	1	1	12
17	2	44	88	2,79	3	3	29
18	2	30	60	1,90	2	2	30
19	1	36	36	1,14	1	1	36
20	1	14	14	0,44	1	1	14
21	3	47	141	4,46	4	4	35
22	1	25	25	0,79	1	1	25
23	2	20	40	1,27	1	1	40
24	2	23	46	1,46	1	1	46
25	2	20	40	1,27	1	1	40
26	1	25	25	0,79	1	1	25
27	1	31	31	0,98	1	1	31
51			1610		50	51	

	Atual	Novo
$\frac{(M_r/N_r)_{\text{Max.}}}{(M_r/N_r)_{\text{Min.}}}$	$\frac{67}{10} = 6,70$	$\frac{46}{12} = 3,83$
Conforto	0,15	0,26

TABELA VI.4. (Dia de feira, período de 7 às 11 h)
Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito a igualdade de congestionamento no ônibus.

Nº da linha	N_r atual	$\frac{M_r}{N_r \text{ atual}}$ (AVE)	$M_r = (AVE) \cdot N_r$	$N_r = \frac{M_r}{\sum M_r} \cdot N$	1ª estimativa	2ª estimativa	M_r/N_r novo
1	5	33	165	4,74	5	5	33
3	1	33	33	0,94	1	1	33
4	2	31	62	1,78	2	2	31
5	2	27	54	1,55	2	1	54
6	4	38	152	4,35	4	4	38
7	5	57	285	8,16	8	8	36
8	2	8	16	0,46	1	1	16
9	2	24	48	1,38	1	1	48
10	2	53	106	3,04	3	3	35
11	1	30	30	0,86	1	1	30
12	2	25	50	1,43	1	1	50
13	1	19	19	0,54	1	1	19
14	3	35	105	3,01	3	3	35
16	1	12	12	0,34	1	1	12
17	2	30	60	1,72	2	2	30
18	2	29	58	1,66	2	1	58
19	1	32	32	0,92	1	1	32
20	1	31	31	0,89	1	1	31
21	3	62	186	5,33	5	5	37
22	1	24	24	0,69	1	1	24
23	2	40	80	2,30	2	2	40
24	2	20	40	1,14	1	1	40
25	2	35	70	2,01	2	2	35
26	1	19	19	0,55	1	1	19
27	1	43	43	1,23	1	1	43
51			1780		53	51	

	Atual	Novo
$\frac{(M_r/N_r)_{\text{Max}}}{(M_r/N_r)_{\text{Min}}}$	$\frac{62}{8} = 7,75$	$\frac{58}{12} = 4,83$
Conforto	0,13	0,28

TABELA VI.4.4. (Dia de feira, Período de 11 às 15 h)
Distribuição ótima do número de ônibus por linha com respeito à igualdade de congestionamento no ônibus.

Nº da linha	N _r atual	$\frac{M_r}{N_r \text{ atual}}$ (AVE) = $\frac{M_r}{N_r \text{ atual}}$	$M_r = (AVE) \cdot N_r$	$N_r = \frac{M_r}{\sum M_r} \cdot N$	1ª estimativa	2ª estimativa	M_r/N_r novo
1	5	43	215	5,42	5	5	43
3	1	18	18	0,45	1	1	18
4	2	22	44	1,11	1	1	44
5	2	45	90	2,27	2	2	45
6	4	34	136	3,43	3	3	45
7	5	56	280	7,06	7	7	40
8	2	14	28	0,71	1	1	28
9	2	25	50	1,26	1	1	50
10	2	53	106	2,67	3	3	35
11	1	23	23	0,58	1	1	23
12	2	27	54	1,36	1	1	54
13	1	21	21	0,53	1	1	21
14	3	40	120	3,02	3	3	40
16	1	25	25	0,63	1	1	25
17	2	35	70	1,76	2	2	35
18	2	30	60	1,51	2	1	60
19	1	45	45	1,14	1	1	45
20	1	46	46	1,16	1	1	46
21	3	55	165	4,16	4	4	41
22	1	50	50	1,26	1	1	50
23	2	57	114	2,88	3	3	38
24	2	38	76	1,91	2	2	38
25	2	55	110	2,77	3	3	37
26	-	-	-	-	-	-	-
27	1	36	36	0,91	1	1	36
50		1982			51	50	

	Atual	Novo
$\frac{(M_r/N_r) \text{ Max}}{(M_r/N_r) \text{ Min}}$	$\frac{57}{14} = 4,07$	$\frac{60}{18} = 3,33$
Conforto	0,25	0,30

TABELA VI.4.5. (Dia de feira, Período de 15 às 20 h)
Distribuição ótima do número de ônibus ppr linha com
respeito a igualdade de congestionamento no ônibus.

VI.5. Resultados do Programa 3.

O programa 3 produz as seguintes estatísticas:

1. Matriz do movimento de uma zona para outra por linha em cada dia, dando, ao final, o somatório do número de viagens originadas e destinadas para cada zona. Como exemplo tem-se na tabela VI.5.1 resultado referente à linha 25.

2. Matriz do movimento de uma parada para outra em cada linha. Tabela VI.5.2 mostra como exemplo a relação deste movimento entre paradas da linha 24.

3. Matriz do movimento entre as zonas em um dia normal e um dia de feira, considerando todo o sistema, (Tabela VI.5.3a e VI.5.3b).

4. Matriz da idade dos passageiros para linha e, para todas as linhas, tabelas VI.5.4a e VI.5.4b.

5. Matriz do movimento da viagem em cada linha, e, para todas as linhas tabelas VI.5.5a e VI.5.5b.

Os resultados obtidos acima, poderão ser usados no futuro, como continuação da pesquisa, especialmente no modelo de mudança da linha.

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Oi*
1	210	0	0	0	0	0	0	0	162	25	0	0	397
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88
10	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dj**	323	0	0	0	0	0	0	0	162	25	0	0	510

TABELA VI.5.1. Exemplo da Matriz do Movimento de Passageiros de uma Zona para outra (Linha 25, Dia Normal).

* Oi Somatório do número de viagens originadas de cada zona.

** Dj Somatório do número de viagens destinadas para cada zona.

Parada	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	O _i *
0	0	23	17	14	61	55	29	49	80	45	44	30	59	71	29	22	20	15	7	16	5	1	6	0	0	698
1	0	0	1	1	1	0	0	2	5	3	0	0	2	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	22
2	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	3	14
3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8
4	0	0	0	0	1	1	0	2	0	1	1	0	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	12
5	0	0	0	0	0	0	3	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	7	3	21
6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	7
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	6	5	5	22
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	2	2	1	17	12	39
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	5	4	2	16
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	6	0	4	0	0	1	2	1	13	7	1	40
11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	2	2	1	1	0	5	24	13	52
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	5	18	4	32
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	3	4	2	12	60	18	105
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	2	1	0	6	11	6	31
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	6	19	3	33
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	15	67	10	98
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	15	32	5	54
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	28	47	3	80
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	19	2	42
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	7	16	1	30
21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	6	5	15
22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	7
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

D_j** 0 25 20 15 65 58 33 55 89 55 52 35 73 78 59 22 28 18 13 29 27 6 16 3 36 3 98

TABELA VI.5.2. Exemplo da Matriz do Movimento de Passageiros de uma Parada para outra (Linha 24, Dia de Feira).

* O_i Somatório do número de viagens originadas de cada parada.

** D_j Somatório do número de viagens destinadas de cada parada.

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Oi*
1	2610	696	632	1496	1223	27	1713	1538	314	1857	247	116	12469
2	930	445	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	1388
3	431	0	179	29	0	138	0	0	0	0	0	0	777
4	957	67	33	376	130	0	118	0	0	0	0	19	1700
5	852	0	0	41	234	0	750	10	0	609	0	128	2624
6	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	46
7	1199	0	0	303	299	0	607	0	0	0	0	92	2500
8	1642	0	0	0	0	0	0	121	0	0	0	0	1763
9	178	0	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	253
10	1425	0	0	0	139	0	0	27	0	155	44	0	1790
11	164	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	235
12	96	0	0	48	36	0	19	0	0	0	0	2	201
Dj**	10484	1281	844	2293	2061	211	3207	1696	389	2621	304	357	25746

TABELA VI.5.3a. Matriz do Movimento dos Passageiros de uma Zona para outra em todas as Linhas (Dia Normal).

* Oi Somatório do número de viagens originadas de cada zona.

** Dj Somatório do número de viagens destinadas para cada zona.

APÉNDICE B

Exemplo de Codificação e Armazenamento
de Dados Tipo (0)

0001601102019400001	11000101	02000201	01000301	00000401	0100145
01016011020 0502	01000602195000020702	00010802	01000902	0103146	
02016011020 1002195300011102	00001202	00001302195500041402	0000147		
03016011020 1502	01001602	00021702	01001802	04001902	0000148
04016011020 2002	03002102	00002202	00052302	00072401	0000149
05016011020 2501	00002601	0002270120000000			150
0001601102020150001	1000010120200000201	00000301	00000401	0000151	
01016011020 0502202302010602	03020702202500010802	03000902	0101152		
02016011020 1002	01001102	00031202	01011302	00031402	0000153
03016011020 1502203000011602	00011702	00001802203501011902	0000154		
04016011020 2002	01002102	00002202	0000230220400007240120450001155		
05016011020 2501	00002601	00002701	0000		156
0001700203406000001060503000101	02000208	03000308	00000408	0400001	
01017002034 0508	04000608	03050708	01000808	03000910	0800002
02017002034 1010	01001110	02101210	01001310	02001410	0100003
03017002034 1510061001011610	00051710	02001810	10001910	0900004	
04017002034 2010061501012110	01122210061701012310		02002410	6000005	
05017002034 2510	00002610	00052710	00002810	0000291006230002006	
06017002034 3010	00003110	00043210	00003310	00003410	0000007
07017002034 3510063700013610063800003708063900013808			001739080641	008	
0001700203406410001065016000101	02000208	01000308	0200040806590101009		

APÉNDICE C

Exemplo de Codificação e Armazenamento
de Dados Tipo (1)

10122011020000109107260001091071700010910728000110107160001111072200011210718
10122 1 000112107180001131074400011310722000114107220610171022208101710319
10122 1 000118107300001181022200011810726000121112310001211122907102111732
10122 1 051023113390001231172500012411225000124117190001241171729113702715
10122 1 321143027283802440273134024502722331145027163311460274033114502739
10122 1 331145027273211450271922114602731321146027333211480273037024902319
10122 1 370249027223702490272523114902219380252013353211520172828115401731
10122 1 430254013304902540133033115401726380254013273802540172834025401725
10122 1 340254017275102540123132115401739321154017283211540173932115401740
10122 1 321154017383211540172932115401728440255013554102550178040025501340
10122 1 261155017642811550172132115501722321155017443311550172133115501328
10122 1 380256017644202560132538025601723
11122011020000106107300001061072800010710727000107107280001071072100011210728
11122 1 000112107280001131072600011410328101015103250001151022600011510220
11122 1 000115207270001151072200011510718000115107140001151072700011510730
11122 1 000119107260001241173016102511720420247027403211470272933114802330
11122 1 331148023282111500274430115002743380250027453502520173944025201740
11122 1 331152012473311520173929115401725321154013153211540172735025401415
11122 1 400254013180001540132242025401330450254013194502540131143025401326
11122 1 4302540132233115401717331154013393311540131314

APÉNDICE D

Programa 1.a Desenvolvido para calcular o número de paradas pelas quais o ôni bus passou e número de pessoal que su biu no ônibus, e também o número máximo e mínimo de passageiros no ônibus e as respectivas paradas.

```

        DIMENSION NPS(5),NPD(5),NZ(5)
        DO 500 K=1,5
        WRITE(3,1000)
1000  FORMAT('1')
        WRITE(3,50)
        50  FORMAT(55('-'))
        WRITE(3,150)
150  FORMAT(1X,'LN TD PE',2(3X,'NO.'),3X,' MED ',2(6X,'I  NA ') ,/
        *,12X,'PAR',3X,'PSB',3X,' PNO ',3X,2(2X,'MIN'),3X,2(2X,'MAX'))
        WRITE(3,50)
        DO 400 L=1,5
        WRITE(3,250)
250  FORMAT(/)
        DO 400 LL=1,2
        NPSB=0
        DO 400 NP=1,4
        READ(2,100)IA,NPALI
100  FORMAT(2I2)
        IMAX=0
        IMIN=500
        NPSA=0
        NA=0
        NPST=0
        DO 21 J=1,IA
        READ(2,200) LN,LTD,(NZ(I),NPS(I),NPD(I),I=1,5)
200  FORMAT(3X,I2,1X,I1,8X,5(2X,I2,4X,2I2))
        DO 20 I=1,5
        IF(NZ(I))19,20,19
19  NA=NA+1
        NPSA=NPSA+NPS(I)
        NPSB=NPSB+NPS(I)-NPD(I)
        NPST=NPST+NPSB
        IF(NPSB-IMAX)10,12,12
10  IF(NPSB-IMIN)11,20,20
11  IMIN=NPSB
        NAMAX=NA
        GO TO 20

```

```
12  IMAX=NPSR
    NAMIN=NA
20  CONTINUE
21  CONTINUE
    AVER=NPST/NA
    IF(IMIN-500)350,450,350
450  WRITE(3,550)LN,LTD,NP
550  FORMAT(3(1X,I2),4X,'-',5X,'-',6X,'-',8X,'-',4X,'-',7X,'-',4X,'-')
    GO TO 400
350  WRITE(3,650)LN,LTD,NP,NA,NPSA,AVER,IMIN,NAMIN,IMAX,NAMAX
650  FORMAT(3(1X,I2),2(3X,I3),2X,F6.2,3X,2(2X,I3),3X,2(2X,I3))
400  CONTINUE
500  CONTINUE
    CALL EXIT
    END
```


APÉNDICE E

Programa 1.b Desenvolvido para calcular
o tempo médio que um ônibus leva para
fazer o percurso total de uma viagem

```

10 NH=C
   NH1=C
   NH2=0
   NHSD=0
   NHAV=0
   N=-1
20 READ(2,1)NC,L,NH3,NH4,ITEST
   1 FORMAT( I2,1X,I2,6X,2I2,64X,I1)
   IF(ITEST-9)11,12,11
11 IF(ITEST-8)8,7,8
   8 IF(ITEST-7)6,5,6
   6 IF(NC)20,4,20
   4 IF(NH3)3,20,3
   3 N=N+1
   NH3=NH3*60
   NH=NH3+NH4
   NH2=NH1
   NH1=NH
   IF(N)30,20,30
30 NHD=NH1-NH2
   NHSD=NHSD+NHD
   GO TO 20
   5 PAUSE 444
   NHAV=NHSD/N
   WRITE(3,9)L,NHAV
   9 FORMAT(1X,'LINHA',1X,I2,20X,'DIA 1',20X,'MEDIA HORARIA DE UMA VIAG
   *EM - ',F7.1//)
   GO TO 10
   7 PAUSE 333
   NHAV=NHSD/N
   WRITE(3,15)L,NHAV
   15 FORMAT(1X,'LINHA',1X,I2,20X,'DIA 0',20X,'MEDIA HORARIA DE UMA VIAG
   *EM - ',F7.1//)
   GO TO 10
   12 CALL EXIT
   END

```


APÉNDICE G

Programa 2. Desenvolvido para procurar a
distribuição ótima de ônibus nas linhas
depende a mínimo tempo total da viagem

```

INTEGER D
DIMENSION BR(25), R(25), R1(25), LINHA(25)
600 READ(2,350)N,IT,D,PER1,PER2,(LINHA(I),I=1,25),KLM
350 FORMAT(12,A1,I1,2F3.0,25I2,I1)
READ(2,400)(BR(I),I=1,25),( R(J),J=1,25)
400 FORMAT(2(11F7.0/),3F7.0,25F2.0)
IF(IT-20032)450,550,450
450 S1=0.
S2=0.
DO 150 L=1,25
R1(L)=R(L)
150 CONTINUE
5 DO 200 J=1,N
DO 300 I=1,N
X=(R(J)-R(I))*2-0.001
IF(X)300,300,9
9 IF(R(J)-1.001)300,300,10
10 F=BR(I)/ R(I)+BR(J)/ R(J)-BR(I)/( R(I)+1)-BR(J)/( R(J)-1)
11 R(I)= R(I)+1
R(J)= R(J)-1
GO TO 5
300 CONTINUE
200 CONTINUE
WRITE(3,900)
900 FORMAT('1')
WRITE(3,960)
WRITE(3,940)
940 FORMAT(1X,'NO.DA',4X,'RR',12X,'NR',10X,'NR',11X,'RR/NR',12X,'RR/NR
1',1X,'LINHA',16X,'ATUAL',8X,'NOVO',10X,'ATUAL',13X,'NOVO')
WRITE(3,960)
960 FORMAT(1X,72('-',))
DO 50 K=1,N
DIVP=BR(K)/R1(K)
DIVN=BR(K)/R(K)
S1=S1+DIVP
S2=S2+DIVN

```



```

WRITE(3,250)LINHA(K),BR(K),R1(K),R(K),DIVP,DIVN
250 FORMAT(3X,I2,2X,F7.0,2(10X,F2.0),2(10X,F7.0))
50 CONTINUE
PERCE=(S1-S2)/S1*100
WRITE(3,800)S1,S2
800 FORMAT(/,45X,'S1= ',F7.0,6X,'S2= ',F7.0)
WRITE(3,999)PERCE
999 FORMAT(/,1X,'PERCENTAGEM DA ECONOMIA DO TEMPO TOTAL =',F7.2)
IF(D-1)90,91,90
91 WRITE(3,402)KLM,PER1,PER2
402 FORMAT(/,1X,'TABELA I.',I1,' . (DIA DE FEIRA, PERIODO DE ',F5.2,' A
*S ',F5.2,' H )')
GO TO 93
90 WRITE(3,401)KLM,PER1,PER2
401 FORMAT(/,1X,'TABELA I.',I1,' . (DIA NORMAL, PERIODO DE ',F5.2,' AS
* ',F5.2,' H )')
93 WRITE(3,94)
94 FORMAT(14X,'DISTRIBUICAO OTIMA DO NUMERO DE ONIBUS POR LINHA COM',
*/,14X,'RESPEITO A MINIMO TTT (TTT COMO UMA FUNCAO DESCONTINUA)')
GO TO 600
550 CALL EXIT
END

```

APÊNDICE H

Programa 3. Desenvolvido para dado tipo
(1), referente ao movimento de passageiros
de coletivos


```

INTEGER A,R,D,ZS(6),ZE(6),PE(6),PS(6),SOMLP(67),SOMCP(67),SOMLZ(12
1),SOMCZ(12)
DIMENSION MATP(67,67),MATZ(12,12),MASZ1(12,12),MASZ0(12,12),MOTIV(
16),IDADE(6),MAM01(27,8),MAM0C(27,8),MAID1(27,5),MAID0(27,5),NA(67)
2,ICONT(27,7),ISCCO(7)
DO 1 I=1,67
  SOMLP(I)=0
  SOMCP(I)=0
  DC 1 II=1,67
  1 MATP(I,II)=0
  DO 2 I=1,12
    SOMLZ(I)=0
    SOMCZ(I)=0
    DO 2 II=1,12
      MATZ(I,II)=0
      MASZ0(I,II)=0
  2 MASZ1(I,II)=0
  DC 3 I=1,27
  DO 3 II=1,8
    MAM0C(I,II)=0
  3 MAM01(I,II)=0
  DO 4 I=1,27
    DC 4 II=1,5
    MAID1(I,II)=0
  4 MAID0(I,II)=0
  DO 860 II=1,7
    ISCCO(II)=0
  DO 860 I=1,27
    ICONT(I,II)=0
  860 CONTINUE
  SA=0.
  SC=0.
  KAB=0
  READ(2,5)M,N,(NA(I),I=1,67)
  5 FORMAT(12,I1,/40I7,/27I2)
  GO TO 6
  30 PAUSE 8888

```

```

CALL STACK
6 READ(2,7)IT,NP,LI,D,(PE(I),I=1,6),(ZE(J),J=1,6),(PS(K),K=1,6),(ZS(
  JL),L=1,6),(MCTIV(A),A=1,6),(IDADE(B),B=1,6)
7 FORMAT(A1,2I2,1X,I1,T12,5(I2,9X),I2,T14,5(I2,9X),I2,T16,5(I2,9X),I
  12,T18,5(I2,9X),I2,T20,5(I1,10X),I1,T21,5(I2,9X),I2)
  IF(IT+15804)29,30,29
29 IF(IT+16064)8,9,8
  9 MV=NP
  GO TO 6
  8 IF(IT-20032)10,11,10
  11 KAB=1
  GO TO 14
  10 IF(LI-M)14,13,14
  13 IF(D-N)14,15,14
  15 IF(LA)900,150,900
  900 SC=SC+1.
  ICONT(M,7)=ICONT(M,7)+1
  LA=0
  150 DO 16 NN=1,6
  IF(ZE(NN))17,6,17
  17 IF(ZE(NN)-12)501,501,502
  502 JA=1
  ICONT(M,JA)=ICONT(M,JA)+1
  KA=1
  LA=1
  501 IF(ZS(NN)-12)503,503,504
  504 JA=2
  ICONT(M,JA)=ICONT(M,JA)+1
  KA=1
  LA=1
  503 IF(PE(NN)-MM)505,505,506
  506 JA=3
  ICONT(M,JA)=ICONT(M,JA)+1
  KA=1
  LA=1
  505 IF(PS(NN)-MV)507,507,508
  508 JA=4

```

```

        ICONT(M,JA)=ICONT(M,JA)+1
        KA=1
        LA=1
507 IF(MOTIV(NN)-8)509,509,510
510 JA=5
        ICONT(M,JA)=ICONT(M,JA)+1
        KA=1
        LA=1
509 IJ=ZE(NN)
        IK=ZS(NN)
        IL=PE(NN)+1
        IM=PS(NN)+1
        IN=MOTIV(NN)
        JK=IDADE(NN)
        MATZ(IJ,IK)=MATZ(IJ,IK)+1
        MATP(IL,IM)=MATP(IL,IM)+1
        IF(JK-12)20,21,21
20 JK=1
        GO TO 28
21 IF(JK-20)22,23,23
22 JK=2
        GO TO 28
23 IF(JK-35)24,25,25
24 JK=3
        GO TO 28
25 IF(JK-50)26,27,27
26 JK=4
        GO TO 28
27 JK=5
28 IF(D)18,19,18
19 MASZ0(IJ,IK)=MASZ0(IJ,IK)+1
        MAM00(M,IN)=MAM00(M,IN)+1
        MAID0(M,JK)=MAID0(M,JK)+1
        GO TO 160
18 MASZ1(IJ,IK)=MASZ1(IJ,IK)+1
        MAM01(M,IN)=MAM01(M,IN)+1
        MAID1(M,JK)=MAID1(M,JK)+1

```



```

160 IF(KA)R50,16,R50
R50 SA=SA+1.
   ICONT(M,6)=ICONT(M,6)+1
   KA=Q
16 CONTINUE
   GO TO 6
14 WRITE(3,55)
   WRITE(3,54)
   WRITE(3,31)M
31 FORMAT( 10X,'MATRIZ DO MOVIMENTO DE PESSOAS DE UMA ZONA PARA OUT
   1RA',10X,'L I N H A - ',I2)
   WRITE(3,54)
   WRITE(3,60)N
60 FORMAT(/1X,'** D I A - ',I1,' **',//)
   WRITE(3,33)(NA(JL),JL=2,13)
33 FORMAT(9X,12(I2,3X)//)
   DO 34 JM=1,12
   DO 34 JN=1,12
34 SOMLZ(JM)=SOMLZ(JM)+MATZ(JM,JN)
   SOMCZ(JM)=SOMCZ(JM)+MATZ(JN,JM)
   WRITE(3,35)(JM,(MATZ(JM,JN),JN=1,12),JM=1,12)
35 FORMAT('0',I2,'-',I2,12I5)
   WRITE(3,36)(SOMLZ(KL),KL=1,12),(SOMCZ(KM),KM=1,12)
36 FORMAT(/1X,'** SOMATORIO DE O I **',/6X,12(3X,I5),/1X,'** SOM
   1ATORIO DE D J **',/6X,12(3X,I5))
   WRITE(3,55)
   WRITE(3,54)
   WRITE(3,48)M
48 FORMAT( 10X,'MATRIZ DO MOVIMENTO DE PESSOAS DE UMA PARADA PARA
   1OUTRA',10X,'L I N H A - ',I2)
   WRITE(3,54)
   WRITE(3,60)N
   WRITE(3,40)(NA(JL),JL=1,MM)
40 FORMAT(7X,38(I2,1X)/,7X,38(I2,1X)//)
   DO 41 JM=1,MM
   DO 41 JN=1,MM
   SOMLP(JM)=SOMLP(JM)+MATP(JM,JN)

```

```

41 SOMCP(JM)=SOMCP(JM)+MATP(JN,JM)
   IF(MM-38)38,38,39
38 DO 70 JM=1,MM
   KJM=JM-1
   WRITE(3,42)KJM,(MATP(JM,JN),JN=1,MM)
70 CONTINUE
42 FORMAT(1X,I2,'-',2X,38I3)
   GO TO 100
39 DO 71 JM=1,MM
   KJM=JM-1
   WRITE(3,61)KJM,(MATP(JM,JN),JN=1,MM)
71 CONTINUE
61 FORMAT('0',I2,'-',2X,38I3,/6X,38I3)
100 WRITE(3,43)(SOMLP(KL),KL=1,MM)
43 FORMAT(//' SOMATORIO DE - O I ',//2015//2015,//2015,//2015)
   WRITE(3,44)(SOMCP(KM),KM=1,MM)
44 FORMAT(//' SOMATORIO DE - D J',//2015,//2015,//2015,//2015)
   DO 45 I=1,MM
   SOMLP(I)=0
   SOMCP(I)=0
   DO 45 II=1,MM
45 MATP(I,II)=0
   DO 46 I=1,12
   SOMLZ(I)=0
   SOMCZ(I)=0
   DO 46 II=1,12
46 MATZ(I,II)=0
   M=LI
   N=D
   IF(KAB)1500,10,1500
1500 WRITE(3,55)
55 FORMAT('1')
   WRITE(3,54)
54 FORMAT(1X,119('*'))
   WRITE(3,56)
56 FORMAT(20X,'MATRIZ SOMA DE TODAS AS MATRIZES DO DIA - ZERO')
   WRITE(3,54)

```

```

WRITE(3,72)(NA(JL),JL=2,13)
72 FORMAT(///25X,12(I2,5X)/)
DO 49 J=1,12
49 WRITE(3,47)J,(MASZO(J,JJ),JJ=1,12)
47 FORMAT('0',16X,I2,'-',2X,12(I5,2X))
WRITE(3,55)
WRITE(3,54)
WRITE(3,58)
58 FORMAT(20X,'MATRIZ SOMA DE TODAS AS MATRIZES DO DIA - U M')
WRITE(3,54)
WRITE(3,72)(NA(JL),JL=2,13)
DO 50 J=1,12
50 WRITE(3,47)J,(MASZ1(J,JJ),JJ=1,12)
WRITE(3,55)
WRITE(3,54)
WRITE(3,62)
62 FORMAT(20X,' MATRIZ MOTIVO E MATRIZ IDADE, DO DIA ZERO')
WRITE(3,54)
WRITE(3,500)
500 FORMAT(//24X,'MATRIZ MOTIVO',45X,'MATRIZ IDADE')
WRITE(3,63)
63 FORMAT(15X,' 01 02 03 04 05 06 07 08',18X,'
* 01 02 03 04 05'///)
DO 52 J=1,27
52 WRITE(3,53)J,(MAMOO(J,JJ),JJ=1,8), (MAIDO(I,K),K=1,5)
53 FORMAT(1X,'LINHA -',I2,5X,8(I5,1X),5X,'*',12X,5(I5,1X))
WRITE(3,55)
WRITE(3,54)
WRITE(3,80)
80 FORMAT(20X,' MATRIZ MOTIVO E MATRIZ IDADE DO DIA - UM')
WRITE(3,54)
WRITE(3,500)
WRITE(3,63)
DO 81 J=1,27
WRITE(3,53)J,(MAM01(J,JJ),JJ=1,8) ,(MAID1(J,K),K=1,5)
81 CONTINUE
DO 601 JM=1,7

```



```

DO 601 JN=1,27
ISCCO(JM)=ISCCO(JM)+ICONT(JN,JM)
601 CONTINUE
WRITE(3,55)
WRITE(3,54)
WRITE(3,800)
800 FORMAT(20X,'RESUMO DOS CARTOES ERRADOS, E ONDE OCORRERAM OS ERROS'
*)
WRITE(3,54)
WRITE(3,801)
801 FORMAT(////17X,'ZE',4X,'ZS',4X,'PE',4X,'PS',3X,'MOT',7X,'NPNC',7X
*, 'NCNC',/)
DO 605 I=1,27
WRITE(3,700)I,(ICONT(I,J),J=1,7)
700 FORMAT(1X,'LINHA-',I2,5X,5(I5,1X),5X,I5,6X,I5)
605 CONTINUE
WRITE(3,701)(ISCCO(I),I=1,5)
701 FORMAT(' SOMA COLUNA',2X,5(I5,1X))
WRITE(3,703)SA
703 FORMAT(' TOTAL DE PESSOAS QUE NAO FORAM COMPUTADAS =',F7.0)
WRITE(3,710)SC
710 FORMAT(' TOTAL DE CARTOES QUE NAO FORAM COMPUTADOS =',F7.0)
CALL EXIT
END

```

TO THE HONORABLE MEMBERS OF THE
LEGISLATIVE ASSEMBLY OF THE PROVINCE OF
SASKATCHEWAN

APÉNDICE I

NO. DA LINHA	BR	NR ATUAL	NR NOVO	BR/NR ATUAL	BR/NR NOVO
1	49265.	5.	3.	9853.	16421.
3	20200.	1.	2.	20200.	10100.
5	43168.	2.	3.	21584.	14389.
6	112580.	4.	4.	28145.	28145.
7	61500.	5.	3.	12300.	20500.
8	22624.	2.	2.	11312.	11312.
9	27734.	2.	2.	13867.	13867.
10	36972.	2.	2.	18486.	18486.
11	10170.	1.	1.	10170.	10170.
12	7448.	2.	1.	3724.	7448.
13	10742.	1.	1.	10742.	10742.
14	48720.	3.	3.	16240.	16240.
16	9300.	1.	1.	9300.	9300.
17	78848.	2.	3.	39424.	26282.
18	49312.	2.	3.	24656.	16437.
19	17845.	1.	2.	17845.	8922.
20	10040.	1.	1.	10040.	10040.
21	58344.	3.	3.	19448.	19448.
22	9694.	1.	1.	9694.	9694.
23	21846.	2.	2.	10923.	10923.
24	31302.	2.	2.	15651.	15651.
25	21440.	2.	2.	10720.	10720.
26	9462.	1.	1.	9462.	9462.
27	6111.	1.	1.	6111.	6111.
				S1= 359897.	S2= 330812.

111

PERCENTAGEM DA ECONOMIA DO TEMPO TOTAL = 8.08

TABELA I.1 . (DIA NORMAL, PERIODO DE 7.00 AS 11.00 H)
DISTRIBUICAO OTIMA DO NUMERO DE ONIBUS POR LINHA COM
RESPEITO A MINIMO TTT (TTT COMO UMA FUNCAO DESCONTINUA)

NO. DA LINHA	BR	NR ATUAL	NR NOVO	BR/NR ATUAL	BR/NR NOVO
1	100300.	5.	4.	20060.	25075.
3	18150.	1.	2.	18150.	9075.
5	45904.	2.	3.	22952.	15301.
6	145340.	4.	4.	36335.	36335.
7	75000.	5.	3.	13000.	25000.
8	27104.	2.	2.	13552.	13552.
9	23128.	2.	2.	11564.	11564.
12	32148.	2.	2.	16074.	16074.
13	11152.	1.	1.	11152.	11152.
14	42960.	3.	2.	14320.	21480.
16	12400.	1.	1.	12400.	12400.
17	60032.	2.	3.	30016.	20010.
18	25852.	2.	2.	12926.	12926.
19	17243.	1.	2.	17243.	8621.
20	13840.	1.	1.	13840.	13840.
21	26826.	3.	2.	8942.	13413.
22	21016.	1.	2.	21016.	10508.
23	20394.	2.	2.	10197.	10197.
24	35446.	2.	2.	17723.	17723.
25	17440.	2.	2.	8720.	8720.
				S1= 332182.	S2= 312967.

PERCENTAGEM DA ECONOMIA DO TEMPO TOTAL = 5.78

TABELA I.2 . (DIA NORMAL, PERIODO DE 11.00 AS 15.00 H)
DISTRIBUICAO OTIMA DO NUMERO DE ONIBUS POR LINHA COM
RESPEITO A MINIMO TTT (TTT COMO UMA FUNCAO DESCONTINUA)

NO. DA LINHA	BR	NR ATUAL	NR NOVO	BR/NR ATUAL	BR/NR NOVO
1	126260.	5.	4.	25252.	31565.
3	16650.	1.	2.	16650.	8325.
5	42484.	2.	2.	21242.	21242.
6	148720.	4.	4.	37180.	37180.
7	73500.	5.	3.	14700.	24500.
8	38304.	2.	2.	19152.	19152.
9	37926.	2.	2.	18963.	18963.
10	32058.	2.	2.	16029.	16029.
11	5070.	1.	1.	5070.	5070.
12	21432.	2.	2.	10716.	10716.
13	17097.	1.	2.	17097.	8548.
14	75000.	3.	3.	25000.	25000.
17	41216.	2.	2.	20608.	20608.
18	55292.	2.	2.	27646.	27646.
19	23994.	1.	2.	23994.	11997.
20	11000.	1.	1.	11000.	11000.
21	49368.	3.	2.	16456.	24684.
22	34632.	1.	2.	34632.	17316.
23	36828.	2.	2.	18414.	18414.
24	22792.	2.	2.	11396.	11396.
25	27360.	2.	2.	13680.	13680.
26	9348.	1.	1.	9348.	9348.
				S1= 414225.	S2= 392379.

PERCENTAGEM DA ECONOMIA DO TEMPO TOTAL = 5.27

TABELA I.3 . (DIA NORMAL, PERIODO DE 15.00 AS 20.00 H)
DISTRIBUICAO OTIMA DO NUMERO DE ONIBUS POR LINHA COM
RESPEITO A MINIMO TTT (TTT COMO UMA FUNCAO DESCONTINUA)

NO. DA LINHA	BR	NR ATUAL	NR NOVO	BR/NR ATUAL	BR/NR NOVO
1	93000.	5.	4.	18600.	23250.
3	9100.	1.	1.	9100.	9100.
4	48136.	2.	3.	24068.	16045.
5	48636.	2.	3.	24318.	16212.
6	118456.	4.	4.	29614.	29614.
7	80000.	5.	4.	16000.	20000.
8	23310.	2.	2.	11655.	11655.
9	21024.	2.	2.	10512.	10512.
10	27300.	2.	2.	13650.	13650.
11	6720.	1.	1.	6720.	6720.
12	33516.	2.	2.	16758.	16758.
13	11040.	1.	1.	11040.	11040.
14	55302.	3.	3.	18434.	18434.
16	7347.	1.	1.	7347.	7347.
17	57216.	2.	3.	28608.	19072.
18	22632.	2.	2.	11316.	11316.
19	10076.	1.	1.	10076.	10076.
20	9048.	1.	1.	9048.	9048.
21	19008.	3.	2.	6336.	9504.
22	8379.	1.	1.	3379.	8379.
23	22150.	2.	2.	11075.	11075.
24	24240.	2.	2.	12120.	12120.
25	13440.	2.	2.	6720.	6720.
26	9316.	1.	1.	9316.	9316.
27	10138.	1.	1.	10138.	10138.
				S1 = 340948.	S2 = 327101.

PERCENTAGEM DA ECONOMIA DO TEMPO TOTAL = 4.06

TABELA 1.4 (DIA DE FEIRA, PERIODO DE 7.00 AS 11.00 H)

DISTRIBUICAO OTIMA DO NUMERO DE ONIBUS POR LINHA COM
RESPEITO A MINIMO TTT (TTT COMO UMA FUNCAO DESCONTINUA)

NO. DA LINHA	BR	NR ATUAL	NR NOVO	BR/NR ATUAL	BR/NR NOVO
1	45500.	5.	3.	9100.	15166.
3	20600.	1.	2.	20600.	10300.
4	33528.	2.	2.	16764.	16764.
5	42420.	2.	2.	21210.	21210.
6	96480.	4.	4.	24120.	24120.
7	53500.	5.	3.	10700.	17833.
8	27930.	2.	2.	13965.	13965.
9	17184.	2.	2.	8592.	8592.
10	21210.	2.	2.	10605.	10605.
11	9590.	1.	1.	9590.	9590.
12	34732.	2.	2.	17366.	17366.
13	13800.	1.	1.	13800.	13800.
14	46098.	3.	3.	15366.	15366.
16	7347.	1.	1.	7347.	7347.
17	65472.	2.	3.	32736.	21824.
18	10742.	2.	1.	5371.	10742.
19	17072.	1.	2.	17072.	8536.
20	15288.	1.	2.	15288.	7644.
21	57024.	3.	3.	19008.	19008.
22	25641.	1.	2.	25641.	12820.
23	31800.	2.	2.	15900.	15900.
24	21744.	2.	2.	10872.	10872.
25	25872.	2.	2.	12936.	12936.
26	11968.	1.	1.	11968.	11968.
27	8066.	1.	1.	8066.	8066.

S1 = 373983.

S2 = 342341.

PERCENTAGEM DA ECONOMIA DO TEMPO TOTAL = 8.46

TABELA 1.5 (DIA DE FEIRA, PERIODO DE 11.00 AS 15.00 H)
 DISTRIBUICAO OTIMA DO NUMERO DE ONIBUS POR LINHA COM
 RESPEITO A MINIMO TTT (TTT COMO UMA FUNCAO DESCONTINUA)

NO. DA LINHA	BR	NR ATUAL	NR NOVO	BR/NR ATUAL	BR/NR NOVO
1	101000.	5.	3.	20200.	33666.
3	29500.	1.	2.	29500.	14750.
4	35288.	2.	2.	17644.	17644.
5	51576.	2.	3.	25788.	17192.
6	108272.	4.	3.	27068.	36090.
7	108500.	5.	4.	21700.	27125.
8	24360.	2.	2.	12180.	12180.
9	28320.	2.	2.	14160.	14160.
10	28910.	2.	2.	14455.	14455.
11	6545.	1.	1.	6545.	6545.
12	36784.	2.	2.	18392.	18392.
13	12420.	1.	1.	12420.	12420.
14	82836.	3.	3.	27612.	27612.
16	13392.	1.	1.	13392.	13392.
17	48000.	2.	3.	24000.	16000.
18	30996.	2.	2.	15498.	15498.
19	23232.	1.	2.	23232.	11616.
20	15717.	1.	1.	15717.	15717.
21	43308.	3.	2.	14436.	21654.
22	26208.	1.	2.	26208.	13104.
23	28900.	2.	2.	14450.	14450.
24	22368.	2.	2.	11184.	11184.
25	26964.	2.	2.	13482.	13482.
27	9472.	1.	1.	9472.	9472.
				S1= 428735.	S2= 407801.

PERCENTAGEM DA ECONOMIA DO TEMPO TOTAL = 4.88

TABELA I.6 (DIA DE FEIRA, PERIODO DE 15.00 AS 20.00 H)
DISTRIBUICAO OTIMA DO NUMERO DE ONIBUS POR LINHA COM
RESPEITO A MINIMO TTT (TTT COMO UMA FUNCAO DESCONTINUA)

... ..
... ..
... ..
... ..

Nº da linha	b_r	M_r	N_r atual	N_r TTT	N_r conges	(b_r/N_r) atual	(b_r/N_r) TTT	(b_r/N_r) conges	(M_r/N_r) atual	(M_r/N_r) TTT	(M_r/N_r) conges
1	100300	175	5	4	5	20060	25075	20060	35	44	35
3	18150	37	1	2	1	18150	9075	18150	37	19	37
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	45904	52	2	3	2	22952	15301	22952	26	17	26
6	145340	140	4	4	4	36335	36335	36335	35	35	35
7	75000	150	5	3	5	15000	25000	15000	30	50	30
8	27104	20	2	2	1	13552	13552	27104	10	10	20
9	23128	46	2	2	1	11564	11564	23128	23	23	46
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	32148	64	2	2	2	16074	16074	16074	32	32	32
13	11152	17	1	1	1	11152	11152	11152	17	17	17
14	42960	105	3	2	3	14320	21480	14320	35	53	35
16	12400	18	1	1	1	12400	12400	12400	18	18	18
17	60032	60	2	3	2	30016	20010	30016	30	20	30
18	25852	74	2	2	2	12926	12926	12926	37	37	37
19	17243	40	1	2	1	17243	8621	17243	40	20	40
20	13840	27	1	1	1	13840	13840	13840	27	27	27
21	26826	150	3	2	5	8942	13413	5365	50	75	30
22	21016	30	1	2	1	21016	10508	21016	30	15	30
23	20394	74	2	2	2	10197	10197	10197	37	37	37
24	35446	50	2	2	2	17723	17723	17723	25	25	25
25	17440	60	2	2	2	8720	8720	8720	30	30	30
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						332182	312967	353721			
Conforto									0,20	0,13	0,37

TABELA J.1. (Dia normal, período de 11 às 15 h)

Cálculo detalhado dos valores quantitativos para a comparação dos modelos de "Otimização do Tempo Total da Viagem" e "Igualdade de Congestionamento" no ônibus.

Nº da linha	D_r	M_r	N_r atual	N_r TTT	N_r conges	(b_r/N_r) atual	(b_r/N_r) TTT	(b_r/N_r) conges	(M_r/N_r) atual	(M_r/N_r) TTT	(M_r/N_r) conges
1	126260	160	5	4	5	25252	31565	25252	32	40	32
3	16650	20	1	2	1	16650	8325	16650	20	10	20
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	42484	40	2	2	1	21242	21242	42484	20	20	40
6	148720	132	4	4	4	37180	37180	37180	33	33	33
7	73500	155	5	3	4	14700	24500	18375	31	52	39
8	38304	28	2	2	1	19152	19152	38304	14	14	28
9	37926	50	2	2	1	18963	18963	37926	25	25	50
10	32058	120	2	2	3	16029	16029	10686	60	60	40
11	5070	29	1	1	1	5070	5070	5070	29	29	29
12	21432	60	2	2	2	10716	10716	10716	30	30	30
13	17097	15	1	2	1	17097	8548	17097	15	8	15
14	75000	120	3	3	3	25000	25000	25000	40	40	40
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	41216	84	2	2	2	20608	20608	20608	42	42	42
18	55292	70	2	2	2	27646	27646	27646	35	35	35
19	23994	40	1	2	1	23994	11997	23994	40	20	40
20	11000	48	1	1	1	11000	11000	11000	48	48	48
21	49368	153	3	2	4	16456	24684	12342	51	77	38
22	34632	54	1	2	2	34632	17316	17316	54	27	27
23	36828	80	2	2	2	18414	18414	18414	40	40	40
24	22792	80	2	2	2	11396	11396	11396	40	40	40
25	27360	120	2	2	3	13680	13680	9120	60	60	40
26	9348	22	1	1	1	9348	9348	9348	22	22	22
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						414225	392379	445924			
Conforto									0,23	0,10	0,30

TABELA J.2. (Dia normal, Período de 15 às 20 h).

Cálculo detalhado dos valores quantitativos para a comparação dos modelos de "Otimização do Tempo Total da Via" e "Igualdade de Congestionamento" no Ônibus.

Nº de linha	b_r	M_r	N_r atual	N_r TTT	N_r conges:	(b_r/N_r) atual	(b_r/N_r) TTT	(b_r/N_r) conges	(M_r/N_r) atual	(M_r/N_r) TTT	(M_r/N_r) conges
1	93000	145	5	4	5	18600	23250	18600	29	36	29
3	9100	40	1	1	1	9100	9100	9100	40	40	40
4	48136	64	2	3	2	24068	16045	24068	32	21	32
5	48636	76	2	3	2	24318	16212	24318	38	25	38
6	118456	268	4	4	9	29614	29614	13161	67	67	30
7	80000	140	5	4	4	16000	20000	20000	28	35	35
8	23310	20	2	2	1	11655	11655	23310	10	10	20
9	21024	44	2	2	1	10512	10512	21024	22	22	44
10	27300	64	2	2	2	13650	13650	13650	32	32	32
11	6720	25	1	1	1	6720	6720	6720	25	25	25
12	33516	36	2	2	1	16758	16758	33516	18	18	36
13	11040	25	1	1	1	11040	11040	11060	25	25	25
14	55302	105	3	3	3	18434	18434	18434	35	35	35
16	7347	12	1	1	1	7347	7347	7347	12	12	12
17	57216	88	2	3	3	28608	19072	28608	44	29	29
18	22632	60	2	2	2	11316	11316	11316	30	30	30
19	10076	36	1	1	1	10076	10076	10076	36	36	36
20	9048	14	1	1	1	9048	9048	9048	14	14	14
21	19008	141	3	2	4	6336	9504	4752	47	71	35
22	8379	25	1	1	1	8379	8379	8379	25	25	25
23	22150	40	2	2	1	11075	11075	22150	20	20	40
24	24240	46	2	2	1	12120	12120	24240	23	23	46
25	13440	40	2	2	1	6720	6720	13440	20	20	40
26	9316	25	1	1	1	9316	9316	9316	25	25	25
27	10138	31	1	1	1	10138	10138	10138	31	31	31
					50	340948	327101	395751			
Conforto									0,15	0,14	0,26

TABELA J.3. (Dia de feira, Período de 7 às 11 h)

Cálculo detalhado dos valores quantitativos para a compra

Nº da linha	b_r	M_r	N_r atual	N_r TTT	N_r congest.	(b_r/N_r) atual	(b_r/N_r) TTT	(b_r/N_r) congest.	(M_r/N_r) atual	(M_r/N_r) TTT	(M_r/N_r) congest.
1	45500	165	5	3	5	9100	15166	9100	33	55	33
3	20600	33	1	2	1	20600	10300	20600	33	17	33
4	33528	62	2	2	2	16764	16764	16764	31	31	31
5	42420	54	2	2	1	21210	21210	42420	27	27	54
6	96480	152	4	4	4	24120	24120	24120	38	38	38
7	63500	285	5	3	8	10700	17833	6687	57	95	36
8	27930	16	2	2	1	13965	13965	27930	8	8	16
9	17184	48	2	2	1	8592	8592	17184	24	24	48
10	21210	106	2	2	3	10605	10605	7070	53	53	35
11	9590	30	1	1	1	9690	9590	9590	30	30	30
12	34732	50	2	2	1	17366	17366	34732	25	25	50
13	12800	19	1	1	1	13800	13800	13800	19	19	19
14	46098	105	3	3	3	15366	15366	15366	35	35	35
16	7347	12	1	1	1	7347	7347	7347	12	12	12
17	65472	60	2	3	2	32736	21824	32736	30	20	30
18	10742	58	2	1	1	5371	10742	10742	29	58	58
19	17072	32	1	2	1	17072	8536	17072	32	16	32
20	15288	31	1	2	1	15288	7644	15288	31	16	31
21	57024	186	3	3	5	19008	19008	11404	62	62	37
22	25641	24	1	2	1	25641	12820	25641	24	12	24
23	31800	80	2	2	2	15900	15900	15900	40	40	40
24	21764	40	2	2	1	10872	10872	21744	20	20	40
25	25872	70	2	2	2	12936	12936	12936	35	70	35
26	11968	19	1	1	1	11968	11968	11968	19	19	19
27	8066	43	1	1	1	8066	8066	8066	43	43	43
$\Sigma b_r/N_r$						373983	342341	436207			
Conforto									0,13	0,08	0,21

TABELA J.4. (Dia de feira, período de 11 às 15 h)

Cálculo detalhado dos valores quantitativos para a comparação dos modelos de "Otimização do Tempo Total da Via gem" e Igualdade de Congestionamento" no ônibus.

Nº da linha	b_r	M_r	N_r atual	N_r TTT	N_r conges	(b_r/N_r) atual	(b_r/N_r) TTT	(b_r/N_r) conges	(M_r/N_r) atual	(M_r/N_r) TTT	(M_r/N_r) conges
1	101000	215	5	3	5	20200	33666	20200	43	72	43
3	29500	18	1	2	1	29500	14750	29500	18	9	18
4	35288	44	2	2	1	17644	17644	35288	22	22	44
5	51576	90	2	3	2	25788	17192	25788	45	30	45
6	108272	136	4	3	3	27068	36090	36090	34	45	45
7	108500	280	5	4	7	21700	27125	15500	56	70	40
8	24360	28	2	2	1	12180	12180	24360	14	14	28
9	28320	50	2	2	1	14160	14160	28320	25	25	50
10	28910	106	2	2	3	14455	14455	9637	53	53	35
11	6545	23	1	1	1	6545	6545	6545	23	23	23
12	36784	54	2	2	1	18392	18392	36784	27	27	54
13	12420	21	1	1	1	12420	12420	12420	21	21	21
14	82836	120	3	3	3	27612	27612	27612	40	40	40
16	13392	25	1	1	1	13392	13392	13392	25	25	25
17	48000	70	2	3	2	24000	16000	24000	35	23	35
18	30996	60	2	2	1	15498	15498	30996	30	30	60
19	23232	45	1	2	1	23232	11616	23232	45	23	45
20	15717	46	1	1	1	15717	15717	15717	46	46	46
21	43308	165	3	2	4	14436	21654	10827	55	83	41
22	26208	50	1	2	1	26208	13104	26208	50	25	50
23	28900	114	2	2	3	14450	14450	9633	57	57	38
24	22368	76	2	2	2	11184	11184	11184	38	38	38
25	26964	110	2	2	3	13484	13482	8988	55	55	37
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	9472	36	1	1	1	9472	9472	9472	36	36	36
					50	428735	407801	491693			
Conforto									0,25	0,17	0,30

TABELA J.5. (Dia de feira, período de 15 às 20 h)

Cálculo detalhado dos valores quantitativos para a comparação dos modelos de "Otimização do Tempo Total da Viagem" e "Igualdade de Congestionamento" no ônibus.