

✓

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DO CUSTO DO
TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS NAS
CIDADES MÉDIAS E PEQUENAS**

LUIZ ÁLVARO DE TOLEDO BARROS JÚNIOR

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUES DA SILVA

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016920

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA
DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
TRANSPORTES.

SÃO CARLOS

1994



Class.	TEJE
Cutt.	0413
TOMO	132/94

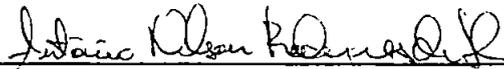
31100016920

Transportes

* 740046

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 16/8/1994
pela Comissão Julgadora:



Prof.Dr. Antonio Nelson Rodrigues da Silva (Orientador) - EESC-USP



Prof.Dr. Carlos David Nassi - COPPE/UFRJ



Prof.Dr. Antonio Clovis Pinto Ferraz - EESC-USP



Presidente da CPG
Prof. Dr. Jurandyr Povineffi



Coordenador da Área
Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira

AGRADECIMENTOS

- Ao amigo Antônio Néilson Rodrigues da Silva, pelo constante apoio, em todos os aspectos, pelo incentivo e pela valiosa orientação.
- Ao professor Antonio Clóvis Pinto Ferraz, pelo grande exemplo que representa, pelo "alto astral" e orientação.
- Ao Eiji, Felex, José Leomar e a todos os funcionários do Departamento de Transportes da EESC-USP, pela receptividade e apoio.
- A todos os meus amigos, companheiros da pós-graduação e da CET.
- A toda minha família.
- A Lúcia pelo carinho e paciência.
- A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

MUITO OBRIGADO

RESUMO

O transporte coletivo nas cidades do Brasil é, via de regra, caro e deficiente. Contribuem para tal, características atinentes a estrutura urbana e ao próprio serviço de transporte. O poder público - controlador do sistema - enfrenta problemas contextuais tais como: falta de recursos humanos qualificados, falta de recursos tecnológicos, financeiros e, conseqüentemente, falta de base ampla de dados confiáveis para planejamento e controle. Frente a este panorama, ressalta-se a importância da elaboração de ferramentas úteis como modelos simplificados de planejamento de transportes, que, adaptados as características vigentes, propiciem uma rápida e clara identificação dos problemas existentes e de suas dimensões, além de serem didáticos do ponto de vista do funcionamento do sistema.

Este trabalho apresenta um instrumento que pode ser útil nesse sentido: um modelo analítico de custo agregado, denominado MACBUS, que permite a avaliação do comportamento do custo do transporte coletivo em cidades médias e pequenas, face as interferências causadas por fatores relacionados a estrutura urbana e ao serviço. O modelo, bastante simples, é de rápida e fácil utilização e entendimento. Representa uma evolução em relação ao seu antecessor, o modelo TRANSCO, na medida em que relaxa algumas de suas hipóteses mais restritivas, tornando-o mais representativo da realidade.

São apresentadas diversas aplicações com o modelo, obtendo-se resultados relevantes, como por exemplo na simulação realizada admitindo-se a implantação de conjuntos habitacionais afastados da mancha urbana, e na avaliação do sistema existente numa cidade real.

ABSTRACT

Urban public transportation systems in Brazilian cities are usually expensive and inadequate. Some characteristics of urban structures and of the transit systems themselves are responsible for this fact. The local governments, responsible for the transit management and control, face different kinds of problems: the lack of qualified human resources, the lack of technological resources, the scarcity of capital for investment, and the lack of a broad and reliable database. This situation stresses the importance of useful tools for planning, like simplified transportation models. These models can be easily adapted to reproduce local characteristics, helping in the identification of the existing problems and their extent. These models are also helpful for the comprehension of the whole system.

This work presents a tool that can be very useful for the aforementioned purposes: an analytical model of aggregated costs, named MACBUS. It permits an evaluation of transit costs in small and medium-sized cities, in different urban structures and operational frameworks. MACBUS is a very simple model and represents an evolution of its predecessor, the TRANSCO model, giving now a better representation of the reality.

Among many possible applications of MACBUS some are showed in this work: an evaluation of the impacts on transit costs produced by dwelling settlements located far beyond urban fringes, and a complete analysis of an existing transit system in a small Brazilian city.

SUMÁRIO

1 <u>INTRODUÇÃO</u>	01
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA	01
1.2 TÉCNICA UTILIZADA	04
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	04
2 <u>ORIGEM DO MODELO MACBUS</u>	06
2.1 MODELOS SIMPLIFICADOS	07
2.2 A UTILIZAÇÃO DE MODELOS SIMPLIFICADOS	10
2.3 ESTRUTURA DO MODELO MACBUS.....	15
3 <u>O MODELO MACBUS</u>	17
3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	17
3.2 DESCRIÇÃO DO MODELO MACBUS	24
3.2.1 <u>Adequação da Cidade</u>	24
3.2.2 <u>Cálculos Parciais</u>	27
3.2.3 <u>Cálculos Globais</u>	36
3.3 O PROGRAMA PARA COMPUTADOR.....	40
4 <u>MODELOS TRANSCO E MACBUS: COMPARAÇÕES E APLICAÇÕES</u>	45
4.1 FORMA DA CIDADE.....	48
4.2 DENSIDADE POPULACIONAL	54
4.3 FATOR DE GERAÇÃO DE VIAGENS POR TRANSPORTE COLETIVO	57
4.4 LOCALIZAÇÃO DO PÓLO PRINCIPAL.....	61
4.5 FREQUÊNCIA MÍNIMA DE ATENDIMENTO	63
4.6 DISTÂNCIA MÁXIMA DE CAMINHADA.....	65

4.7 TIPO DE ÔNIBUS	68
4.8 NÍVEL DE SERVIÇO	71
5 <u>APLICAÇÕES DA VERSÃO COMPLETA DO MODELO MACBUS</u>...	73
5.1 CONJUNTOS HABITACIONAIS PERIFÉRICOS	74
5.2 PÓLOS SECUNDÁRIOS	77
5.3 APLICAÇÃO DO MACBUS À CIDADE DE SÃO JOSÉ DO RIO PARDO	79
6 <u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	86
7 <u>BIBLIOGRAFIA</u>	89
 APÊNDICE A - PROGRAMA PARA MICROCOMPUTADOR DO MODELO <i>MACBUS</i>	 94
 APÊNDICE B - EXEMPLOS DE ENTRADA DOS DADOS E SAÍDA DOS RESULTADOS	 106

LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.1 - Distribuição espacial da demanda num dia útil em duas cidades médias.....	18
QUADRO 4.1 - Tipos de ônibus analisados.....	68
QUADRO 4.2 - Níveis de serviço considerados e respectivos atributos.	71
QUADRO 5.1 - Dados básicos de cada região.....	81

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Configuração da cidade e do sistema de transporte urbano no GUTS.....	12
FIGURA 3.1 - Esquema do atendimento por transporte coletivo adotado no modelo MACBUS.....	20
FIGURA 3.2 - Exemplo ilustrativo do atendimento com frequência mínima para eficiência máxima.....	23
FIGURA 3.3 - Cidade hipotética adaptada à aplicação do modelo.	25
FIGURA 3.4 - Características de situação e operação em uma região homogênea..	27
FIGURA 3.5 - Exemplo do esquema de atendimento em uma região homogênea..	33
FIGURA 3.6 - Tela inicial do programa MACBUS.....	41
FIGURA 3.7 - Exemplo hipotético da divisão em regiões no MACBUS 2.....	43
FIGURA 4.1 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, para diferentes formatos de cidade linear	50
FIGURA 4.2 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, para diferentes formatos de cidade	52
FIGURA 4.3 - Comparação entre resultados dos modelos TRANSCO e MACBUS, gerados a partir de diferentes formatos de cidade.....	54
FIGURA 4.4 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, nas cidades quadradas, para diferentes densidades populacionais	55
FIGURA 4.5 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes densidades populacionais.....	56
FIGURA 4.6 - Curvas do custo de transporte coletivo urbano, em função da densidade populacional	57

FIGURA 4.7 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, nas cidades quadradas e lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes fatores de geração de viagens	58
FIGURA 4.8 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, nas cidades circulares, para diferentes fatores de geração de viagens.....	59
FIGURA 4.9 - Custo do transporte coletivo por passageiro x população, nas cidades quadradas e lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes fatores de geração de viagens	60
FIGURA 4.10 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades quadradas, para diferentes localizações do pólo principal	62
FIGURA 4.11 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades lineares, com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes localizações do pólo principal.....	62
FIGURA 4.12 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades quadradas, para diferentes freqüências de atendimento	64
FIGURA 4.13 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes freqüências de atendimento.....	64
FIGURA 4.14 - Custo do transporte coletivo por passageiro x população, em cidades quadradas, para diferentes distâncias máximas de caminhada	66
FIGURA 4.15 - Custo do transporte coletivo por passageiro x população, em cidades lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes distâncias máximas de caminhada.....	67
FIGURA 4.16 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades quadradas, para diferentes tipos de ônibus	69
FIGURA 4.17 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes tipos de ônibus.....	70
FIGURA 4.18 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades quadradas e lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes níveis de serviço	72
FIGURA 5.1 - Características gerais das cidades consideradas	75
FIGURA 5.2 - Custo do transporte coletivo por habitante x população para as cidades consideradas	76
FIGURA 5.3 - Características gerais das hipóteses consideradas	78
FIGURA 5.4 - Custo do transporte coletivo por habitante x população para as situações consideradas.....	79

FIGURA 5.5 - Esquema da divisão da cidade em regiões homogêneas	80
FIGURA 5.6 - Esquema mostrando regiões e características do cenário "1".....	83
FIGURA 5.7 - Esquema mostrando regiões e características do cenário "2".....	84
FIGURA 5.8 - Custo do transporte coletivo por habitante para os diferentes cenários.....	85

LISTA DE VARIÁVEIS

- A e B = dimensões, em km, do retângulo que constitui a região homogênea, para o cálculo da quilometragem.
- AC = área da cidade, em km².
- AR = valor da área das zonas individuais de atendimento de cada rota em km².
- AREA = valor da área da região homogênea, em km².
- CA = capacidade do veículo de transporte em passageiros/viagem/sentido.
- CM = custo médio horário do serviço de transporte coletivo em US\$/mil habitantes/hora.
- CMC = custo médio horário do serviço de transporte coletivo para a cidade, em US\$/mil habitantes/hora.
- CMS = custo médio horário do serviço de transporte coletivo para a cidade, em US\$/mil habitantes/hora, com acréscimos devido ao(s) pólo(s) secundário(s).
- CP = custo médio do serviço de transporte coletivo em US\$/passageiro.
- CPC = custo médio do serviço de transporte coletivo para a cidade, em US\$/passageiro.
- CPS = acréscimo de custo horário do serviço de transporte coletivo devido ao(s) pólo(s) secundário(s), em US\$/hora.
- CQ = custo operacional da frota de ônibus em US\$/km.
- CS = custo horário do serviço de transporte coletivo no atendimento ao pólo, em US\$/hora.
- CT = custo total horário do serviço de transporte coletivo em US\$/hora.
- CTC = custo horário total do serviço de transporte coletivo para toda a cidade, em US\$/hora.
- CVS = custo médio do serviço de transporte coletivo para a cidade, em US\$/passageiro, com acréscimos devido ao(s) pólo(s) secundário(s).
- DC = distância máxima de caminhada.
- DCR = valor real do dobro da distância máxima de caminhada após a divisão em áreas de atendimento individual, em km.
- DI = distância, em km, do pólo principal ao vértice da região mais próximo ao pólo principal, através do sistema viário existente.
- DR = dimensão de um dos lados do retângulo que caracteriza a zona individual de atendimento.
- DRR = extensão real de DR após a divisão em áreas de atendimento individual, em km.
- DS = distância, em km, do pólo principal ao pólo secundário, através do sistema viário.
- FR = frequência mínima admissível em viagens/hora.

FS = frequência necessária para atender ao pólo, em viagens/hora.

GE = fator de geração de viagens por transporte coletivo em viagens/hora/habitante/sentido.

IPK = índice de passageiros por quilômetro.

Na = número de divisões em um dos lados da região, função de DC.

NAR = nova área AR para DRR e DCR, em km^2 .

Nb = número de divisões no outro lado da região, função de DR.

Nbr = número ajustado de divisões no outro lado da região, função de DR.

NFR = nova frequência mínima, em viagens/hora.

NP = número de passageiros, por hora, gerados na região homogênea.

NPC = número de passageiros, por hora, gerados na cidade.

NPS = acréscimo do número de passageiros devido ao(s) pólo(s) secundário(s).

NS = número de passageiros com destino ao pólo secundário.

OC = densidade de ocupação do solo em habitantes/ha.

P = população residente na região homogênea.

PC = população da cidade.

PS = porcentagem de passageiros atraídos pelo pólo secundário em relação ao total de passageiros transportados na cidade.

Q = quilometragem total percorrida, por hora, pela(s) linha(s) que serve(m) a região.

QC = quilometragem percorrida por hora, pelos ônibus em toda a cidade.

QPS = acréscimo de quilometragem percorrida, por hora, pelos ônibus, devido ao(s) pólo(s) secundário(s).

QS = quilometragem horária percorrida nas viagens ao pólo secundário.

X e Y = dimensões, em km, dos dois lados do retângulo que constitui a região homogênea (dados de entrada).

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta capaz de reunir, simplificada, diversos fatores que afetam o custo global do transporte coletivo urbano por ônibus em cidades médias e pequenas, de forma a permitir a avaliação do impacto das características urbanas mais relevantes, bem como do serviço por ônibus, no custo do transporte coletivo.

Uma metodologia de fácil entendimento e utilização, que por meio de dados facilmente disponíveis em qualquer cidade, auxilie na análise do sistema de transporte coletivo existente e propicie uma melhor compreensão das interferências causadas por diversos fatores, é extremamente útil na busca de uma maior racionalização de sistemas de transporte coletivo.

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

O caótico processo de urbanização em curso no Brasil conduz as cidades a um circuito vicioso extremamente preocupante: verifica-se, cada vez mais, um governo urbano cada vez mais pobre e que enfrenta cidades cada vez mais caras.

O que acontece nas cidades brasileiras é uma reprodução espacial do processo elitista nacional. A concentração de renda e poder em poucas parcelas da população provocam uma concentração espacial, geralmente localizada nas áreas mais centrais das cidades.

A população que detém o poder exerce tal influência, que acaba por receber a maior parte do já escasso investimento público. As áreas favorecidas supervalorizam-se pela enorme diferença de qualidade que oferecem face às áreas periféricas.

À população carente não resta outra alternativa senão instalar-se nas áreas periféricas não urbanizadas. Quando, através de muita pressão ou interesses especulativos, o poder público alcança a periferia com as redes básicas de infraestrutura, a situação se repete, e a população carente é novamente afastada.

Sobre essa lógica, VILAÇA (apud CAMPOS FILHO, 1989, p.45) comenta que as áreas de excelência ocupadas pela elite "desequilibram" totalmente a estrutura urbana, dado o peso relativo que assumem.

"As elites não só dotam sua área geral de concentração dos mais elevados padrões de serviços públicos e privados, mas também manipulam o espaço no sentido de não só minimizar para si os custos e tempos de deslocamento, mas ainda no de transferir para aquela área geral todos os principais órgãos de condução política e econômica da sociedade".

Ou seja, as atividades produtivas também se concentram nas áreas centrais, obrigando, irremediavelmente, ao deslocamento, cada vez mais longo e executado através do transporte público, da população periférica às áreas centrais.

Os custos do transporte coletivo representam um grande problema nestas circunstâncias, pois são custos que, além de elevados, nunca mais deixarão de existir.

É sabido que esses problemas revelam-se de forma mais clara nas metrópoles e cidades grandes, devido às dimensões urbanas que acabam por elevar os custos decorrentes e pelo conflito, mais flagrante, entre as duas populações.

No entanto, nas cidades médias e pequenas esses problemas também são verificados e, se por um lado a gravidade é menor pelas distâncias, por outro, os recursos disponíveis nessas cidades são, em geral, ainda mais escassos.

Deve-se ter em mente que é preciso tentar resolver os problemas das cidades médias e pequenas enquanto ainda apresentam soluções viáveis. Este trabalho, embasado em características existentes em cidades médias e pequenas, se insere neste objetivo.

Dentre os serviços públicos básicos numa cidade, o transporte coletivo urbano desempenha um papel essencial e é responsável por uma parcela significativa dos custos urbanos.

SILVA (1993), em estudo sobre custos urbanos na cidade de São Carlos-SP, concluiu que o transporte coletivo, em particular, representa 15 % dos custos totais da cidade. Entretanto, aos custos de operação, devem ser acrescentados os custos necessários à construção e manutenção das vias para sua circulação. Os custos de pavimentação e de drenagem pluvial significam, segundo MASCARÓ (1986), cerca de 60 % dos custos totais das redes de infra-estrutura urbana (45 % pavimentação e 15 % drenagem pluvial).

De forma a minorar esses custos decorrentes da necessidade do transporte coletivo urbano, duas opções se apresentam: reorganização do espaço urbano, através de legislação, controle e tributação, visando diminuir os vazios e o espalhamento das cidades; e reorganização da operação de modo a melhorar o desempenho do sistema, através da otimização dos recursos disponíveis, da conscientização do problema e de suas possíveis soluções pelas autoridades, e da preparação de meios e pessoal para planejar e fiscalizar a operação do serviço.

1.2 TÉCNICA UTILIZADA

Os fatores que influem nos custos do transporte coletivo são inúmeros, e variam, consideravelmente, de cidade para cidade. É praticamente impossível avaliar-se a influência exclusiva de cada fator individualmente sobre os custos, com base em dados reais. Para se poder estudar essas influências é imprescindível a utilização de modelos teóricos.

A ferramenta utilizada neste trabalho é um modelo analítico de custo agregado, bastante simples e de fácil compreensão e aplicação, o qual é denominado de modelo **MACBUS** (MODELO PARA AVALIAÇÃO DO CUSTO DO TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS). O modelo se adequa às condições verificadas nas cidades médias e pequenas do Brasil.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A importância da elaboração e utilização de modelos simplificados de planejamento de transportes é colocada no capítulo 2. É com base nesta vertente de pesquisa que surgem modelos como o **MACBUS**, que tem sua estrutura básica descrita também nesse capítulo.

No capítulo 3 a lógica do modelo é descrita, passo a passo, juntamente com algumas considerações teóricas utilizadas na sua elaboração, e com uma introdução ao esquema de aplicação através de um programa de computador.

A listagem completa do programa de computador do modelo **MACBUS** (elaborado em linguagem Pascal) está apresentada em Apêndice no final do trabalho, seguido de exemplos do esquema de aplicação, desde a entrada dos dados até a saída dos resultados.

Resultados de diversas aplicações realizadas através do modelo são apresentados no capítulo 4. Estas aplicações são fundamentalmente relacionadas a características das cidades e do serviço de transporte coletivo. Nesse capítulo, por meio das simulações executadas, procura-se fazer uma comparação entre os resultados obtidos por intermédio do **MACBUS** e de seu antecessor, o modelo **TRANSCO**.

No capítulo 5 são expostas algumas das diversas aplicações possíveis de serem executadas utilizando-se a versão mais abrangente e menos restritiva do modelo. Através da aplicação a um caso real, a cidade de São José do Rio Pardo, constata-se a utilidade dessa ferramenta ao servir de balizador entre situações reais, praticadas, e situações ótimas, tanto do ponto de vista do serviço de transporte coletivo, quanto da ocupação do solo.

Finalmente, no capítulo 6, são colocadas algumas observações consideradas relevantes a respeito das questões abordadas no trabalho.

No último capítulo, o de número 7, está relacionada toda a bibliografia consultada para a elaboração deste trabalho.

2 ORIGEM DO MODELO MACBUS

Os fatores que afetam o custo do transporte coletivo urbano são, reconhecidamente, inúmeros e variáveis de cidade para cidade. Isto torna praticamente impossível a avaliação da influência de cada fator sobre os custos, com base em dados reais. Conseqüentemente, para tornar possíveis as análises da influência individual dos diversos parâmetros no custo do transporte coletivo é necessário se recorrer ao uso de modelos teóricos. O MACBUS (MODELO PARA AVALIAÇÃO DO CUSTO DO TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS), bem como o TRANSCO (FERRAZ, 1990), do qual o MACBUS se origina, são modelos matemáticos desenvolvidos com esse objetivo.

Este capítulo procura apresentar o panorama no qual surgiram modelos tais como o TRANSLIX (AGUIAR e FERRAZ, 1990), o TRANSCO e seus derivados, como o TEMCO (MACEDO, 1991) e o MACBUS.

Inicialmente, advoga-se a importância da elaboração de modelos simplificados para a área de planejamento de transportes. Em seguida, procura-se situar a origem do MACBUS junto a esta vertente de pesquisa em planejamento de transportes para, finalmente, fornecer os dados básicos que estruturaram a geração do modelo.

2.1 MODELOS SIMPLIFICADOS

Segundo NOVAES (1982, p.19), "um modelo é a representação de um sistema ou de um de seus componentes. Tal representação pode ser realizada através de vários tipos de linguagem: matemática, lógica, gráfica, física etc." ORTÚZAR E WILLUMSEN (1992) acrescentam ainda que um modelo é uma representação simplificada de um sistema real, válido sob uma perspectiva particular.

Independentemente de definições, verifica-se no ambiente de pesquisa e prática em transportes urbanos, notadamente a partir da segunda metade da última década e início desta, uma tendência e até mesmo uma clara adesão à rotina da elaboração e utilização de modelos simplificados.

O estudo e elaboração de modelos simplificados parece ser fruto da evolução natural das técnicas de modelagem tradicionais e da experiência adquirida na avaliação dos resultados alcançados (com a comparação dos resultados dos modelos com as situações reais que os mesmos tentavam prever). Um fator primordial para a sua utilização é a necessidade de adaptação dos modelos ao ferramental disponível para sua operacionalização e a facilidade de entendimento e monitoramento de seus resultados.

Mas, o que são modelos simplificados? Através da aglutinação de idéias absorvidas da literatura técnica, sem a pretensão de querer dogmatizar o assunto mas, pelo contrário, apenas com a intenção de colocá-lo em discussão e, principalmente, de procurar delinear o âmbito no qual este trabalho se insere, pode-se classificar como simplificado o modelo que satisfaça às seguintes características:

- a) Represente **simplificadamente** um sistema real ou um de seus componentes;
- b) Seja provido de consistência teórica e;

- c) Seja operacional tanto do ponto de vista do entendimento e manuseabilidade, quanto à compatibilidade com os problemas contextuais vigentes no seu ambiente de utilização. Problemas contextuais tais como: falta de recursos humanos qualificados, falta de recursos tecnológicos, falta de recursos financeiros e, conseqüentemente, falta de base ampla de dados confiáveis.

Verifica-se que modelos simplificados podem ser elaborados em qualquer contexto. Mas o que se nota, e o que importa, é que este tipo de modelagem se adequa perfeitamente às necessidades de países em desenvolvimento e de poucos recursos.

SILVA (1993, p.4) constata um hiato considerável entre construir um modelo de engenharia e ver este modelo aplicado em um órgão de planejamento público ou privado. "Inúmeros problemas impedem o uso de modelos sofisticados pelos técnicos em geral". Ausência de recursos institucionais, de recursos financeiros, de recursos tecnológicos e de mão-de-obra qualificada são alguns dos tipos de problemas que, segundo DIMITRIOU (apud SILVA, 1993), os países do "terceiro mundo" enfrentam na utilização de modelos de planejamento mais elaborados.

ULYSSÉA NETO (1992) também diagnostica muito bem os problemas enfrentados nos países em desenvolvimento, e relaciona como alguns dos mais importantes: a falta de pessoal qualificado, a falta de recursos financeiros e a falta de tecnologia apropriada. ULYSSÉA NETO atenta para o fato de que os países em desenvolvimento apresentam quase sempre sistemas sócio-econômicos com velocidades de mutação elevadas. A junção destes fatores proporciona uma situação paradoxal, já que, se de um lado faz-se necessária a utilização de modelos simplificados que requeiram dados de custo mais baixo, de outro faz-se necessária a utilização de modelos mais causais, que melhor representem a evolução dos sistemas com alta velocidade de mutação.

O próprio ULYSSÉA NETO, no entanto, sugere um artifício para a conciliação entre as duas situações: a utilização de modelos simplificados e que requerem dados de baixo custo, usados com curtos períodos de tempo entre reavaliações sucessivas.

A ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP) realizou, em outubro de 1993, uma pesquisa, cujos resultados revelam um quadro alarmante de incapacidade gerencial dos transportes públicos nas cidades brasileiras.

A pesquisa, "Capacitação Técnica dos Municípios Brasileiros no Gerenciamento dos Transportes Públicos", foi realizada junto a 73 municípios, que totalizam uma população de 33 milhões de habitantes, 23.240 ônibus e 1.030 técnicos, para saber em que bases técnicas é feito o gerenciamento do transporte público nas cidades brasileiras. Constatou que, dos 1.030 técnicos envolvidos, 34 % exercem outras tarefas e apenas 27 % possuem nível superior de ensino e mais de cinco anos de experiência. Em uma cidade com mais de 600 mil habitantes, simplesmente não havia nenhum técnico na área, enquanto outra cidade grande possuía apenas um.

Sobre a existência de um plano de transportes, 50 % das cidades grandes (com mais de 600 mil habitantes) disseram não possuir nenhum.

Em cerca de 25 % das cidades de pequeno e médio porte não há participação de técnicos da área em nenhuma decisão adotada nos transportes.

Os resultados obtidos reforçam o diagnóstico feito por ULYSSÉA NETO e outros pesquisadores quanto a falta de recursos humanos qualificados.

Entre as vantagens da utilização de modelos simplificados de transportes pode-se destacar uma, em especial: o aspecto didático-educacional, que certos modelos podem objetivar. Modelos desse tipo podem ser usados como ferramenta no treinamento de novos técnicos, auxiliar no desenvolvimento de uma linguagem comum, proporcionar discussões em torno de resultados e conceitos, não só para iniciandos como também para tomadores de decisão não especializados, além de demonstrarem as vantagens e limitações da própria modelagem.

O aspecto didático é uma das características predominantes do modelo **MACBUS**, conforme poderá ser constatado nos capítulos subseqüentes.

Verifica-se, através do quadro geral apresentado, a grande importância, especialmente para a realidade brasileira de país carente de recursos em geral, da generalização do uso e elaboração de modelos simplificados que, como afirma SILVA (1993), sejam capazes de transferir-se de um meio-ambiente "acadêmico" para um meio-ambiente "prático".

2.2 A UTILIZAÇÃO DE MODELOS SIMPLIFICADOS

ELANGO VAN & CROUCH (1992), em artigo sobre técnicas simplificadas para o planejamento de transportes em cidades de países em desenvolvimento, identificaram dois caminhos distintos em que modelos de transporte simplificados têm sido pesquisados. São eles:

- a) No processo de refinamento, simplificação ou generalização do modelo convencional de quatro etapas e;
- b) No desenvolvimento de novas famílias de modelos utilizando reputados conceitos matemáticos, econômicos ou comportamentais.

Nessa segunda categoria é que se situa a família de modelos gerada a partir do **TRANSCO**, entre os quais está o modelo **MACBUS**.

Inúmeros modelos utilizando técnicas simplificadas já foram elaborados e estão em uso em todo o mundo. Apenas para exemplificar: ELANGO VAN & CROUCH (1992) identificaram e avaliaram um total de 22 modelos simplificados de previsão de demanda de viagens, elaborados entre 1969 e 1984. Os modelos analisados

utilizam técnicas variadas, tais como métodos sintéticos, técnicas baseadas no modelo gravitacional e outras.

WILLUMSEN criou o modelo ME2 - **maximum entropy matrix estimation** - (WILLUMSEN e ZUYLEN, 1980, apud ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1990), um método simplificado de estimativa de viagens através de contagens de tráfego, cujo software (EMME/2) está, atualmente, sendo amplamente utilizado no auxílio às decisões de planejamento viário da cidade de São Paulo, através da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET).

Na categoria de modelos educacionais pode-se incluir os jogos simuladores (**Gaming Simulation**) do qual o GUTS é um exemplo reconhecido. Elaborado por WILLUMSEN & ORTÚZAR em 1985, o GUTS é um modelo simulador que funciona como um jogo e já foi utilizado em diversas universidades em mais de 10 países, incluindo o Brasil. O GUTS é um modelo de base simplificada.

A cidade simulada no GUTS é circular e apresenta uma perfeita simetria a partir de um ponto central. É dividida em um certo número de zonas concêntricas, e a rede básica é constituída de vias radiais e dois ou mais anéis viários concêntricos. A Figura 2.1 mostra a configuração da cidade no GUTS, bem como, a distribuição de empregos, residências e proprietários de veículos, que, como pode ser visto, também seguem o mesmo padrão de simetria.

Observa-se que certos padrões assumidos no GUTS se distanciam da realidade verificada nas cidades brasileiras. As curvas de densidade populacional e de propriedade de veículos apresentadas na Figura 2.1, não correspondem aos padrões encontrados na maioria das cidades médias e pequenas do Brasil.

No GUTS são considerados dois modos de transporte, carros e ônibus, operando livremente e em competição. O usuário do programa pode entrar com decisões a respeito das tarifas do transporte coletivo, níveis de serviço, implantação de faixas exclusivas, áreas de estacionamento e outros projetos. O programa simula o cenário estabelecido, checka as decisões tomadas e apresenta resultados anuais de forma a avaliar a validade das decisões assumidas. Os indicadores para avaliação podem ser:

o volume de tráfego, velocidades, divisão modal, tempos de viagem e até a performance financeira da companhia de ônibus.

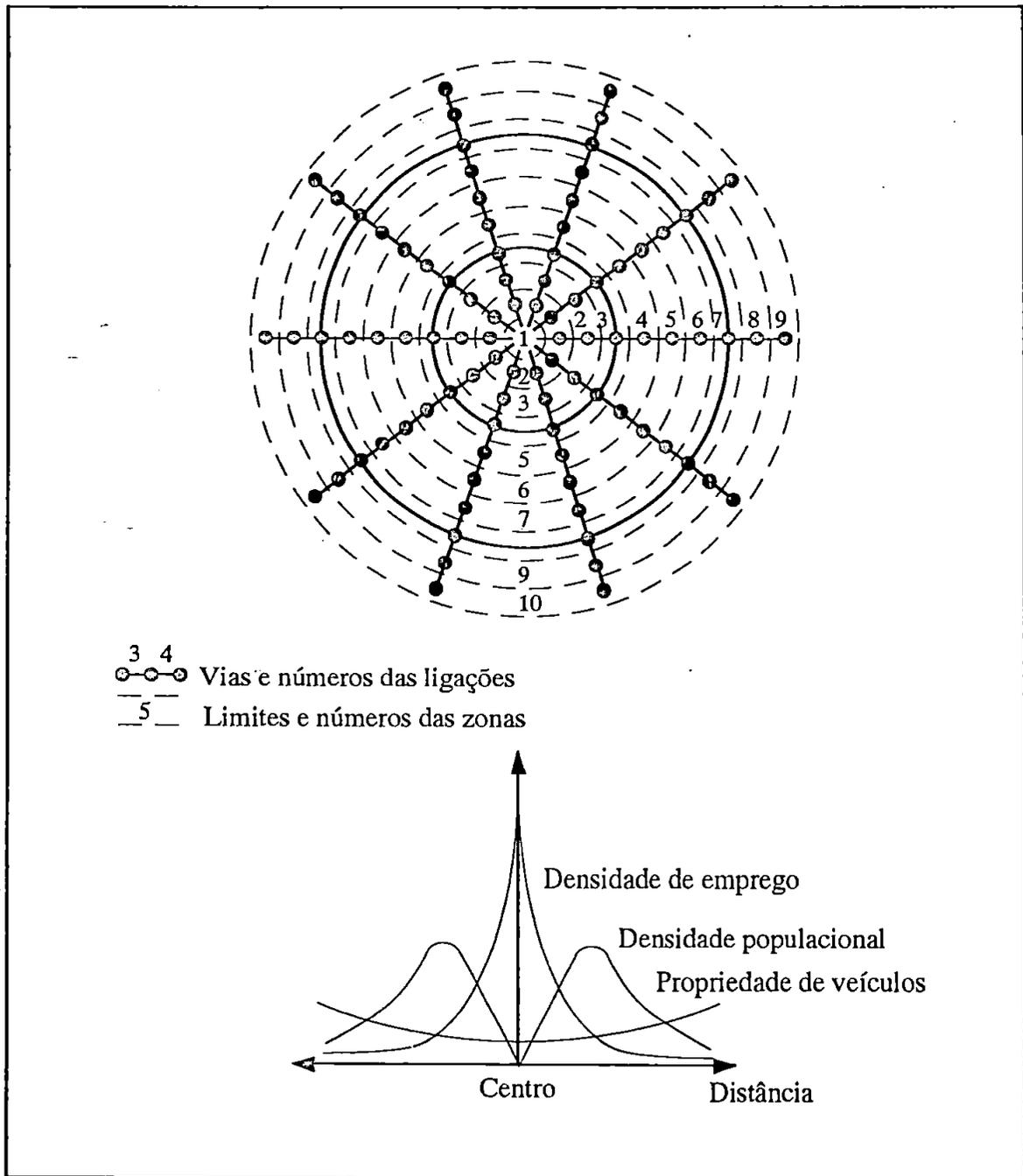


FIGURA 2.1 - Configuração da cidade e do sistema de transporte urbano no GUTS (FONTE: DIMITRIOU, 1990, p.300).

Com base exatamente nas mesmas premissas do GUTS, BONSALL, em 1992, desenvolveu o programa para uso em microcomputadores, denominado PLUTO

(**computer assisted training for transport planners**). Pela sua simplicidade e rapidez nas simulações, MAY (1993) o recomenda, não só para uso didático, como também para aplicações práticas, em fases preliminares de avaliação de projetos.

A capacidade desse tipo de modelo de fornecer respostas rápidas a uma gama variada de situações e políticas de transporte é útil, na medida em que torna mais fácil a compreensão da natureza de certas interações entre os elementos estratégicos, suas variações, seus efeitos e benefícios.

Modelos tais como o TRANSCO e o MACBUS, vem, de certo modo, imbuídos dos mesmos princípios didáticos e elucidativos. A sua concepção se justifica pelo fato de que são construídos com base em características típicas das cidades médias e pequenas brasileiras e tratam exclusivamente de questões atinentes ao transporte coletivo urbano.

No âmbito nacional existem inúmeros modelos elaborados em bases simplificadas. RODRIGUES & DI PIERRO (1981) estudaram relações existentes entre o uso do solo e transportes, explorando as possibilidades de atuação sobre o uso e ocupação do solo com vistas à indução de um perfil de viagens urbanas mais econômico energeticamente. Para o estudo, elaboraram um modelo de maximização de entropia para geração e distribuição de viagens de passageiros e aplicaram o mesmo em cidades hipotéticas montadas com base num perfil típico das cidades médias brasileiras.

SANCHES, em 1988, procurando criar uma metodologia genérica para análise de sistemas de transporte coletivo, que fosse simples e que utilizasse dados facilmente disponíveis, elaborou modelos agregados sintéticos. Esses modelos sintetizam os resultados de pesquisas de campo realizadas em algumas cidades típicas, para posterior utilização na estimativa da demanda de transporte em cidades similares.

Com o objetivo de avaliar os custos de transportes em cidades com diferentes características, SILVA (1993) elaborou o modelo META (Modelo para Estimativa de Custos de Transportes em Áreas Urbanas). O modelo, adaptado às condições de carência do país já mencionadas, é bastante simples. Está dividido em

quatro etapas, sendo duas das quais coincidentes com o modelo tradicional de quatro etapas: geração e distribuição de viagens. As outras duas etapas são a caracterização da cidade e o cálculo dos custos de transportes.

Também utilizando o processo tradicional de quatro etapas (geração, distribuição, divisão modal e alocação às redes), acrescido de um módulo de avaliação econômica, o MANTRA (Modelo de Análise e Planejamento Multimodal de Transportes), é um modelo recente, desenvolvido conjuntamente no Brasil e Inglaterra, que auxilia no processo de planejamento estratégico de transportes nas etapas de simulação e avaliação de alternativas. (LOGIT, s.d.)

Numa outra vertente de pesquisa, FERRAZ (1990), estudando os principais aspectos relacionados com a eficácia (nível de serviço) e eficiência (produtividade) dos sistemas de transporte coletivo nas cidades de porte médio, desenvolveu um modelo analítico original de custo agregado do transporte coletivo para cidades de porte médio, o qual é denominado TRANSCO. O TRANSCO é um modelo bastante simples, de fácil entendimento e didático, tanto do ponto de vista da representação do serviço de transporte coletivo por ônibus em cidades de porte médio e pequeno, quanto dos resultados teóricos que ele proporciona. O TRANSCO é também bastante genérico, na medida em que incorpora os principais fatores, quanto às características das cidades (forma, densidade etc.) e dos serviços (nível de serviço, custo operacional etc.), que influem no custo do transporte coletivo urbano.

Na seqüência do TRANSCO outros modelos simplificados foram desenvolvidos. O TRANSLIX, elaborado por AGUIAR & FERRAZ (1990), incorpora princípios básicos do TRANSCO para avaliar o impacto das características mais relevantes da cidade e do serviço de coleta no custo do transporte de lixo. Já o modelo TEMCO, elaborado por MACEDO em 1991, incorpora ao TRANSCO o fator tempo, permitindo avaliações quanto ao tempo dispendido nas viagens por transporte coletivo, em função das principais características da cidade e do serviço de transporte.

É a esta vertente que vem se juntar o modelo MACBUS, que foi desenvolvido com o objetivo de, respeitadas as premissas básicas do TRANSCO,

relaxar algumas de suas hipóteses mais restritivas, com o intuito de ampliar o espectro de situações hipotéticas simuláveis, bem como de aproximá-lo a situações reais e aplicações práticas.

2.3 ESTRUTURA DO MODELO MACBUS

Como mencionado, de forma geral, o **MACBUS** foi desenvolvido a partir do modelo **TRANSCO**. Como o modelo original, o **MACBUS** se caracteriza como um modelo analítico relativamente simples, que possibilita simular variações individuais ou conjuntas de diversos fatores, e verificar os impactos dessas variações no custo unitário do transporte coletivo. No entanto, a nova versão desenvolvida procura relaxar algumas das hipóteses mais restritivas do modelo original, de forma a ampliar o universo de situações a que o mesmo se presta.

O **MACBUS** fornece o custo do transporte coletivo por habitante, assim como o custo por passageiro (o custo por passageiro retrata o valor desembolsado pelo usuário a cada viagem por ele realizada), em função dos seguintes parâmetros: forma, população e densidade demográfica da cidade, fator de geração de viagens por transporte coletivo, frequência mínima de atendimento, distância máxima de caminhada dos usuários e capacidade e custo operacional dos ônibus.

O **TRANSCO** foi inicialmente desenvolvido para cidades com formato circular e em seguida, estendido para os outros seguintes formatos: setor circular (onde se enquadram as formas semicircular e duplo setor circular) e linear (retangular com uma dimensão dominante) com apenas dois padrões fixos de largura. Já o **MACBUS** foi desenvolvido para áreas urbanas de formato retangular com dimensões quaisquer, o que permite enquadrar de maneira aproximada todas as formas de cidade, inclusive descontinuidades.

Das principais hipóteses do TRANSCO o MACBUS incorporou: grande concentração de atividades e serviços na área central, transporte coletivo operado com veículos padronizados e uma rede constituída de rotas radiais, cada uma delas atendendo regiões específicas de igual área.

O TRANSCO considera uma ocupação homogênea do espaço urbano, com uma zona central de negócios, que representa o principal pólo de atração de demanda por transporte coletivo, localizado no centro geométrico da cidade. A nova versão (MACBUS) permite a localização da zona central de negócios em qualquer ponto geométrico da cidade e a ocupação do solo não mais necessita ser uniforme em todo espaço urbano, ou seja, é possível variar a densidade populacional, bem como o fator de geração de viagens por transporte coletivo, de qualquer região da cidade, trabalhando com áreas de ocupação e geração homogêneas.

No tocante ao sistema viário, a nova versão do modelo mantém a hipótese de uma rede de transporte coletivo constituída de rotas radiais e incorpora o traçado ortogonal das vias - característica típica das cidades médias e pequenas brasileiras.

O sistema de transporte coletivo adotado (conforme a configuração da rede e a estratégia de atendimento) conduz ao menor custo operacional possível para um nível de serviço pré-estabelecido (sistema ótimo), para as cidades com características semelhantes às do modelo.

O modelo se aplica às cidades de porte pequeno e médio, ou seja, com população inferior a 500 mil habitantes, uma vez que, para cidades de grande porte as hipóteses simplificadoras adotadas geralmente não se adaptam.

3 O MODELO MACBUS

Neste capítulo é apresentado o modelo **MACBUS (MODELO PARA AVALIAÇÃO DO CUSTO DO TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS)**, desenvolvido com o objetivo de, simplificadaamente, reunir diversos fatores, endógenos e exógenos, que afetam o custo global do transporte público urbano, permitindo avaliar-se o impacto das características mais relevantes das cidades e dos serviços de ônibus, no custo do transporte coletivo.

Este capítulo está dividido em três partes. A primeira traz uma introdução ao modelo, com as considerações teóricas utilizadas na elaboração do mesmo. A segunda parte traz a descrição, passo a passo, da lógica do modelo, e na terceira parte é apresentada a introdução ao esquema de aplicação do modelo através de um programa de computador.

3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Antes de entrar na descrição do modelo propriamente dito, cabe aqui esclarecer algumas das hipóteses e estratégias adotadas.

O modelo parte de uma estratégia de operação em que, numa rede composta de rotas radiais atendendo regiões específicas, são utilizados veículos padronizados, que, através de um sistema viário constituído de malha ortogonal, atingem a zona central de negócios.

A zona central de negócios (ZCN) é uma denominação utilizada por FERRAZ (1990) para designar a área das cidades onde se concentram os estabelecimentos comerciais e de serviços e que é referida como "**Central Business District - CBD**" pelos norte-americanos. Ainda segundo FERRAZ (1990, p.59), "a ZCN é, de forma díspar, o maior pólo de atração da demanda por transporte coletivo nas cidades médias brasileiras".

No Quadro 3.1 são mostrados dados reais relativos à distribuição espacial, num dia útil, da demanda por transporte público em Araraquara e São José do Rio Preto, duas cidades médias do interior do Estado de São Paulo.

QUADRO 3.1 - Distribuição espacial da demanda num dia útil em duas cidades médias.

Pólos de Atração	Araraquara(a)	São José do Rio Preto(b)
	(%)	(%)
Zona Central de Negócios	67,0	66,3
Terminal Rodoviário	5,1	4,3
Distritos Industriais	4,1	4,0
Campus Universitário	3,2	3,8
Demais	20,6	21,6

(a)Fonte: FIPAI (1987)

(b)Fonte: PROTRAN (1985)

(apud FERRAZ, 1990, p.60).

Nota-se que nessas duas cidades a atração exercida pela ZCN é da ordem de 67 % do total de viagens. Outros pólos considerados de alguma importância como Campus Universitário, Terminal Rodoviário e Distritos Industriais, que neste trabalho são chamados de pólos secundários, atraem cada um aproximadamente 4 % das viagens. Verifica-se ainda que cerca de 21 % das viagens são dirigidas para pontos dispersos distribuídos no meio urbano.

Segundo FERRAZ (1990, p.60), "esse quadro, que pode ser considerado típico das cidades médias do país, sugere, de forma inequívoca, a utilização de redes de transporte público urbano radiais".

Pode-se concluir também que, apesar da maior parte da demanda se constituir de viagens com destino à zona central de negócios, existe um grande contingente de viagens distribuídas no meio urbano.

As viagens dispersas no meio urbano, as viagens com destino à pólos secundários, bem como as viagens com destino à zona central de negócios estão contempladas no modelo MACBUS.

As viagens entre duas zonas de moradia comuns são automaticamente levadas em conta, pois estão incluídas no fator de geração de viagens.

Uma das hipóteses admitidas na formulação do modelo é que essas viagens, com origem e destino fora da área central, são realizadas em duas etapas, com transbordo na região central: na primeira etapa o usuário se desloca da zona de origem até a zona central, nessa transfere-se de um veículo para outro, trocando de linha para realizar a segunda etapa da viagem (centro - zona de destino).

As viagens com destino à pólos secundários também são admitidas como efetuadas via centro e, portanto, estão computadas no fator de geração de viagens, no que tange ao trecho zona de moradia - zona central. A segunda parte da viagem, pólo principal (ZCN) - pólo secundário, é levada em conta no modelo, através da criação de linhas que atendam independentemente a cada pólo secundário considerado (uma linha para cada pólo secundário considerado). Levando-se em conta a participação percentual das viagens atraídas por cada pólo secundário em relação ao total de

viagens e a distância de cada pólo secundário ao pólo principal (ZCN), mantendo-se um dado nível de serviço, obtém-se a participação provocada pela existência de pólos secundários no custo global do transporte coletivo urbano.

Como já mencionado, o modelo adota uma configuração de rede formada por rotas radiais, sendo que cada rota atende a uma região específica. Essas regiões são denominadas, no modelo, de zonas ou áreas individuais de atendimento (AR). Apresentam uma configuração geométrica retangular, conforme mostrado na Figura 3.1.

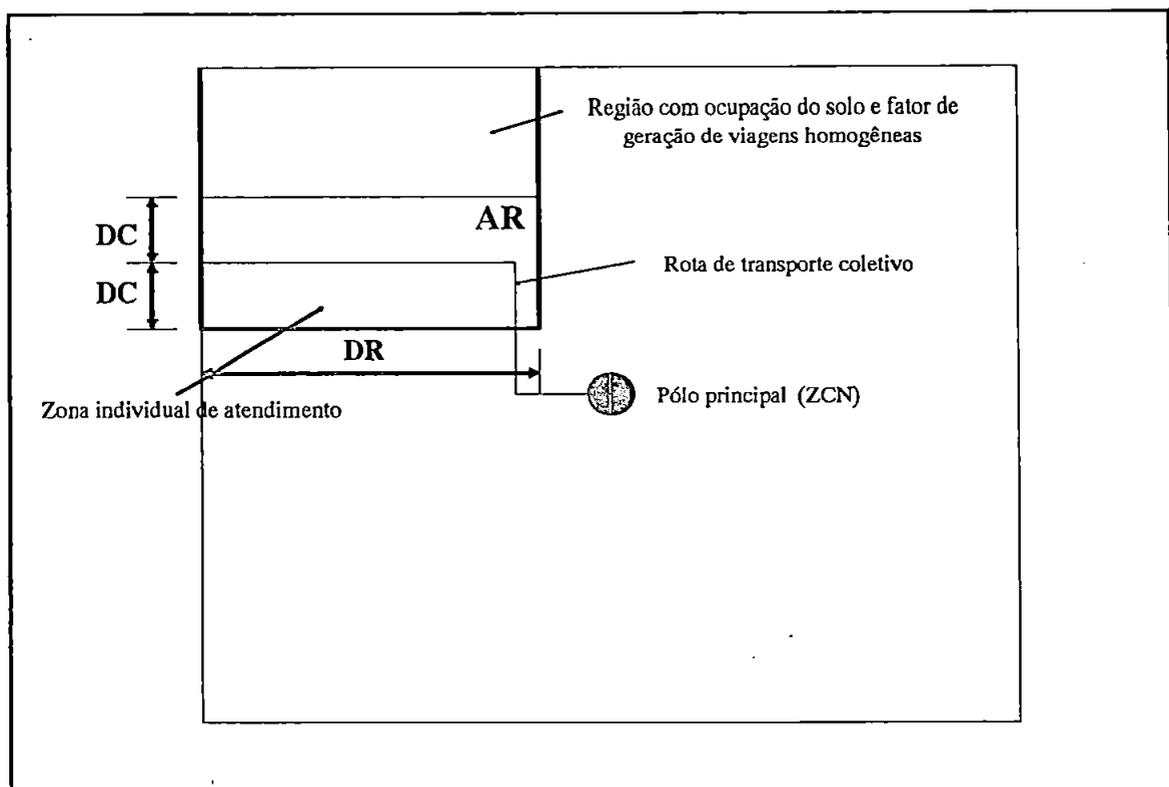


FIGURA 3.1 - Esquema do atendimento por transporte coletivo adotado no modelo MACBUS.

A acessibilidade ao sistema de transporte coletivo é um dos parâmetros que influem na qualidade do serviço de transporte e está relacionada com a distância que os usuários tem que caminhar ao utilizarem o transporte coletivo na realização de uma viagem. Compreende a distância da origem da viagem até a via de passagem dos ônibus e da via em que o usuário desembarca até o destino final.

Esse parâmetro é levado em conta no modelo por meio da distância máxima de caminhada (DC) imposta aos usuários. É um dos fatores condicionantes da geometria das zonas individuais de atendimento.

Com a configuração de rede adotada, os usuários que se deslocam de qualquer região para a zona central de negócios, ou vice-versa, utilizam um único veículo, e caminham no máximo DC, tanto para iniciarem como para completarem as viagens.

O segundo fator condicionante da geometria das zonas individuais de atendimento é exatamente o valor da área dessas regiões. Para se obter o máximo de eficiência na operação da rede admitida, o valor dessa área é alcançado igualando-se a demanda à oferta mínima admissível, que corresponde a operar com frequência mínima.

O valor dessa área é determinado pela seguinte expressão:

$$AR = \frac{FR \times CA}{(OC \times 100) \times GE} \quad (3.1)$$

Onde:

AR = valor da área das zonas individuais de atendimento de cada rota em km²;

FR = frequência mínima admissível em viagens/hora;

CA = capacidade do veículo de transporte em passageiros/viagem/sentido;

OC = densidade de ocupação do solo em habitantes/ha;

GE = fator de geração de viagens por transporte coletivo em viagens/hora/habitante/sentido.

Com o valor da área das zonas individuais de atendimento é possível obter-se o valor de DR, que é a dimensão do outro lado do retângulo que caracteriza a zona (ver Figura 3.1).

Portanto:

$$DR = \frac{AR}{2 \times DC} \quad (3.2)$$

Onde:

DC = distância máxima de caminhada em km;

AR = valor da área das zonas individuais de atendimento de cada rota, dado pela expressão 3.1, em km²;

A obtenção da máxima eficiência operacional, adotando uma operação com frequência mínima de atendimento, pode ser demonstrada através de um exemplo numérico simples, conforme mostrado a seguir.

Considera-se inicialmente operação feita com veículos de capacidade (CA) igual a 80 passageiros e frequência mínima aceitável (FR) de 2 viagens por hora (30 minutos entre atendimentos). Supondo que uma região a ser atendida gere 100 passageiros/hora/km² (OC x 100 x GE), cada linha deve cobrir zonas com área mínima (AR) igual a: $(80 \times 2) / 100 = 1,6 \text{ km}^2$. Admitindo que a distância de caminhada máxima (DC) deverá ser de 0,4 km e que as zonas tenham largura igual ao dobro da distância de caminhada máxima, portanto 0,8 km (2 x DC), o comprimento mínimo a ser coberto por cada linha (DR) deverá ser de: $1,6 / 0,8 = 2 \text{ km}$.

Considerando, agora, que se deva atender uma região de largura igual a 0,8 km e comprimento igual a 6 km, conforme mostrado na Figura 3.2.

Esse atendimento poderia, em princípio, ser feito com uma única linha de frequência igual a 6 viagens/hora ($6 \text{ km} \times 0,8 \text{ km} \times 100 \text{ pass/h/km}^2 / 80 \text{ pass/viag} = 6 \text{ viag/h}$), portanto, 10 minutos entre atendimentos. Nesse caso o percurso horário total (ida mais volta) dos veículos, na região, seria de 72 km ($6 \text{ viag/h} \times 6 \text{ km} \times 2 \text{ (ida e volta)} = 72 \text{ km}$). Num outro extremo (ver Figura 3.2), esse atendimento poderia ser feito com 3 linhas independentes, cada uma delas atendendo zonas individuais de comprimento igual a 2 km, com frequência igual a 2 viagens/hora. Essa segunda

situação levaria a um percurso horário total (ida mais volta) igual a 48 km ($2 \text{ viag/h} \times 2 \text{ (ida e volta)} \times (2 \text{ km} + 4 \text{ km} + 6 \text{ km}) = 48 \text{ km}$). Daí, conclui-se que o atendimento com uma única linha implicaria num acréscimo de 50 % no percurso total em relação à solução de 3 linhas independentes.

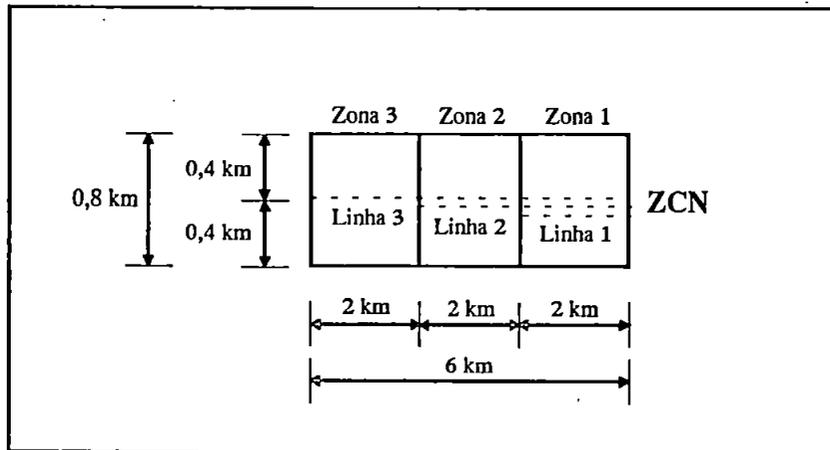


FIGURA 3.2 - Exemplo ilustrativo do atendimento com frequência mínima para eficiência máxima.

Fonte: FERRAZ, 1990.

Em vista do exposto, FERRAZ (1990, p.56) conclui:

"É possível inferir que, do ponto de vista da eficiência operacional, é recomendável que as extensões das linhas sejam determinadas de modo que as áreas das zonas de atendimento gerem demandas suficientes apenas para operação com a frequência mínima estabelecida. E mais: a linha deve ter forma retilínea, e a largura máxima da zona de atendimento deve ser igual ao dobro da distância máxima de caminhada dos usuários. Nessas condições obtém-se a eficiência operacional máxima para um dado nível de serviço (frequência de atendimento mínima e distância de caminhada máxima)".

A seguir são descritos os procedimentos necessários a aplicação do modelo.

3.2 DESCRIÇÃO DO MODELO MACBUS

A seqüência do modelo apresenta basicamente três macro-etapas, quais sejam: adequação da cidade (divisão em regiões homogêneas), cálculos parciais (basicamente quilometragem e custos para cada região homogênea) e cálculos globais (resultados finais para o conjunto da cidade).

3.2.1 Adequação da Cidade

Nesta fase inicial a cidade deve ser adaptada às condições de aplicabilidade do modelo, para tal deve-se acompanhar os procedimentos descritos a seguir:

- Seja uma cidade com contornos da mancha urbana definidos e malha viária predominantemente constituída de vias ortogonais.
- Localizar dentro ou nos limites da área da cidade o ponto correspondente ao pólo da cidade responsável pela maior atratividade de demanda por transporte coletivo (Zona Central de Negócios ou como aqui denominado, Pólo Principal).
- Traçar linhas correspondentes aos principais corredores de tráfego que acessam o pólo principal.
- Dividir a cidade em regiões de formato retangular. Essas regiões devem se caracterizar basicamente pela homogeneidade de dois elementos: a densidade populacional e o fator de geração de viagens por transporte coletivo.
- No caso de haver barreiras naturais ou artificiais significativas, tais como, rios, morros, rodovias, ferrovias etc, as mesmas devem ser levadas em conta na divisão

em regiões, pois podem se constituir em elementos naturais de separação de áreas urbanas.

- As regiões homogêneas que forem atravessadas pelas linhas correspondentes aos corredores de acesso ao pólo principal devem ser subdivididas, de modo que um dos lados das sub-regiões resultantes seja coincidente com a linha correspondente ao corredor.
- A região homogênea que porventura contiver o pólo principal deve ser subdividida, de modo a localizar o pólo num dos vértices de cada sub-região resultante.
- No caso de haver outros pólos de atração de viagens significativos, aqui denominados pólos secundários, os mesmos devem ser locados. Estes pólos secundários podem ser locados em qualquer ponto da cidade, internamente ou na divisa entre regiões, ou mesmo fora da mancha urbana.

A Figura 3.3 exemplifica a adequação simplificada de uma cidade hipotética.

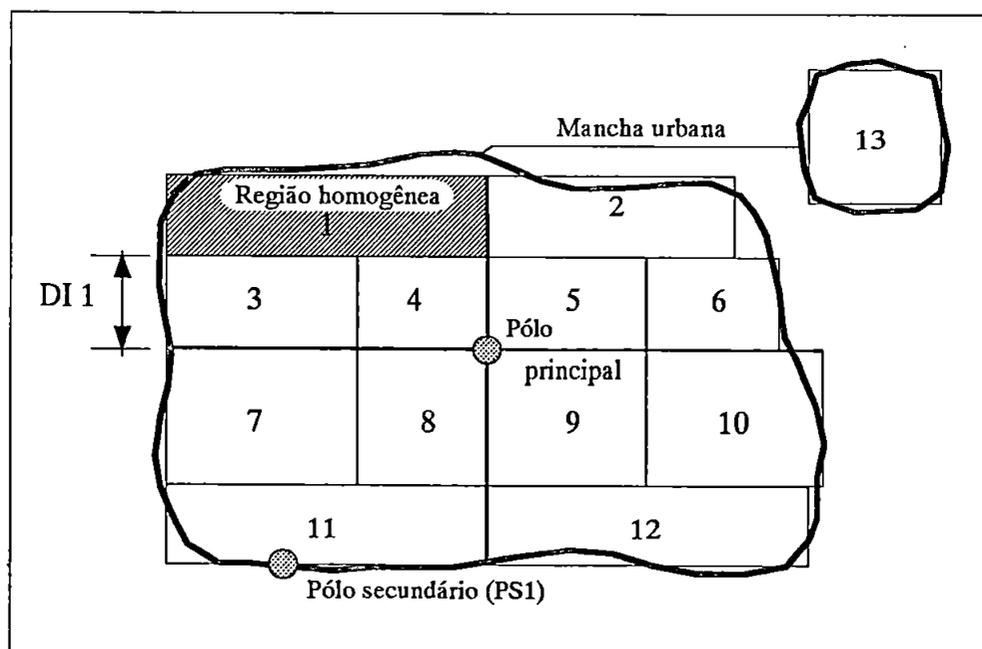


FIGURA 3.3 - Cidade hipotética adaptada à aplicação do modelo.

Definidas as regiões homogêneas, numerá-las de 1 à n. Para cada região homogênea deve-se saber:

- X e Y = dimensões, em km, dos dois lados do retângulo que constitui a região;
- DI = distância, em km, do pólo principal ao vértice da região mais próximo ao pólo principal, através do sistema viário existente. No caso da Figura 3.3, $DI = 0$ para as regiões 4, 5, 8 e 9;
- OC = densidade de ocupação do solo em habitantes/ha;
- GE = fator de geração de viagens por transporte coletivo em viagens/hora/habitante/sentido;
- FR = frequência mínima admissível em viagens/hora;
- CA = capacidade do veículo de transporte em passageiros/viagem/sentido;
- DC = distância máxima de caminhada em metros;
- CQ = custo operacional da frota de ônibus em US\$/km.

Para os fatores FR, CA e DC, que definem o nível de serviço desejado, e para o fator CQ, geralmente adotam-se valores válidos para toda a cidade, no entanto, como as simulações são feitas região a região, o modelo admite que também esses fatores sejam variáveis, permitindo a simulação de níveis de serviço e valores de custo operacional diferentes para cada região.

A extensão DI não necessariamente retrata a distância direta entre dois pontos, mas a distância entre esses pontos através do sistema viário existente. Dessa forma, pode-se levar em conta acréscimos de percurso devido a existência de obstáculos físicos entre os pontos, como por exemplo na transposição de rios, morros, estradas ou vias férreas, em que a passagem é feita através de um único ou poucos caminhos, por meio de pontes, viadutos, túneis etc.

3.2.2 Cálculos Parciais

Nesta fase se inicia a primeira etapa de cálculos, uma vez que o item anterior tratou basicamente do processo de preparação e entrada de dados.

A seqüência de cálculos é executada para cada região homogênea, visando obter-se a quilometragem percorrida por hora para atender a população da região, respeitadas as premissas do modelo. Uma vez calculada a quilometragem, pode-se obter o custo operacional advindo do serviço prestado.

A Figura 3.4 exemplifica o esquema de operação adotado no modelo para uma região homogênea.

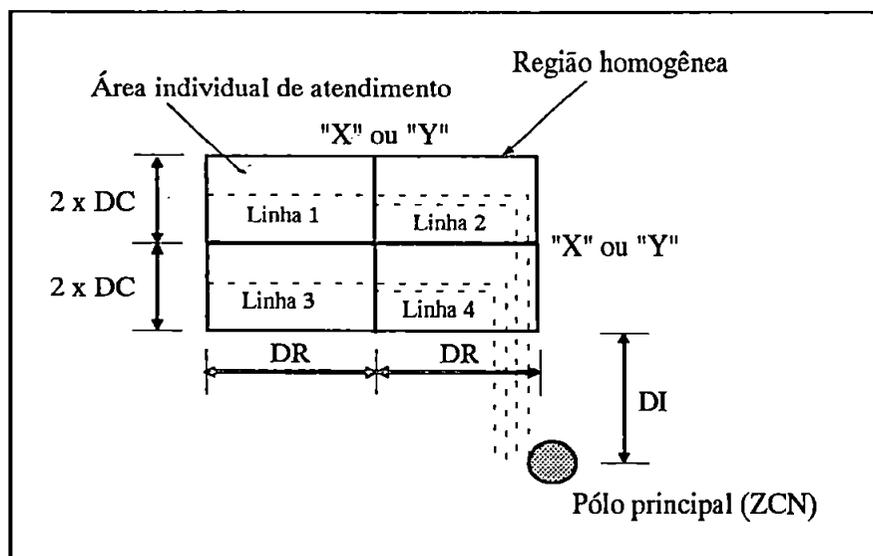


FIGURA 3.4 - Características de situação e operação em uma região homogênea.

Através das seguintes relações matemáticas, para cada região homogênea, calcula-se:

- O valor da área (AREA), em km^2 :

$$. \text{AREA}_n = X_n \times Y_n$$

- A população residente P, em habitantes:

$$P_n = AREA_n \times (OC_n \times 100)$$

- O número de passageiros, por hora, gerados na região (NP):

$$NP_n = (GE_n \times 2) \times P_n$$

- O valor da área individual de atendimento de cada rota, em km²:

$$AR_n = \frac{FR_n \times CA_n}{(OC_n \times 100) \times GE_n} \quad (3.1)$$

- A quilometragem percorrida por hora (Q):

A equação genérica para o cálculo da quilometragem é a seguinte:

$$Q_n = 2 \times FR_n \times \left[(Na_n \times DRR_n \times \sum_{i=1}^{Nbr_n} i) + (Nbr_n \times DCR_n \times \sum_{j=0}^{Na_n-1} (j+0,5)) + (Na_n \times Nbr_n \times DI_n) \right] \quad (3.3)$$

Onde:

Q_n = quilometragem total percorrida, por hora, pela(s) linha(s) que serve(m) a região n;

Na_n = número de divisões em um dos lados da região, função de DC;

Nbr_n = número ajustado de divisões no outro lado da região, função de DR;

DRR_n = extensão real de DR após a divisão em áreas de atendimento individual, em km;

DCR_n = valor real do dobro da distância máxima de caminhada após a divisão em áreas de atendimento individual, em km;

FR_n, DI_n = com os mesmos significados e unidades já citados.

Como pode ser visto na equação 3.3, a quilometragem é obtida com a multiplicação da frequência por dois (percursos de ida mais volta) e pela soma de três parcelas.

A primeira parcela corresponde a extensão percorrida pelas ligações, no sentido paralelo a dimensão DR. Na situação da Figura 3.4, essa parcela corresponde ao trecho horizontal das linhas, e portanto, é igual a $6 \times \text{DRR}$.

$$\cdot N_a = 2, N_{br} = 2$$

$$\cdot N_a \times \text{DRR} \times \sum_{i=1}^{N_{br}} i = 2 \times \text{DRR} \times (1 + 2) = 6 \times \text{DRR}$$

A segunda parcela traduz a extensão percorrida no sentido paralelo a dimensão DC. Na mesma Figura 3.4, está relacionada ao trecho vertical percorrido pelas linhas, dentro da região homogênea, logo, na Figura 3.4, é igual a $4 \times \text{DCR}$ ($\text{DCR} = 2 \times \text{DC}$).

$$\cdot N_{br} \times \text{DCR} \times \sum_{j=0}^{N_a-1} (j + 0,5) = 2 \times \text{DCR} \times (0,5 + 1,5) = 4 \times \text{DCR}$$

A terceira parcela corresponde a extensão percorrida fora da região homogênea, no trajeto até o pólo principal. Na Figura 3.4 está relacionada ao trecho vertical das linhas, fora da região homogênea e, portanto, é igual a $4 \times \text{DI}$.

$$\cdot N_a \times N_{br} \times \text{DI} = 2 \times 2 \times \text{DI} = 4 \times \text{DI}$$

Como visto, para o cálculo da quilometragem percorrida por hora, no atendimento à região homogênea, faz-se necessário dividi-la em módulos de área menor ou igual a AR correspondente, isto é, divide-se a região em áreas individuais de atendimento, em função da distância máxima de caminhada, em uma das dimensões, e em função de DR, na outra dimensão.

Na verdade, o que se procura é ajustar, da melhor maneira possível, as áreas de atendimento individual dentro da região homogênea e, dessa forma, obter a quilometragem mais econômica, e por conseguinte, o menor custo operacional possível para a situação estabelecida.

Para obtenção da quilometragem mais econômica, o modelo adota um procedimento que visa diminuir ou anular os efeitos de possíveis arredondamentos.

Dessa forma, mantém-se a premissa do modelo, que procura o menor custo operacional possível para um nível de serviço pré-estabelecido (sistema ótimo).

O procedimento para tal, deve ser o seguinte:

1º) Convenciona-se chamar por "A" e "B" as dimensões, em km, do retângulo que constitui a região homogênea. Portanto, numa primeira etapa:

$$. A_n = Y_n$$

$$. B_n = X_n$$

2º) Divisão em módulos - lado "A" (função de DC):

Para $Na_n = i + 1$, com i variando unitariamente a partir de zero, faz-se:

$$\frac{A_n}{Na_n} = DCR_n, \text{ até que, } DCR_n \leq \frac{DC_n \times 2}{1000}$$

Onde:

Na = número de divisões no lado "A" (número inteiro);

A , DCR , DC = com os mesmos significados e unidades já citados.

Dessa forma obtém-se o número de módulos no lado "A" e a largura de cada módulo, que é igual ao dobro da distância máxima de caminhada real para essa situação.

3º) Divisão em módulos - lado "B" (função de DR):

$$\cdot DR_n = \frac{AR_n}{DCR_n};$$

$$\cdot Nb_n = \frac{B_n}{DR_n}$$

Sabendo-se o valor de Nb_n (não necessariamente inteiro), parte-se para o cálculo da quilometragem.

Se Nb for igual a um número inteiro, o cálculo da quilometragem será executado conforme a equação 3.3, sendo que, nesse caso, $Nbr_n = Nb_n$ e $DRR_n = DR_n$. Portanto:

$$\cdot Q_n = 2 \times FR_n \times \left[(Na_n \times DR_n \times \sum_{i=1}^{Nb_n} i) + (Nb_n \times DCR_n \times \sum_{j=0}^{Na_n-1} (j+0,5)) + (Na_n \times Nb_n \times DI_n) \right]$$

Se Nb não for um número inteiro, e de forma a obter a quilometragem mais econômica, através de um ajuste entre oferta e demanda, o cálculo deverá ser feito a partir de um entre dois possíveis casos.

Para facilitar a compreensão, a cada caso segue um exemplo numérico.

1º caso - se $Nb_n < 1$

Quando $Nb_n < 1$, então, adota-se $Nbr_n = 1$ (Nbr = valor ajustado de Nb).

$\cdot Nbr_n = B_n / DRR_n$, como $Nbr_n = 1$, então:

$$\cdot DRR_n = B_n$$

A quilometragem é calculada através da seguinte expressão:

$$Q_n = 2 \times FR_n \times [(Na_n \times B_n) + (DCR_n \times \sum_{j=0}^{Na_n-1} (j+0,5)) + (Na_n \times DI_n)]$$

Para exemplificar, considere uma região homogênea com as seguintes características: dimensões "A" = 1,6 km e "B" = 3 km, DI = 2 km, OC = 40 hab/ha, GE = 0,01 viagem/h/hab/sentido, FR = 2 viagens/hora, CA = 50 pass/viagem e DC = 400 m.

Com base nesses dados, obtém-se:

$$AR = \frac{FR \times CA}{(OC \times 100) \times GE} = \frac{2 \times 50}{(40 \times 100) \times 0,01} = 2,5 \cdot \text{km}^2$$

Para $DCR \leq (DC \times 2) / 1000 \leq (400 \times 2) / 1000 \leq 0,8 \text{ km}$, Na deve ser igual a 2. Portanto, $Na = 2$ e $DCR = A / Na = 1,6 / 2 = 0,8 \text{ km}$.

$$DR = AR / DCR = 2,5 / 0,8 = 3,125 \text{ km}$$

$Nb = B / DR = 3 / 3,125 = 0,96 < 1$. Adota-se $Nbr = 1$ e, portanto, $DRR = B = 3 \text{ km}$.

$$Q = 2 \times FR \times [(Na \times B) + (DCR \times \sum_{j=0}^{Na-1} (j+0,5)) + (Na \times DI)] =$$

$$= 2 \times 2 \times [(2 \times 3) + (0,8 \times (0,5 + 1,5)) + (2 \times 2)] = 46,4 \text{ km}.$$

A Figura 3.5 ilustra a divisão da região.

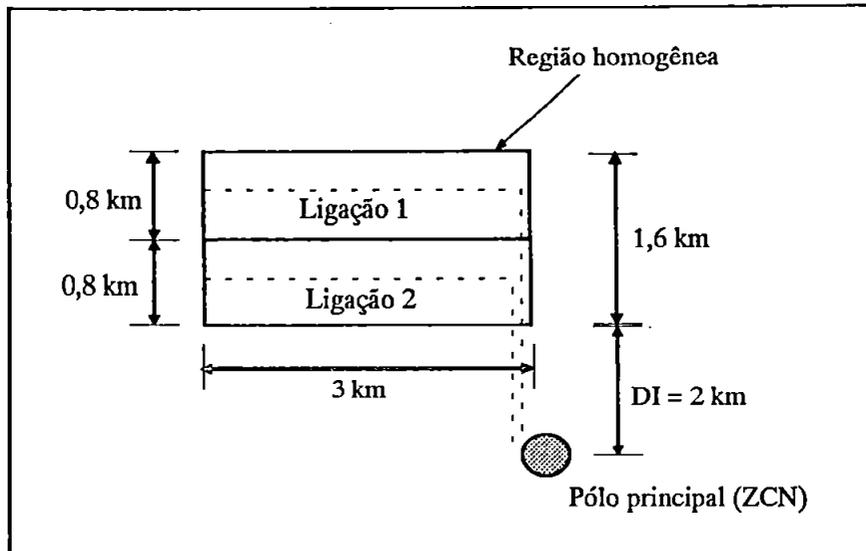


FIGURA 3.5 - Exemplo do esquema de atendimento em uma região homogênea.

2º caso - se $Nb_n > 1$

Nesse caso, a melhor forma de aproveitamento da área, em termos de utilização da oferta de transporte, é adotar-se áreas de atendimento individual um pouco maiores que as previamente calculadas com a frequência mínima. No entanto, como áreas maiores geram maior número de passageiros, será necessário calcular-se uma nova frequência (maior que a mínima), que dê atendimento a essa demanda.

Matematicamente, o cálculo da quilometragem segue da seguinte forma:

a) Adota-se para Nbr_n um valor igual a parte inteira de Nb_n . Por exemplo:

. $Nb = 1,3 \therefore Nbr = 1$

. $Nb = 4,8 \therefore Nbr = 4$

b) DRR_n , em km:

. $DRR_n = B_n / Nbr_n$

c) Nova área AR (NAR), em km²:

$$\cdot NAR_n = DRR_n \times DCR_n$$

d) Nova frequência mínima (NFR), em viagens/hora:

$$\cdot NFR_n = \frac{NAR_n \times (OC_n \times 100) \times GE_n}{CA_n}$$

e) Quilometragem percorrida por hora (Q):

$$\cdot Q_n = 2 \times NFR_n \times \left[(Na_n \times DRR_n \times \sum_{i=1}^{Nbr_n} i) + (Nbr_n \times DCR_n \times \sum_{j=0}^{Na_n-1} (j+0,5)) + (Na_n \times Nbr_n \times DI_n) \right]$$

Para exemplificar, considere uma região homogênea com as mesmas características do exemplo anterior e uma única alteração: dimensão "B" = 8 km.

Por conseguinte: AR = 2,5 km², DCR = 0,8 km, Na = 2 e DR = 3,125 km.

$$\cdot Nb = B / DR = 8 / 3,125 = 2,56, \text{ portanto, adota-se } Nbr = 2$$

$$\cdot DRR = B / Nbr = 8 / 2 = 4 \text{ km}$$

$$\cdot NAR = DRR \times DCR = 4 \times 0,8 = 3,2 \text{ km}^2$$

$$\cdot NFR = \frac{NAR \times (OC \times 100) \times GE}{CA} = \frac{3,2 \times (40 \times 100) \times 0,01}{50} = 2,56 \text{ viagens/hora}$$

(intervalo de 23,5 minutos entre atendimentos)

$$\begin{aligned}
 \cdot Q &= 2 \times \text{NFR} \times \left[(\text{Na} \times \text{DRR} \times \sum_{i=1}^{\text{Nbr}} i) + (\text{Nbr} \times \text{DCR} \times \sum_{j=0}^{\text{Na}-1} (j+0,5)) \right] + \\
 &\quad + (\text{Na} \times \text{Nbr} \times \text{DI}) = \\
 &= 2 \times 2,56 \times [(2 \times 4 \times (1 + 2)) + (2 \times 0,8 \times (0,5 + 1,5)) + (2 \times 2 \times 2)] = 180,22 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Se em vez de adotar $\text{Nbr} = 2$ e uma nova frequência, fôsse Nb arredondado para 3, mantendo-se a frequência mínima de 2 viagens/hora, o resultado seria:

$$\cdot \text{DRR} = B / \text{Nbr} = 8 / 3 = 2,67 \text{ km}$$

$$\begin{aligned}
 \cdot Q &= 2 \times \text{FR} \times \left[(\text{Na} \times \text{DRR} \times \sum_{i=1}^{\text{Nbr}} i) + (\text{Nbr} \times \text{DCR} \times \sum_{j=0}^{\text{Na}-1} (j+0,5)) \right] + \\
 &\quad + (\text{Na} \times \text{Nbr} \times \text{DI}) = \\
 &= 2 \times 2 \times [(2 \times 2,67 \times (1 + 2 + 3)) + (3 \times 0,8 \times (0,5 + 1,5)) + \\
 &\quad + (2 \times 3 \times 2)] = 195,36 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Portanto, menos econômico que no primeiro cálculo.

4º) Completada a primeira etapa de obtenção da quilometragem ótima, repete-se todo o procedimento com as dimensões da região homogênea invertidas, isto é, refaz-se os cálculos para:

$$\cdot A_n = X_n$$

$$\cdot B_n = Y_n$$

5º) Finalmente, adota-se para obtenção dos custos totais e médios o menor valor entre as duas quilometragens calculadas.

Em seguida, calcula-se o valor dos custos horários totais e médios por habitante e por passageiro.

- Custo total horário do serviço de transporte coletivo em US\$/hora (CT):

$$\cdot CT_n = CQ_n \times Q_n$$

- Custo médio horário do serviço de transporte coletivo em US\$/mil habitantes/hora (CM):

$$\cdot CM_n = \frac{CT_n}{P_n} \times 1000$$

- Custo médio do serviço de transporte coletivo em US\$/passageiro (CP):

$$\cdot CP_n = \frac{CT_n}{NP_n}$$

3.2.3 Cálculos Globais

Esta é a fase final, onde os resultados regionais são reunidos através de somatórias e outras expressões matemáticas simples, para obtenção dos valores globais para toda a cidade.

- Área da cidade (AC), em km²:

$$\cdot AC = \sum_{i=1}^n AREA_i$$

- População da cidade (PC), em habitantes:

$$. PC = \sum_{i=1}^n P_i$$

- Número de passageiros, por hora, gerados na cidade (NPC):

$$. NPC = \sum_{i=1}^n NP_i$$

- Quilometragem percorrida por hora, pelos ônibus em toda a cidade (QC):

$$. QC = \sum_{i=1}^n Q_i$$

- Índice de passageiros por quilômetro (IPK):

$$. IPK = \frac{NPC}{QC}$$

- Custo horário total do serviço de transporte coletivo para toda a cidade, em US\$/hora:

$$. CTC = \sum_{i=1}^n CT_i$$

- Custo médio horário do serviço de transporte coletivo para a cidade, em US\$/mil habitantes/hora (CMC):

$$. CMC = \frac{CTC}{PC} \times 1000$$

- Custo médio do serviço de transporte coletivo para a cidade, em US\$/passageiro (CPC):

$$. \text{CPC} = \frac{\text{CTC}}{\text{NPC}}$$

No caso de existirem pólos secundários significativos, esses acarretarão acréscimos na quilometragem percorrida total, alterando os custos globais do transporte coletivo. Para o cálculo desses acréscimos o modelo necessita, para cada pólo considerado, dos seguintes dados:

PS = porcentagem de passageiros atraídos pelo pólo secundário em relação ao total de passageiros transportados na cidade;

DS = distância, em km, do pólo principal ao pólo secundário, através do sistema viário;

FR = frequência mínima admissível, em viagens/hora;

CA = capacidade do veículo de transporte, em passageiros/viagem/sentido;

CQ = custo operacional dos ônibus que servirão o pólo secundário, em US\$/km.

Munido desses dados, calcula-se, para cada pólo considerado:

- Número de passageiros com destino ao pólo secundário (NS):

$$. \text{NS} = \frac{\text{PS} \times \text{NPC}}{100}$$

- Quilometragem horária percorrida nas viagens ao pólo secundário (QS):

Para obtenção da quilometragem, inicialmente calcula-se a frequência necessária (FS) para atender ao pólo, em viagens/hora:

$$. \text{FS} = \frac{\text{NS}}{\text{CA}}$$

. Se $\text{FS} \geq \text{FR}$, então:

$$. QS = FS \times 2 \times DS$$

. Se $FS < FR$, então:

$$. QS = FR \times 2 \times DS$$

-Custo horário do serviço de transporte coletivo no atendimento ao pólo, em US\$/hora (CS):

$$. CS = QS \times CQ$$

Uma vez calculados o número de passageiros, a quilometragem percorrida e o custo operacional para cada pólo secundário, obtém-se, através de somatórias, os acréscimos ocasionados pela existência desses pólos e, por conseguinte, os custos médios finais para toda a cidade:

- Acréscimo do número de passageiros devido ao(s) pólo(s) secundário(s) (NPS):

$$. NPS = \sum NS$$

-Acréscimo de quilometragem percorrida, por hora, pelos ônibus, devido ao(s) pólo(s) secundário(s) (QPS):

$$. QPS = \sum QS$$

-Acréscimo de custo horário do serviço de transporte coletivo devido ao(s) pólo(s) secundário(s), em US\$/hora (CPS):

$$. CPS = \sum CS$$

- Custo médio horário do serviço de transporte coletivo para a cidade, em US\$/mil habitantes/hora, com acréscimos devido ao(s) pólo(s) secundário(s) (CMS):

$$. CMS = \frac{CTC + CPS}{PC} \times 1000$$

- Custo médio do serviço de transporte coletivo para a cidade, em US\$/passageiro, com acréscimos devido ao(s) pólo(s) secundário(s) (CVS):

$$. CVS = \frac{CTC + CPS}{NPC + NPS} \times 1000$$

Apesar de apresentar uma seqüência relativamente extensa, verifica-se que a lógica do modelo MACBUS é simples e de fácil compreensão, além de ser constituído de rotinas facilmente programáveis.

O próximo item trata da transformação da lógica do modelo em um programa para computador.

3.3 O PROGRAMA PARA COMPUTADOR

Visando facilitar a sua aplicação, o modelo MACBUS foi transformado em um programa para computador em linguagem Pascal. A utilização dessa linguagem é apenas circunstancial, pois a simplicidade do modelo permite a sua programação em outros tipos de linguagem científica.

Como mencionado anteriormente, o caráter didático do modelo também revela-se no programa de aplicação. O Apêndice A, no final deste trabalho, apresenta a listagem completa do programa de computador preparado.

Criado com o intuito de agilizar as simulações a que se destina, o programa na verdade oferece ao usuário duas opções, como mostra a Figura 3.6, que reproduz a sua tela inicial.

"PROGRAMA MACBUS"

"Modelo para Avaliação do Custo do transporte coletivo por ôniBUS em cidades médias e pequenas"

Opções:

- digite "1" se desejar simulação considerando não homogeneidade (modelo discriminado por regiões) (MACBUS 1);

- digite "2" se desejar simulação considerando ocupação e geração de viagens homogêneas (modelo simplificado) (MACBUS 2);

- digite "3" se desejar sair do programa;

Opção desejada:

FIGURA 3.6 - Tela inicial do programa MACBUS.

A primeira opção, chamada de **MACBUS 1**, simula o modelo completo, isto é, tal e qual detalhado no item anterior, com a cidade dividida em regiões homogêneas.

A segunda opção (modelo simplificado), chamada de **MACBUS 2**, possibilita simulações comparativas mais ágeis, mas é, no entanto, mais restritiva.

Essa opção foi criada, para este trabalho, com o intuito de possibilitar comparações entre os resultados do modelo **MACBUS** e de seu predecessor: o modelo

TRANSCO. Para tal, considera, como o TRANSCO, uma ocupação homogênea do espaço urbano de toda a cidade.

Segue uma breve explanação do funcionamento da versão simplificada (MACBUS 2):

- a) O usuário entra com os parâmetros: frequência mínima admissível, capacidade do veículo de transporte, densidade de ocupação do solo, fator de geração de viagens por transporte coletivo, custo operacional e distância máxima de caminhada. Esses valores são válidos para toda a cidade;
- b) A forma da cidade é aproximada por uma figura retangular com ocupação do solo contínua. A forma retangular é determinada pelo usuário através da entrada da relação entre os lados (X e Y) da cidade. Por exemplo: relação entre lados X e Y igual a 1 - $(X/Y) = 1$ -, portanto, cidade com geometria aproximada por quadrado, que no caso pode ser aceita como similar a uma cidade circular;
- c) Admite-se a existência de apenas um pólo de atração de viagens: o pólo principal (ZCN), que, no entanto, pode ser locado em qualquer ponto da cidade, inclusive nas bordas ou vértices. O pólo é locado através da determinação de sua posição em relação as dimensões X e Y da cidade. Por exemplo: pólo locado a 0,5 de X e 0,5 de Y, portanto, no centro geométrico da cidade;
- d) Com a definição dos dados de entrada, o modelo fornece os resultados de quilometragem percorrida por hora, custo médio horário por habitante, custo médio por passageiro, o número de ligações ao pólo principal, a extensão média das ligações e o índice de passageiros por quilômetro (IPK), para cidades com a conformação desejada e populações variando de 20 mil a 1 milhão de habitantes - o limite de 1 milhão de habitantes foi fixado visando a compatibilização, para fins comparativos, com o modelo TRANSCO. Deve-se ter em mente, contudo, que o modelo MACBUS representa melhor o caso das cidades até 500 mil habitantes.

Para chegar aos resultados finais, a cidade é dividida em até quatro regiões, dependendo da localização do pólo de atração de viagens.

Se o pólo for locado num dos vértices do retângulo que delimita a cidade (caso "A" da Figura 3.7) têm-se uma única região. Com o pólo locado sobre uma das arestas que delimita a cidade (caso "B" da Figura 3.7) a mesma é dividida em duas regiões. No caso do pólo ser locado em qualquer lugar interno aos limites da cidade (caso "C" da Figura 3.7) a mesma será dividida em quatro regiões.

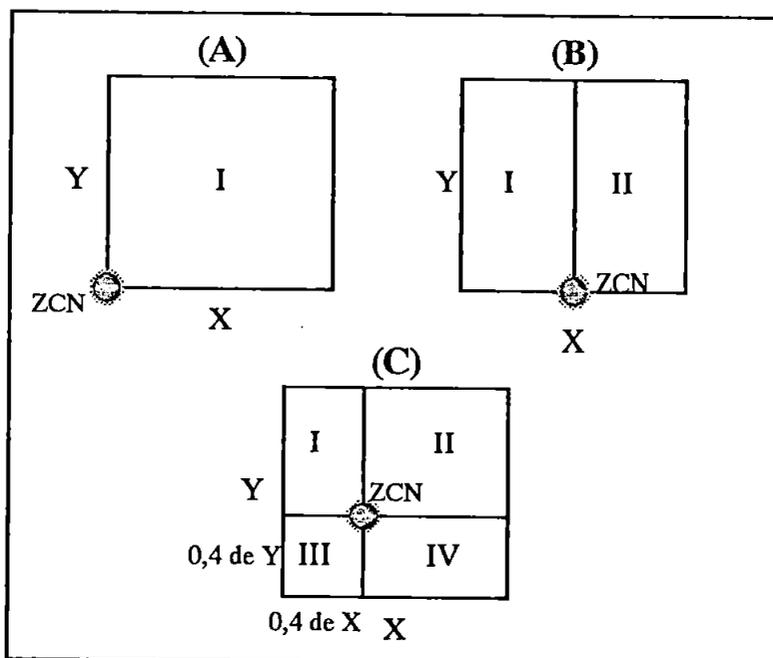


FIGURA 3.7 - Exemplo hipotético da divisão em regiões no MACBUS 2.

Através da determinação da relação entre os lados da cidade, e da posição do pólo principal, o modelo concede ao usuário a possibilidade de configurar, de forma aproximada, diversos formatos de cidades ou áreas urbanas. Essa característica do modelo permite a simulação de situações bem próximas da realidade. Por exemplo: uma cidade com relação entre lados igual a 1 (cidade quadrada) e pólo locado no centro geométrico, apresenta formato bastante similar a uma cidade circular (configuração mais comum encontrada nas cidades médias e pequenas); através da relação entre os lados pode-se montar qualquer tipo de cidade linear (uma dimensão

preponderante); com uma relação entre lados igual a 2 e pólo locado no ponto médio da borda do maior lado, configura-se uma cidade similar a forma semicircular.

Cabe lembrar, que nesta opção do modelo, entre as regiões, variam-se apenas as suas dimensões, já que os parâmetros (FR, CA, OC, GE, CQ e DC) serão iguais para todas elas.

Os cálculos parciais e globais são realizados conforme descrito nos itens 3.2.2 e 3.2.3, sendo apresentados apenas os valores globais para cada população considerada (20 mil, 50 mil, 100 mil, e assim por diante até 1 milhão de habitantes).

No Apêndice B são apresentados, para as duas opções (MACBUS 1 e 2), exemplos do esquema de aplicação, desde a entrada de dados até a saída dos resultados.

4 MODELOS TRANSCO E MACBUS: COMPARAÇÕES E APLICAÇÕES

Neste e no próximo capítulo, são apresentados resultados de diversas aplicações realizadas com o modelo MACBUS. Essas aplicações estão fundamentalmente relacionadas a características das cidades e do serviço de transporte coletivo urbano.

É sabido que diversos fatores interferem na operação do transporte coletivo urbano, alterando significativamente o valor do custo do serviço. Contribuem para tal as características da cidade e do uso do solo, e também as características do próprio serviço de transporte.

Quanto as características da cidade e uso do solo pode-se destacar a forma, o tamanho, o adensamento da cidade, o número de passageiros gerados, a localização dos pólos de atração de viagens, bem como obstáculos geográficos e outros, enquanto que no serviço de transporte, destaca-se a interferência da qualidade a ser ofertada, através da frequência mínima de atendimento, tipo e lotação dos ônibus e da distância máxima de caminhada imposta aos usuários.

Especificamente neste capítulo, são apresentados resultados de simulações realizadas utilizando-se o modelo simplificado (MACBUS 2), que considera, como o TRANSCO, ocupação contínua e homogênea do solo urbano. O objetivo é possibilitar algumas comparações entre os resultados produzidos pelo MACBUS e pelo TRANSCO, além de evidenciar a utilidade deste tipo de modelo

através de demonstrações gráficas da influência de diversos fatores no custo do transporte coletivo urbano.

Como mencionado anteriormente, uma das fortes características do modelo apresentado é o seu caráter didático, ao reunir, simplificada, diversos fatores que caracterizam o sistema de transporte coletivo urbano de cidades de pequeno e médio porte no Brasil. Os produtos obtidos com a aplicação do modelo revestem-se do mesmo caráter, comprovando de maneira teórica e didática, resultados que já foram até demonstrados de outras maneiras ou mesmo conhecidos na prática.

Na avaliação da influência de cada fator, foram adotados, para os outros parâmetros, valores de referência considerados típicos das cidades pequenas e médias brasileiras:

- Densidade de ocupação do solo: $OC = 40$ habitantes/hectare (4.000 habitantes/ km^2).
- Fator de geração de viagens por transporte coletivo: $GE = 0,01$ viagens/hora/habitante/sentido.
- Frequência mínima de atendimento aceitável: $FR = 2$ viagens/hora (intervalo máximo entre ônibus numa região igual a 30 minutos).
- Capacidade do veículo de transporte: $CA = 50$ passageiros/viagem/sentido (ônibus comum).
- Distância máxima de caminhada dos usuários aceitável: $DC = 400$ metros.
- Custo operacional da frota de ônibus: $CQ = US\$ 1,00/km$.
- Pólo principal: locado no centro geométrico das cidades, $x_C = 0,5$ e $y_C = 0,5$.

Além desses, foram adotados, nas simulações com o TRANSCO, mais dois parâmetros. São eles:

- Diâmetro (no caso das cidades com forma de setor circular) ou comprimento (no caso das cidades de formato linear), a partir do qual o transporte coletivo começa a se fazer necessário: $D0 = 2$ km.

- Coeficiente de direitura de rota máximo (relação entre os percursos por transporte coletivo e por transporte particular, considerando a origem ou o destino das viagens na Zona Central de Negócios - ZCN): $CD = 1,7$.

O valor do fator de geração de viagens $GE = 0,01$ viagens/hora/habitante/sentido foi obtido da seguinte maneira:

- Índice de mobilidade diária = $1,71$ viagens/dia/habitante - valor médio obtido para sete cidades médias brasileiras típicas, de acordo com estudos do GEIPOT realizados em 1985 (apud SANCHEZ, 1988, p.20).
- Percentagem de viagens realizadas por ônibus = $27,0\%$ - valor médio obtido para sete cidades médias brasileiras típicas, de acordo com estudos do GEIPOT realizados em 1985 (apud SANCHEZ, 1988, p.24).
- Total de viagens diárias realizadas por transporte coletivo = $0,27 \times 1,71 = 0,462$ viagens por ônibus/dia/habitante.
- Distribuição admitida para a demanda ao longo do dia: 4 horas de pico com o dobro da demanda das 15 horas restantes em que o movimento é considerado normal (admitindo 19 horas de operação diária) - estimativa baseada em levantamentos realizados em Araraquara e São José do Rio Preto apresentados respectivamente por FIPAI (1987) e PROTRAN (1985) (apud FERRAZ, 1990, p.93).
- Mobilidade média horária nas horas de movimento normal = $0,462 / (15 + 4 \times 2) = 0,02$ viagens/hora/habitante.
- Fator horário de geração de viagens por sentido nos períodos de movimento normal: $GE = 0,02 / 2 = 0,01$ viagens/hora/habitante/sentido.

Como pôde ser visto, o valor adotado para o fator de geração de viagens corresponde aos períodos de movimento normal. Nas cidades médias típicas, considerando a demanda por sentido, o número de horas de movimento normal supera em muito o número de horas de pico (80% contra 20%). Dessa forma verifica-se que,

do ponto de vista da eficiência operacional, a melhor alternativa é a utilização do valor de GE associado às horas de movimento normal.

Nesse esquema, os ônibus operam com frequência mínima nas horas de menor movimento e, teoricamente, com lotação completa no sentido de maior movimento. Nas horas de pico a frota é aumentada, continuando os veículos lotados no sentido de maior movimento, operando, no entanto, com frequência maior que a mínima.

Da mesma forma, a lotação adotada de 50 passageiros, refere-se às horas de movimento normal. Segundo FERRAZ (1990, p.36), a lotação máxima aceitável (nível de serviço regular) nos períodos de pico é de 90 % da capacidade do veículo, e de 67 % nos períodos de movimento normal. Tomando-se uma taxa de ocupação do veículo de 7 passageiros/m² (ocupação máxima aceitável), têm-se lotação máxima de 75 passageiros para os ônibus comuns e $(0,67 \times 75 = 50)$ 50 passageiros como lotação aceitável para as horas de movimento normal.

Como o objetivo do modelo é tão somente permitir a comparação dos custos associados às diferentes características da cidade e do serviço, e as viagens extras nos períodos de pico afetariam as várias situações, as análises serão feitas com base nos custos horários do transporte coletivo relativo aos períodos de movimento normal.

4.1 FORMA DA CIDADE

As primeiras simulações executadas procuram identificar a influência da forma das cidades no custo do transporte coletivo, em função da população urbana.

Formas lineares de cidades (retangulares com uma dimensão preponderante) podem ser simuladas tanto no TRANSCO quanto no MACBUS. Contudo, entre os dois modelos, existe uma diferença básica de tratamento desse tipo

de cidade. Esta divergência inviabiliza comparações diretas entre os resultados de simulações com cidades lineares entre os dois modelos, mas não altera a eficiência das comparações nos seus próprios ambientes.

O TRANSCO simula apenas dois tipos de cidades lineares, definidos em função da largura das mesmas: as cidades lineares "estreitas", que apresentam largura sempre igual ao dobro da distância de caminhada máxima dos usuários ($2 \times DC$) e; as cidades lineares "largas", que apresentam largura sempre igual a quatro vezes a distância de caminhada máxima dos usuários ($4 \times DC$). Essa restrição do modelo acaba ocasionando, em certos casos, um distanciamento considerável de situações reais, como mostrado no exemplo a seguir.

Considere cidades lineares "largas" e "estreitas" com ocupação do solo (OC) igual a 40 hab/ha (4.000 hab/km^2) e distância máxima de caminhada (DC) igual a 400 metros. Com uma população de 500 mil habitantes, a cidade linear "larga" terá uma largura igual a 1,6 km e comprimento de 78,125 km. Se a cidade for linear "estreita", terá largura igual a 0,8 km e comprimento de 156,25 km, isto é, um lado 195 vezes maior que o outro.

O MACBUS deixa a cargo do usuário a definição da linearidade, através da relação entre as dimensões X e Y da cidade. Por exemplo: uma cidade com um lado 10 vezes maior que outro (relação $X/Y = 10$) pode ser considerada como linear. Quando essa cidade atingir uma população de 500 mil habitantes e, admitindo os mesmos parâmetros do exemplo anterior, a mesma terá largura igual a 3,5 km e comprimento igual a 35 km.

A Figura 4.1 mostra os dados obtidos com a simulação dos formatos de cidade linear "larga" e "estreita", através do TRANSCO, e de dois formatos de cidades lineares utilizando o MACBUS - linear "10" (um lado 10 vezes maior que o outro) e linear "20" (um lado 20 vezes maior que o outro).

Depreende-se da Figura 4.1 que, quanto mais estreita a cidade maior é o custo do transporte coletivo. Como bem observou FERRAZ (1990, p.95), "essa é uma das razões que levam as aglomerações urbanas lineares muito compridas (desenho

comum nas cidades praianas) a ter diversos centros de comércio e serviços não muito distantes entre si."

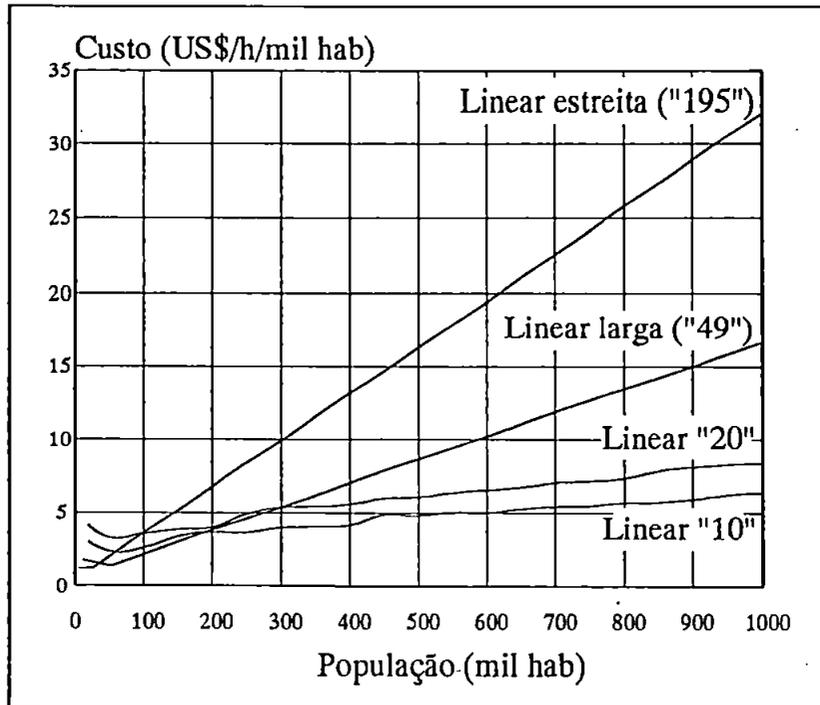


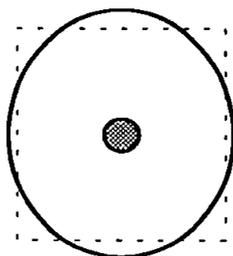
FIGURA 4.1 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, para diferentes formatos de cidade linear.

A Figura 4.2 mostra a influência de diferentes formatos de cidade, simuladas através do MACBUS e do TRANSCO, no custo do transporte coletivo, em função da população urbana.

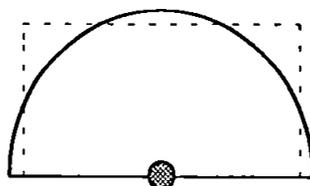
Através do TRANSCO foram simuladas cidades circulares, semicirculares e quarto de círculo. Pelo MACBUS foram simuladas cidades similares a essas, da seguinte forma:



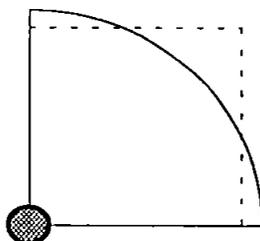
- cidade circular: relação entre lados igual a 1 e pólo de atração de viagens locado no centro geométrico da cidade;



- cidade semicircular: relação entre lados igual a 2 e pólo de atração de viagens locado no ponto médio, da borda, do maior lado da cidade;



- cidade quarto de círculo: relação entre lados igual a 1 e pólo de atração de viagens locado num dos vértices da cidade.



Através do comportamento das curvas, nos dois gráficos da Figura 4.2, se constata que qualquer que seja a forma da mancha urbana, o custo do transporte coletivo por habitante cresce com o aumento da população.

Verifica-se também que, a partir de 100 mil habitantes, no caso do MACBUS, e de 180 mil habitantes, no caso do TRANSCO, a cidade com formato circular (quadrada) é a mais econômica. Para populações inferiores, ocorrem variações

no custo médio devido ao nível de serviço pré-estabelecido nas simulações, isto é, não há demanda suficiente para aproveitar a oferta mínima especificada. Na prática, se observa que isto nem sempre ocorre, porque o dimensionamento da oferta é feito, muitas vezes, independentemente de um nível de serviço mínimo.

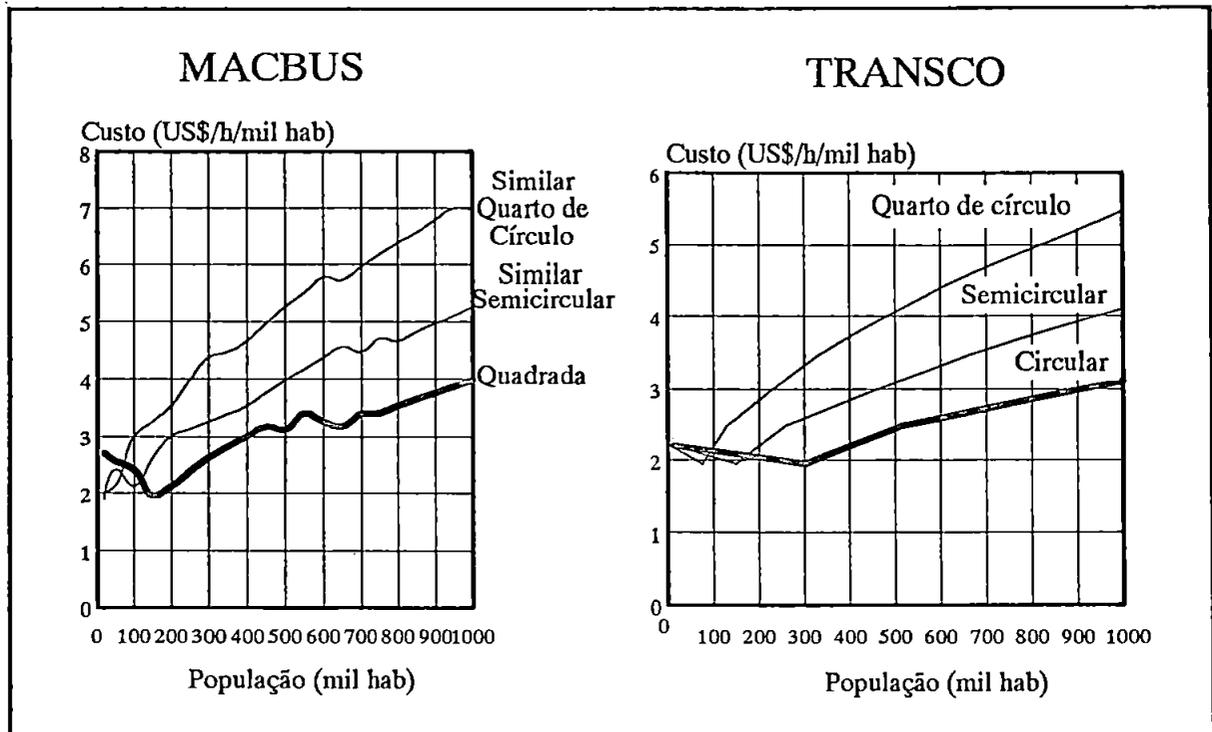


FIGURA 4.2 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, para diferentes formatos de cidade.

Comparando-se os resultados dos dois modelos se verifica uma semelhança muito grande no comportamento das curvas. No entanto, uma diferença importante ocorre nos valores do custo horário por habitante: o MACBUS fornece, em média, custos superiores em até 30 % aos apresentados pelo TRANSCO. Isto se deve, principalmente, a hipótese adotada no MACBUS de um sistema viário constituído de malha ortogonal - o que o aproxima muito mais à realidade existente nas cidades brasileiras. O TRANSCO trabalha com distâncias euclidianas - distância em linha reta entre dois pontos - , enquanto o MACBUS adota distâncias retangulares. Segundo NOVAES (1989, p.28):

"Nos estudos ligados a malhas urbanas é comum se adotar um acréscimo médio de 30 % sobre a distância euclidiana, para se obter uma primeira aproximação para a distância efetiva entre dois pontos. Essa correção, ainda que aproximada, parece representar bem as situações vigentes na maioria das cidades."

Outra diferença entre os modelos está no fato do TRANSCO admitir que, as pessoas que moram até a uma certa distância (D_0) da Zona Central de Negócios não utilizam o transporte coletivo para acessá-la. A versão simplificada do MACBUS não incorpora essa hipótese. Contudo, na versão completa (MACBUS 1), é possível admitir esse fato através da atribuição de um valor menor ao fator de geração de viagens às regiões próximas ao pólo principal de atração.

Os gráficos da Figura 4.3 mostram melhor as diferenças de custo entre os modelos. O gráfico "A" confronta a forma circular com a quadrada, o "B" e o "C" as formas semicircular e quarto de círculo com as respectivas formas similares no MACBUS.

As diferenças relativas entre custos não afetam análises e conclusões, já que o objetivo da versão simplificada do MACBUS é, tão somente, permitir a comparação dos custos associados às diferentes características da cidade e do serviço e as hipóteses consideradas são as mesmas para as diversas situações.

Nas análises da influência dos outros fatores no custo, levadas a efeito neste capítulo, serão enfocados apenas os formatos quadrado e linear "10" (um lado 10 vezes maior que o outro), uma vez que são os mais representativos de suas classes e os mais comuns no mundo real.

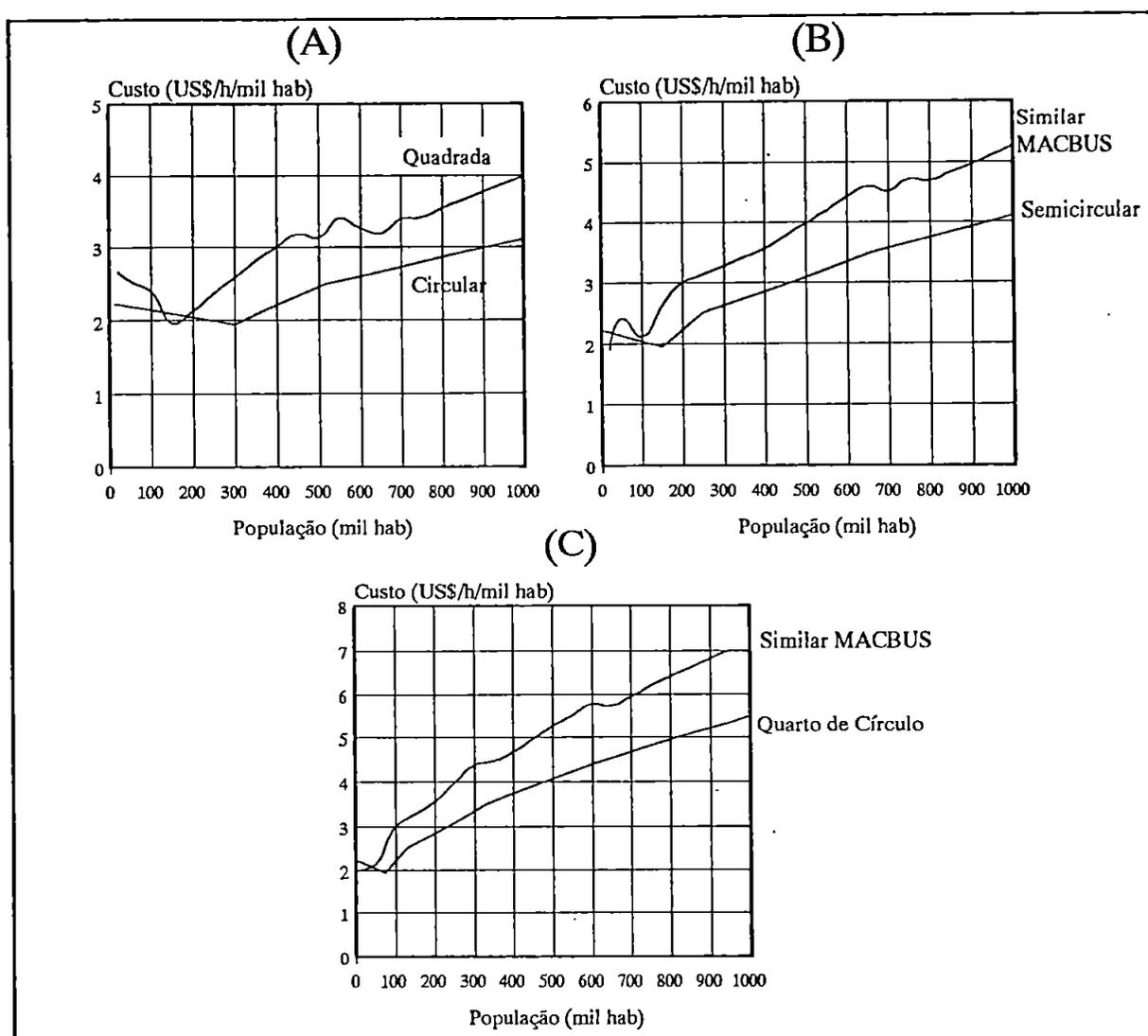


FIGURA 4.3 - Comparação entre resultados dos modelos TRANSCO e MACBUS, gerados a partir de diferentes formatos de cidade.

4.2 DENSIDADE POPULACIONAL

A influência dos diversos níveis de adensamento populacional no custo do transporte coletivo urbano é o assunto deste tópico.

As Figuras 4.4 e 4.5 mostram os reflexos causados no custo, para densidades de ocupação de 20, 40, 100 e 200 hab/ha, em cidades de vários portes

(população) com formato quadrado (Figura 4.4), e formato linear com um lado 10 vezes maior que o outro (Figura 4.5).

Por meio dessas figuras, se constata que, independentemente do formato da cidade, o custo médio do transporte coletivo diminui com o aumento da densidade populacional.

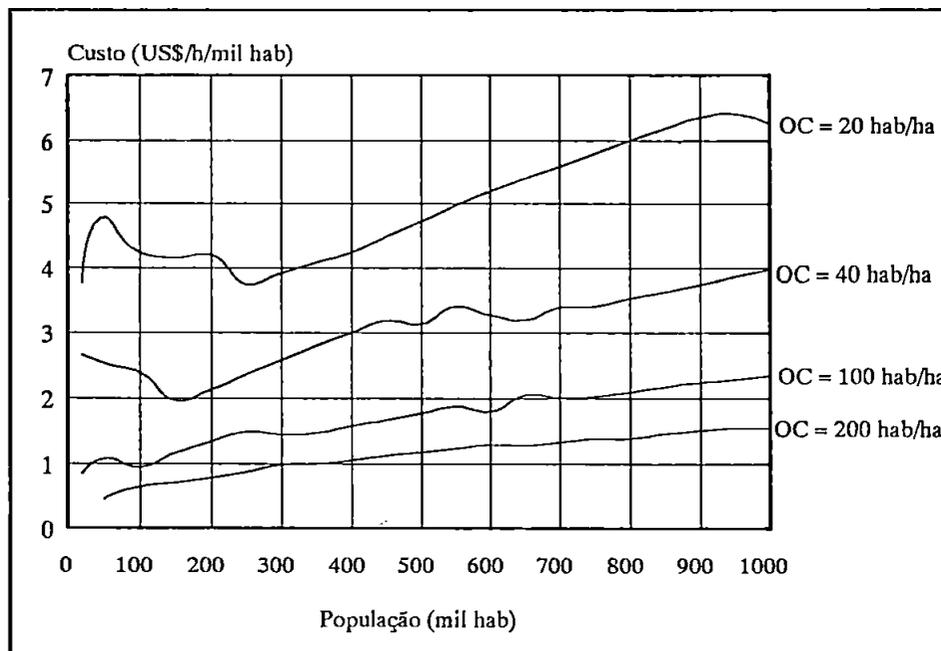


FIGURA 4.4 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, nas cidades quadradas, para diferentes densidades populacionais.

Tomando-se como referência para comparação uma cidade com população de 400 mil habitantes, verifica-se que quando se passa de uma densidade de 20 hab/ha para 40 hab/ha é possível reduzir em cerca de 30 % o custo médio do transporte coletivo, no caso das cidades quadradas, e em 36 % no caso das lineares. Se a mudança for de 40 hab/ha para 100 hab/ha, a redução é da ordem de 50 % para as cidades quadradas e 37 % para as lineares. Adensando-se de 40 hab/ha para 200 hab/ha as reduções percentuais são respectivamente da ordem de 65 % e 59 %, para as formas quadrada e linear.

O TRANSCO apresenta resultados semelhantes para o mesmo tipo de simulação. No caso de cidades circulares, a redução percentual é de 48 % na mudança de 40 hab/ha para 100 hab/ha, e de 67 % adensando-se de 40 hab/ha para 200 hab/ha.

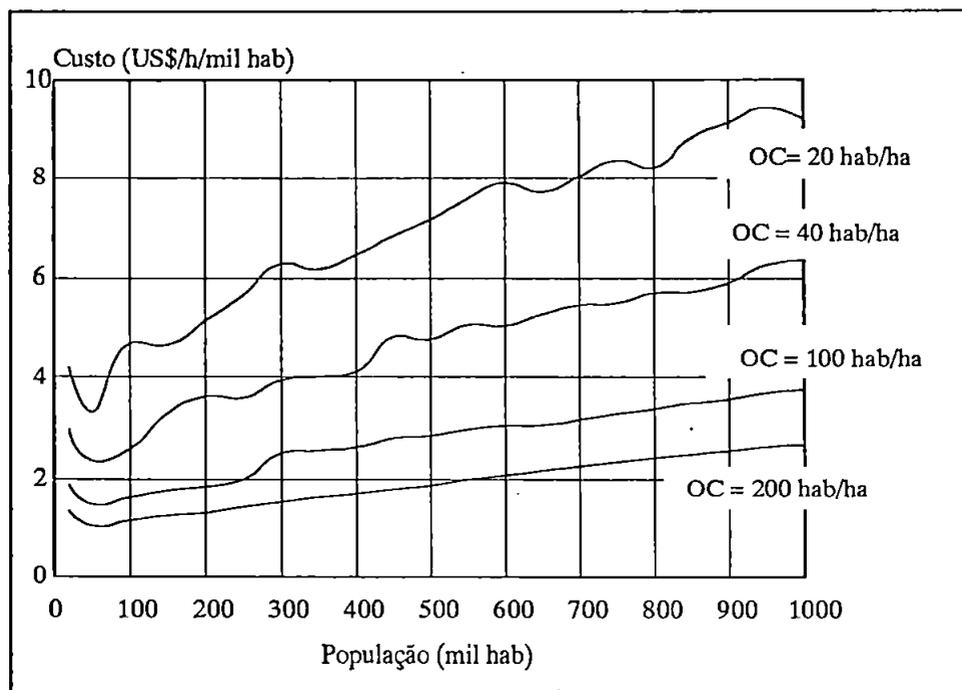


FIGURA 4.5 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes densidades populacionais.

A Figura 4.6 mostra de outra maneira os reflexos das densidades no custo médio do transporte coletivo. Desta feita para dois níveis de população (150 mil e 500 mil habitantes) e variando-se as densidades de 10 a 600 hab/ha.

Observa-se na Figura 4.6 que, embora haja uma variação nos custos para as duas cidades analisadas, o comportamento desses, em relação às densidades, é muito semelhante.

Para densidades muito baixas o custo do transporte é extremamente elevado. A elevação das densidades, até valores próximos de 200 hab/ha, traz uma redução bastante significativa no custo. A partir de 200 hab/ha, e até 600 hab/ha, ainda continua a haver redução, mas já bem menos intensa.

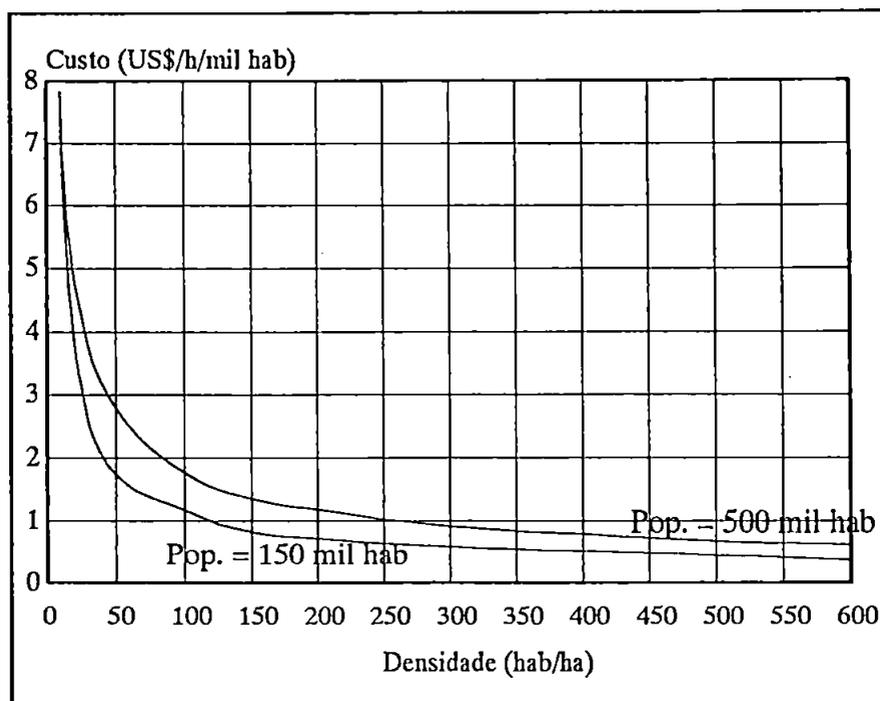


FIGURA 4.6 - Curvas do custo de transporte coletivo urbano, em função da densidade populacional.

Confirmando análises do item anterior, nota-se que quanto maior a população da cidade, maiores são os custos para a mesma densidade. A respeito disso, SILVA (1990, p.79) observa: "para que os custos sejam mantidos constantes, deve-se adensar cada vez mais as cidades à medida que elas crescem."

Verifica-se a grande importância da racionalização no preenchimento do solo urbano e os malefícios advindos da ociosidade na ocupação, que acarreta baixas densidades.

4.3 FATOR DE GERAÇÃO DE VIAGENS POR TRANSPORTE COLETIVO

O fator de geração de viagens traduz a intensidade de utilização do transporte coletivo.

A Figura 4.7 mostra, respectivamente, para as cidades quadradas e lineares "10", a sensibilidade do custo médio do serviço de transporte coletivo para a totalidade dos habitantes, em relação a intensidade de utilização dessa modalidade de transporte.

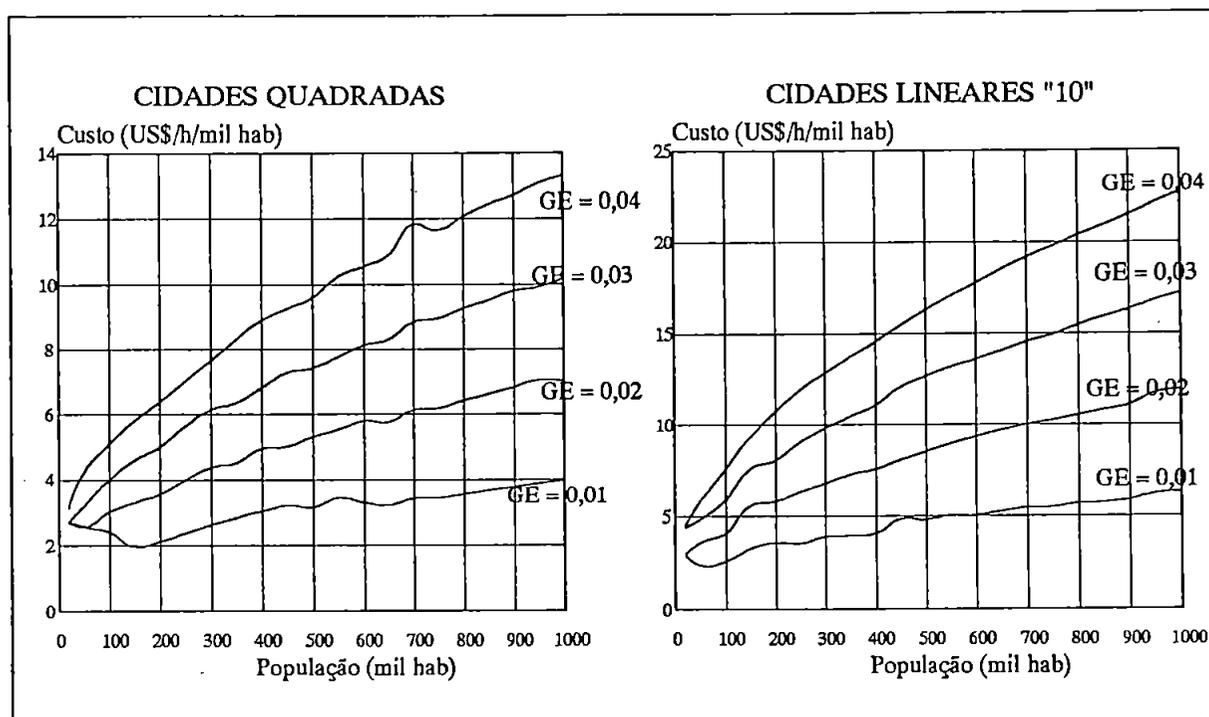


FIGURA 4.7 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, nas cidades quadradas e lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes fatores de geração de viagens.

Como era de se esperar, constata-se, através da Figura 4.7, que o custo médio do serviço por habitante cresce com o aumento da intensidade de utilização do sistema, pois aumenta-se a oferta acompanhando o aumento da demanda.

Verifica-se, na Figura 4.7, que o comportamento das curvas é muito semelhante entre cidades quadradas e lineares, alterando-se basicamente os valores de custo, que, para cidades lineares, é sempre maior.

Para cidades circulares, simuladas através do TRANSCO, o comportamento é o mesmo, conforme pode ser verificado pela Figura 4.8.

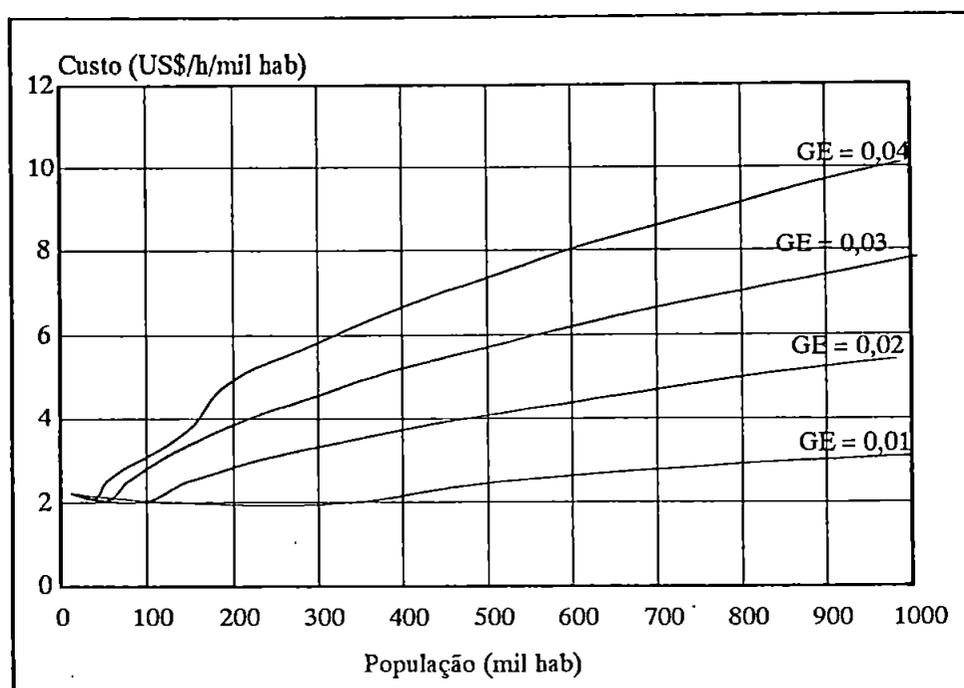


FIGURA 4.8 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, nas cidades circulares, para diferentes fatores de geração de viagens.

Os valores relativos de custo por habitante, tomando como referência uma cidade com população de 400 mil habitantes, confirmam a similaridade: formato circular - $C = 100$ para $GE = 0,01$ (valor de referência), $C = 162$ para $GE = 0,02$, $C = 231$ para $GE = 0,03$ e $C = 299$ para $GE = 0,04$; formato quadrado - $C = 100$ para $GE = 0,01$ (valor de referência), $C = 162$ para $GE = 0,02$, $C = 228$ para $GE = 0,03$ e $C = 296$ para $GE = 0,04$.

A Figura 4.9 mostra, para cidades quadradas e lineares "10", as variações do custo por passageiro em função da população, para diferentes valores do fator de geração de viagens.

É interessante notar que, com o aumento da demanda existe economia de escala, ou seja, o custo por passageiro diminui.

Conforme mostram os gráficos da Figura 4.9, ocorre uma significativa redução do custo por passageiro quando o fator de geração passa de 0,01 para 0,02. Daí em diante a diminuição do custo é muito pequena, principalmente nas cidades lineares.

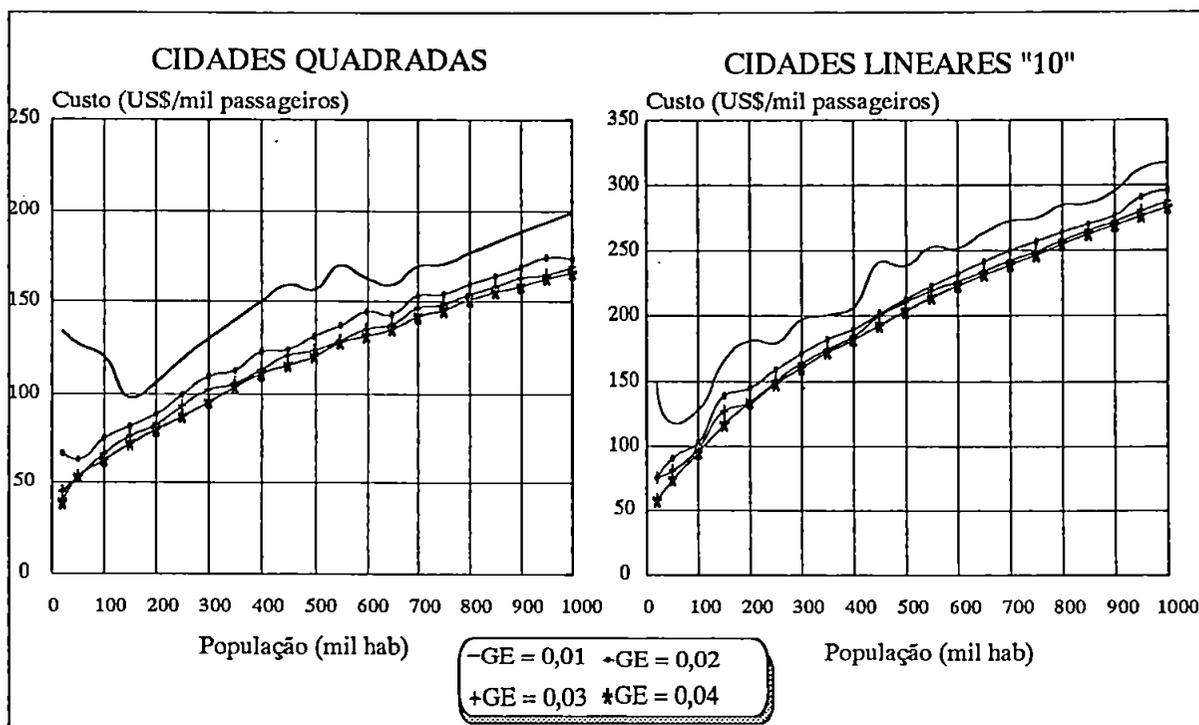


FIGURA 4.9 - Custo do transporte coletivo por passageiro x população, nas cidades quadradas e lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes fatores de geração de viagens.

Tomando novamente para comparação uma cidade com população de 400 mil habitantes, têm-se os seguintes valores relativos para o custo por passageiro: formato quadrado - $C = 100$ para $GE = 0,01$ (referência), $C = 82$ para $GE = 0,02$, $C = 75$ para $GE = 0,03$ e $C = 74$ para $GE = 0,04$; formato linear "10" - $C = 100$ para $GE = 0,01$ (referência), $C = 92$ para $GE = 0,02$, $C = 90$ para $GE = 0,03$ e $C = 88$ para $GE = 0,04$.

4.4 LOCALIZAÇÃO DO PÓLO PRINCIPAL

O modelo MACBUS permite localizar o pólo principal de atração de viagens por transporte coletivo (correspondente a Zona Central de Negócios), em qualquer ponto da mancha urbana. Dessa forma, através dos resultados das simulações realizadas para este tópico, pode-se verificar a influência do posicionamento do pólo principal em relação à mancha urbana, no custo médio do serviço de transporte coletivo para os habitantes das cidades.

As Figuras 4.10 e 4.11 mostram os resultados dessas simulações, para cidades de vários portes, com formato quadrado e linear "10", respectivamente.

Foram testadas quatro situações de localização do pólo:

- a) $x_c = 0,5 X$ e $y_c = 0,5 Y$, onde x_c e y_c correspondem às coordenadas do pólo em relação às dimensões X e Y da cidade. Portanto, neste caso, o pólo foi localizado no centro geométrico das cidades;
- b) $x_c = 0,25 X$ e $y_c = 0,25 Y$;
- c) $x_c = 0,5 X$ e $y_c = 0$, pólo localizado no ponto médio de uma das bordas das cidades;
- d) $x_c = 0$ e $y_c = 0$, pólo localizado num dos vértices das cidades.

Verifica-se que os custos aumentam, à medida em que ocorre o deslocamento da ZCN em relação ao centro geométrico das cidades.

Nos dois casos, a pior situação, destacadamente, é a localização do pólo num dos vértices das cidades.

Para as cidades lineares, verifica-se que o deslocamento do pólo do centro geométrico para o ponto médio do maior lado - situação encontrada em muitas cidades lineares - praticamente não acarreta alterações nos custos.

Tomando como referência uma cidade com população igual a 400 mil habitantes, o acréscimo de custo do transporte coletivo, verificado entre as situações "a" e "d", é de 40 % nas cidades quadradas, e de 84 % para as cidades lineares.

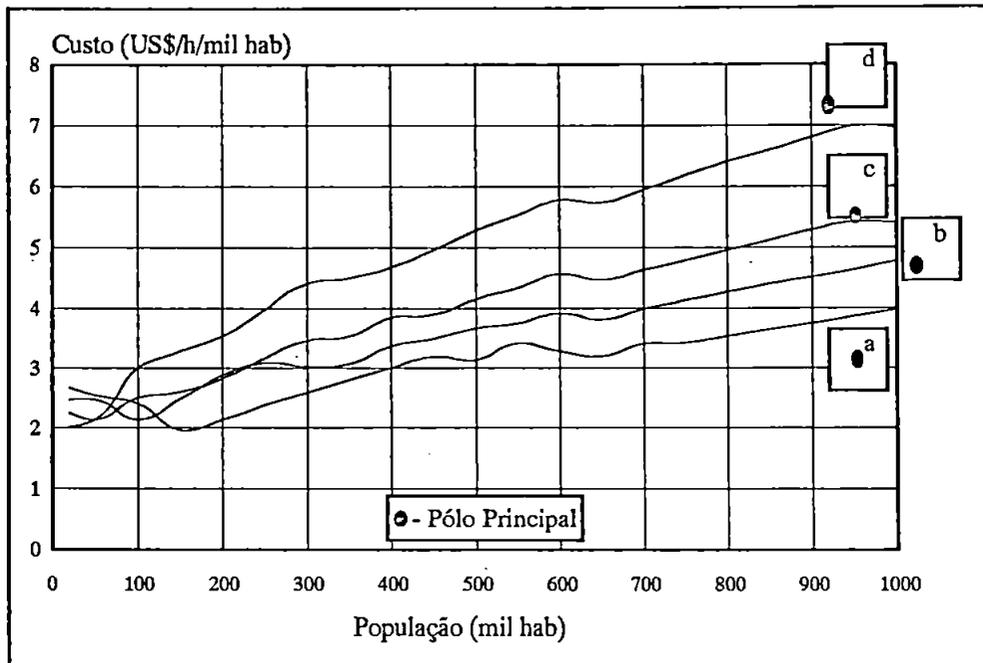


FIGURA 4.10 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades quadradas, para diferentes localizações do pólo principal.

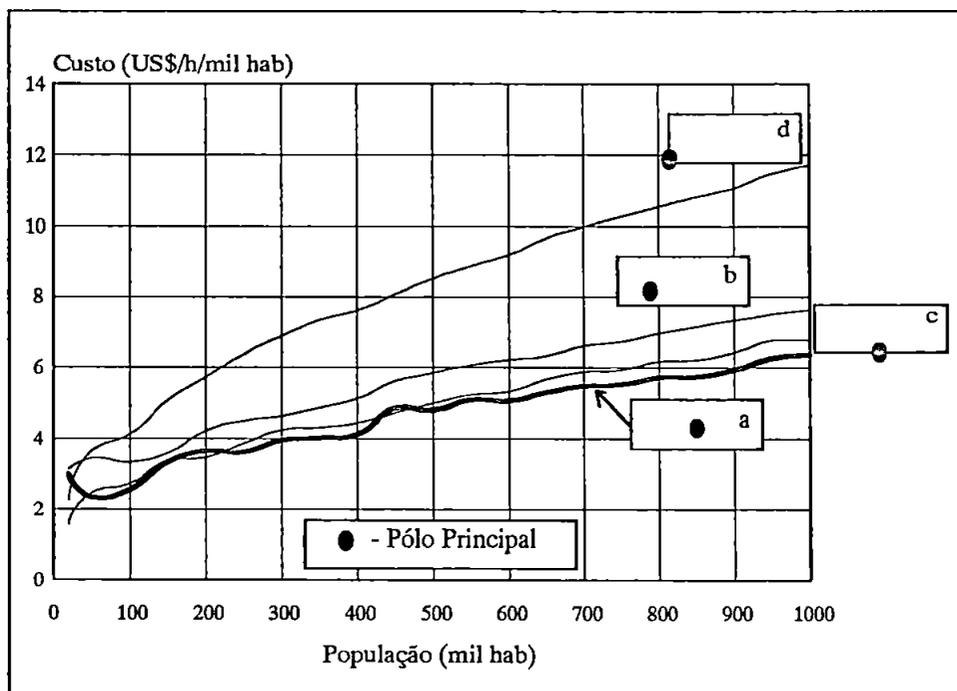


FIGURA 4.11 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades lineares, com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes localizações do pólo principal.

Constata-se, então, a importância do planejamento na expansão da mancha urbana das cidades. Os vetores de expansão devem ter, na medida do possível, sua orientação pré-determinada e devem ser monitorados permanentemente.

4.5 FREQUÊNCIA MÍNIMA DE ATENDIMENTO

A frequência mínima de atendimento está diretamente relacionada ao nível de serviço oferecido. Este tópico apresenta os reflexos no custo do transporte coletivo, quando da elevação do nível de serviço, através da variação da frequência mínima de atendimento.

Os resultados podem ser vistos nas Figuras 4.12, para cidades quadradas, e 4.13, para cidades lineares com um dos lados tendo 10 vezes o comprimento do outro. Foram consideradas para efeito de análise, frequências mínimas de 2 viagens/hora (intervalo de 30 minutos entre ônibus), 3 viagens/hora (intervalo de 20 minutos) e 4 viagens/hora (intervalo de 15 minutos).

Observa-se que, para as cidades quadradas, o custo do transporte coletivo é bastante sensível às variações da frequência para populações até 300 mil habitantes. Para as cidades com população entre 350 e 550 mil habitantes, nota-se que a diferença de custo para frequências de 2 e 3 viagens/hora é muito pequena, podendo-se dizer que, nesses casos, é possível oferecer um serviço de melhor qualidade com acréscimos insignificantes no custo.

É interessante notar que, para cidades com populações maiores que 650 mil habitantes, o custo é o mesmo para frequências de 3 ou 4 viagens/hora. Isso se deve às dimensões da cidade, que comporta áreas de atendimento individual maiores.

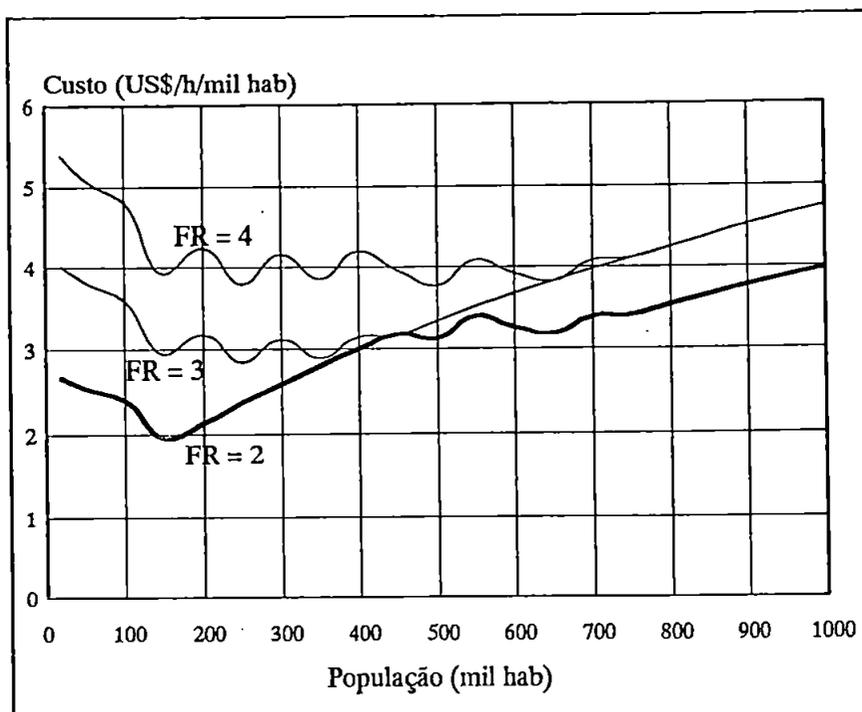


FIGURA 4.12 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades quadradas, para diferentes frequências de atendimento.

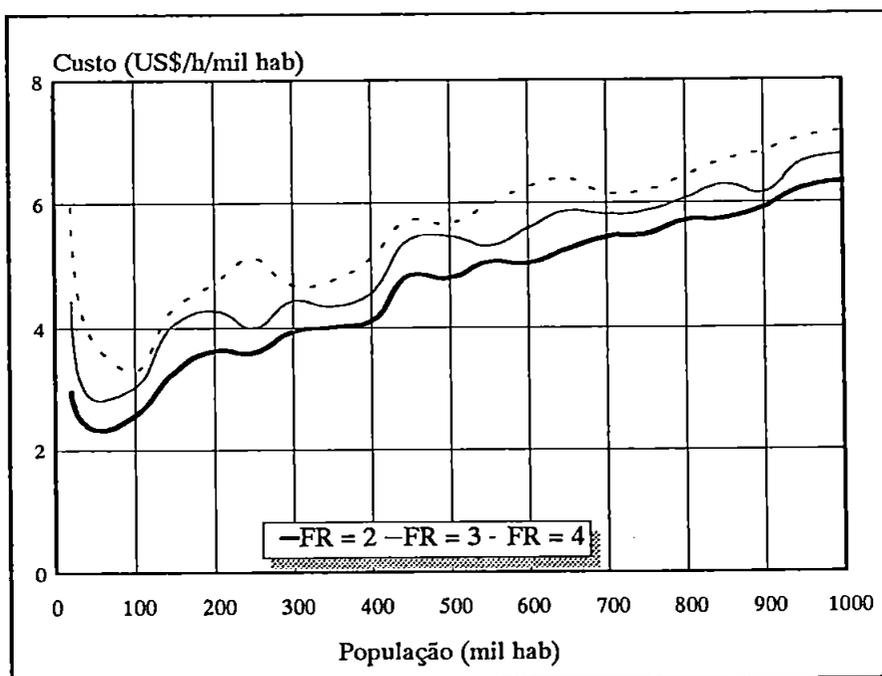


FIGURA 4.13 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes frequências de atendimento.

Nas cidades lineares, observa-se que a diferença dos custos, variando-se as frequências, permanece praticamente constante para qualquer porte de cidade. A mudança de nível de serviço implica em acréscimos de custo para qualquer situação de população.

Tomando como referência uma cidade com 400 mil habitantes, a elevação da frequência mínima de 2 para 3 viagens/hora, ou de 3 para 4 viagens/hora, implica num acréscimo médio de 11 % no custo do transporte coletivo. No entanto, em termos percentuais, o acréscimo diminui com o aumento da população, pois a diferença do custo permanece praticamente constante em valores absolutos.

4.6 DISTÂNCIA MÁXIMA DE CAMINHADA

A distância máxima de caminhada é outro importante fator na composição do nível de serviço ofertado aos usuários. Ela determina o grau de acessibilidade ao sistema, pois está relacionada com a distância que os usuários tem que caminhar ao utilizarem o transporte coletivo na realização de uma viagem.

As Figuras 4.14 e 4.15 mostram os impactos de variações da distância máxima de caminhada admissível, desta feita, no custo por passageiro, ou seja, no valor hipotético da tarifa da viagem, respectivamente para cidades quadradas e lineares "10" (um dos lados 10 vezes maior que o outro).

Foram considerados quatro níveis de acessibilidade ao sistema: 200 m, 400 m, 600 m e 800 m.

Como se pode observar, nas Figuras 4.14 e 4.15, as alterações ocorridas no custo do transporte coletivo, quando da variação da distância de caminhada de 600 m para 800 m, são muito pequenas ou até mesmo inexistentes em algumas faixas de população, tanto para as cidades quadradas, como para as lineares. Nota-se também que as cidades lineares são menos sensíveis às variações desse parâmetro, em razão

das restrições geométricas inerentes a relação forma da cidade x rede de transporte coletivo.

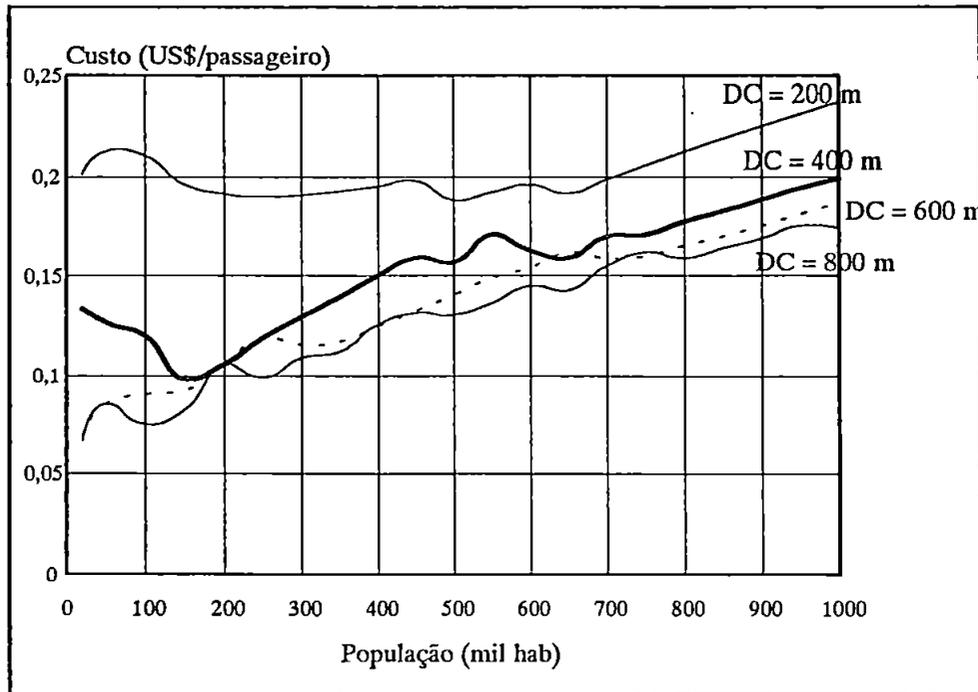


FIGURA 4.14 - Custo do transporte coletivo por passageiro x população, em cidades quadradas, para diferentes distâncias máximas de caminhada.

Segundo MERCEDES BENZ DO BRASIL (1987, p.8), entre as exigências dos usuários de um sistema de transporte coletivo urbano se incluem: distâncias curtas a pé para os pontos de parada tanto na origem quanto no destino da viagem e tarifas baixas. A distância de caminhada de 400 m parece ser realmente a que melhor equilibra a relação entre esses dois desejos. A sua diminuição traz acréscimos significativos ao custo, como mostram as Figuras 4.14 e 4.15, através da diferença entre as curvas correspondentes a 400 m e 200 m de caminhada. A sua elevação compromete o nível de serviço, sem corresponder em termos de diminuição de custos.

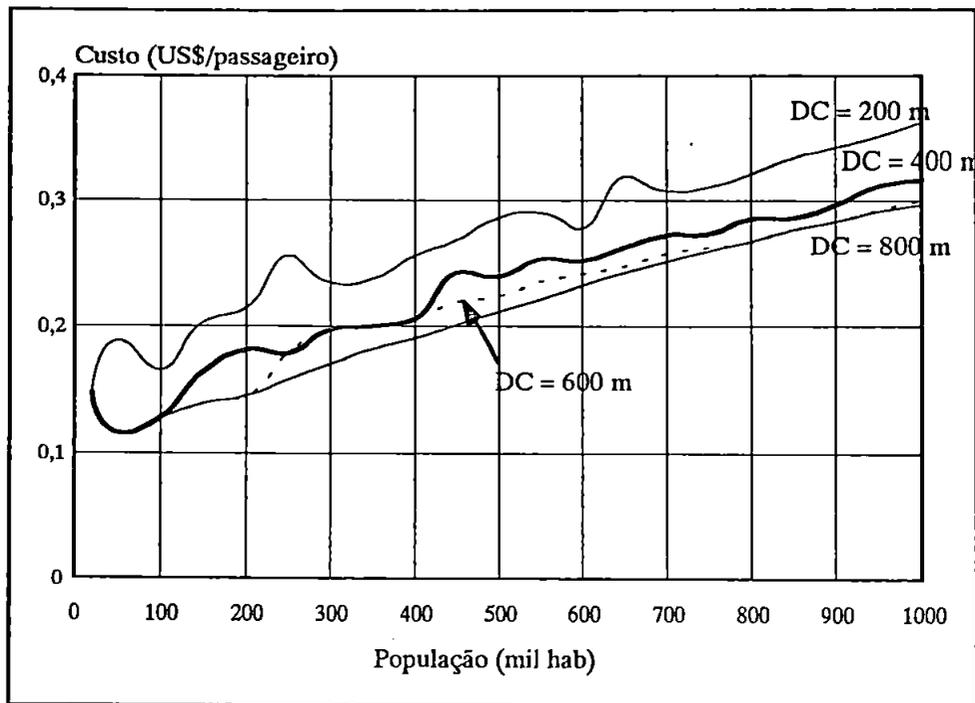


FIGURA 4.15 -Custo do transporte coletivo por passageiro x população, em cidades lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes distâncias máximas de caminhada.

Para uma avaliação quantitativa da variação do custo do transporte coletivo, toma-se como referência uma cidade com população de 400 mil habitantes. Nas cidades quadradas obtêm-se: tarifa = US\$ 0,15/passageiro para DC = 400 m (referência); tarifa = US\$ 0,20/passageiro para DC = 200 m (acrécimo de 33 %); e tarifa = US\$ 0,13/passageiro para DC = 600 m e DC = 800 m (redução de 13 %). Nas cidades lineares "10": tarifa = US\$ 0,21/passageiro para DC = 400 m (referência); tarifa = US\$ 0,26/passageiro para DC = 200 m (acrécimo de 24 %); tarifa = US\$ 0,21/passageiro para DC = 600 m e tarifa = US\$ 0,19/passageiro para DC = 800 m (redução de 9 %).

Cabe lembrar que o valor da tarifa, nesses casos, é apenas referencial, pois, é válida somente sob as condições estabelecidas e referidas no início deste capítulo, como por exemplo, às horas de movimento normal.

4.7 TIPO DE ÔNIBUS

Neste item é apresentado o resultado da simulação na qual variou-se o tipo de ônibus utilizado na operação do sistema. Foram considerados, para efeito de análise, três tipos de ônibus: o ônibus tipo comum, o padron e o articulado.

Esses três tipos de ônibus constituem, juntamente com os microônibus e os bi-articulados, o espectro tecnológico disponível para operação de sistemas de transporte coletivo sobre pneus no Brasil. Os microônibus e os bi-articulados não são considerados neste estudo, pois ainda são muito pouco utilizados em cidades pequenas e médias. Os microônibus porque não tem estrutura, por serem uma carroceria adaptada, para suportar altas solicitações, sendo utilizados apenas para serviços diferenciados. Os bi-articulados são indicados apenas para corredores segregados e de altas demandas.

O Quadro 4.1 fornece os dados de capacidade e custo operacional, adotados para simulação, dos três tipos de ônibus considerados.

QUADRO 4.1 - Tipos de ônibus analisados.

Tipo de ônibus	Capacidade (passageiros)		Custo ^(c) (US\$/km)
	Total ^(a)	67 % ^(b)	
ônibus comum	75	50	1,00
ônibus padron	105	70	1,20
ônibus articulado	170	114	1,60

(a) - Considerando 7 pessoas em pé/m².

(b) - Lotação considerada nos períodos de movimento normal.

(c) - Custo operacional (apud FERRAZ, 1990, p.117).

A influência do tipo de ônibus utilizado, no custo do transporte coletivo, é mostrada na Figura 4.16, para as cidades quadradas e na Figura 4.17, para as cidades lineares.

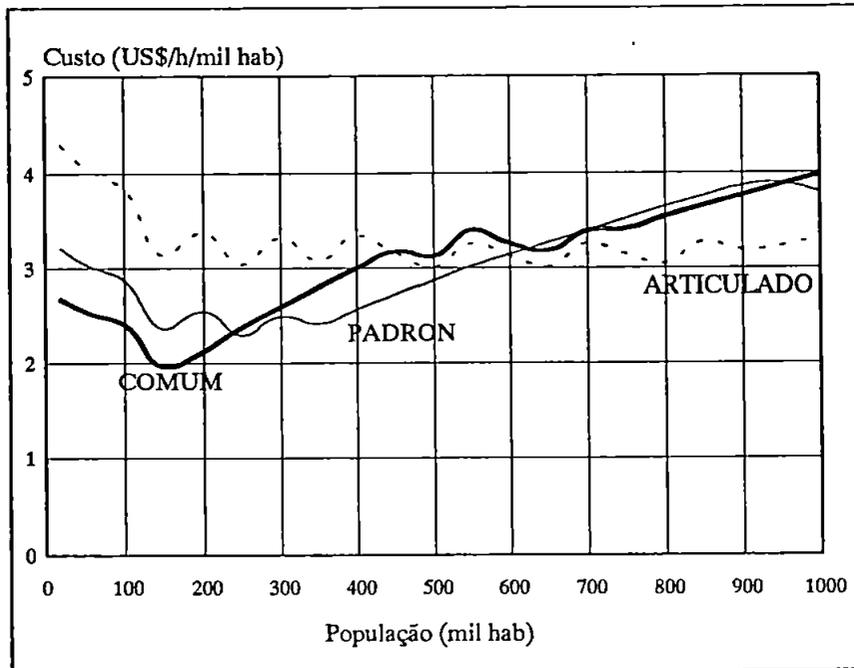


FIGURA 4.16 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades quadradas, para diferentes tipos de ônibus.

Verifica-se, pela Figura 4.16, que a operação com ônibus comum é a mais econômica para as cidades quadradas com população até aproximadamente 250 mil habitantes. A partir desse ponto, e até o limite de, aproximadamente, 600 mil habitantes, o ônibus do tipo padron é o que apresenta menor custo unitário. A partir de 600 mil habitantes a operação com ônibus articulado passa a ser a mais indicada economicamente.

Nas cidades lineares com populações acima de 300 mil habitantes já é indicada a operação com ônibus articulado, enquanto que na faixa entre 100 mil e 300 mil habitantes praticamente não há diferença no custo médio do transporte coletivo para os três tipos de ônibus.

Cabe ressaltar que esses limites são válidos apenas para as condições anteriormente estabelecidas.

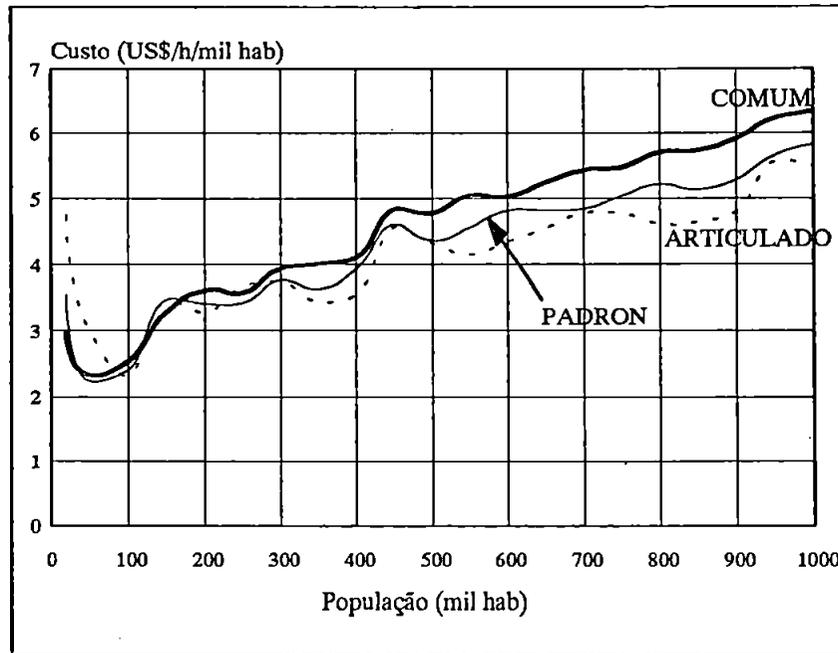


FIGURA 4.17 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes tipos de ônibus.

Segundo FERRAZ & SILVA (1991, p.25), para atender da melhor forma possível ao critério de eficiência, deve-se trabalhar com veículos de grande capacidade e com os maiores intervalos possíveis entre os mesmos.

Os resultados mostrados nas Figuras 4.16 e 4.17 demonstram exatamente isso, pois, a partir de certos níveis de demanda (população), antes de aumentar a frequência das viagens, deve-se optar: pela manutenção da mesma frequência e aumento da capacidade dos ônibus, por intermédio do emprego de veículos maiores.

É importante destacar, todavia, que na adequação da frota à operação, são levados em conta também outros aspectos, tais como, sistema viário disponível (condições de pavimento, raios de curva, rampas etc), montante para investimento inicial (maior para os ônibus padron e articulado) e outros.

4.8 NÍVEL DE SERVIÇO

Neste tópico é feita uma avaliação da influência do nível de serviço no custo do transporte coletivo, através da atribuição de valores representativos a três parâmetros: frequência mínima de atendimento, lotação máxima dos ônibus, e distância máxima de caminhada.

Foram admitidos três níveis de serviço distintos, caracterizados da maneira mostrada no Quadro 4.2.

QUADRO 4.2 - Níveis de serviço considerados e respectivos atributos.

Atributos	Nível de serviço		
	Bom	Regular	Ruim
Frequência mínima de atendimento	4 (15')	2 (30')	1,33 (45')
Lotação máxima dos ônibus (pass.)	38 (50 %)	50 (67 %)	69 (90 %)
Distância máxima de caminhada (m)	200	400	600

Os resultados obtidos, para cidades quadradas e lineares, encontram-se na Figura 4.18.

Verifica-se, por essa Figura, que o impacto global do nível de serviço no custo médio do transporte coletivo mostra que a diferença entre os níveis ruim e regular é bem menor que entre os níveis regular e bom. Pode-se dizer que nas cidades médias o acréscimo de custo para se transformar o nível de serviço de regular para bom é cerca de 4 vezes maior que o necessário para mudar o nível de ruim para regular.

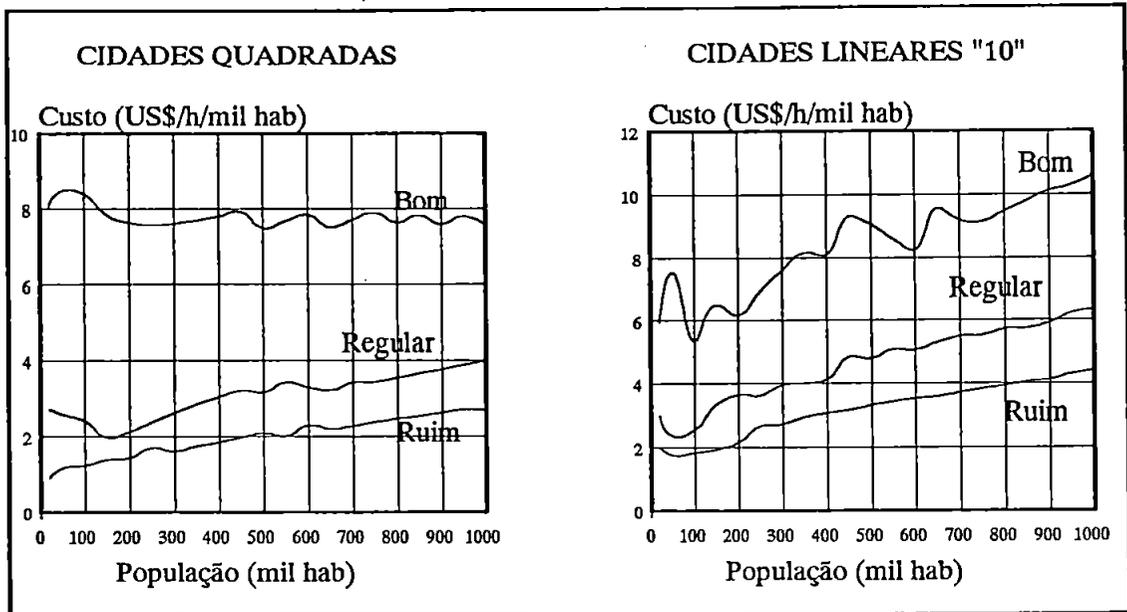


FIGURA 4.18 - Custo do transporte coletivo por habitante x população, em cidades quadradas e lineares com um dos lados 10 vezes maior que o outro, para diferentes níveis de serviço.

5 APLICAÇÕES DA VERSÃO COMPLETA DO MODELO MACBUS

No capítulo anterior, foram apresentados diversos resultados obtidos por intermédio da versão simplificada do modelo **MACBUS** - aquela em que a cidade é admitida com ocupação contínua e homogênea do solo urbano.

Neste capítulo, são expostas algumas das diversas aplicações possíveis de serem executadas utilizando-se a versão mais abrangente e menos restritiva do modelo. O objetivo é mostrar a utilidade dessa ferramenta na constatação e análise da influência de diversos fatores no custo do serviço de transporte coletivo urbano por ônibus.

Por intermédio da versão na qual a cidade é discriminada por regiões homogêneas (**MACBUS 1**), podem ser desenvolvidas análises tais como: avaliação das conseqüências de alterações no uso do solo; avaliação da utilidade de uma nova via de ligação; avaliação dos custos decorrentes da implantação de novos núcleos habitacionais, conforme apresentada no item 5.1; as conseqüências da existência de outros pólos significativos de atração de viagens por transporte coletivo, além do pólo principal (ZCN), mostrada no item 5.2; e, conforme apresentada no item 5.3, a aplicação a um caso real, onde revela-se a capacidade do modelo de servir como um balizador entre situações reais, praticadas, e situações ótimas, tanto do ponto de vista do serviço de transporte coletivo, quanto da ocupação do solo.

5.1 CONJUNTOS HABITACIONAIS PERIFÉRICOS

Este item enfoca uma prática bastante comum nas cidades brasileiras: a implantação de conjuntos habitacionais de baixa renda afastados da área urbanizada.

A tentativa de barateamento da construção desses conjuntos envolve diversos aspectos. Entre eles, a procura de glebas mais baratas. No entanto, isso acaba por fazer com que os conjuntos habitacionais sejam localizados, quase que na sua totalidade, na periferia das cidades. A economia decorrente do menor custo da terra é, no entanto, ilusória, pois é necessário prover esses núcleos de redes de infra-estrutura (água, esgoto, energia elétrica, pavimentação etc.) e dos serviços públicos básicos (coleta de lixo, transporte coletivo etc.).

Os custos do transporte coletivo representam um grande problema nestas circunstâncias, pois são custos que, além de elevados, praticamente não mais deixarão de existir.

Através de simulações realizadas com o modelo MACBUS é possível avaliar-se os custos adicionais que esses conjuntos habitacionais distantes da mancha urbana provocam nos sistemas de transporte coletivo.

Para tal, foram consideradas quatro situações hipotéticas, mediante a variação da posição do núcleo habitacional em relação à mancha urbana, incluindo a possibilidade da não existência do conjunto habitacional isolado da cidade - neste caso, o assentamento da população do núcleo é suposta ocorrer dentro da mancha urbana, com conseqüente aumento da densidade global.

No caso da não implementação do núcleo habitacional isolado, a cidade teria a conformação representada na parte "A" da Figura 5.1, onde a região central foi considerada sempre com uma densidade de 100 hab/ha e com um fator de geração de viagens igual a 0,01 viagens/hora/hab/sentido. Também foi adotado que esta região ocupa sempre 30 % do total da área urbana. Nos outros 70 % da área urbana, a

densidade considerada foi de 37 hab/ha e o fator de geração de viagens igual a 0,03 viagens/hora/hab/sentido. A densidade mais alta no centro é característica comum à todas as cidades e, como a zona central de negócios está muito próxima, a participação do modo a pé aumenta, razão pela qual o fator de geração de viagens diminui.

Quando se considerou o conjunto habitacional externo à mancha urbana (parte "B" da Figura 5.1), a região central foi considerada com as mesmas características anteriores. O restante da área da cidade teve suas características alteradas. O conjunto habitacional representa, neste caso, 10 % da área total da cidade (com densidade de 80 hab/ha) e a área ao redor do centro 60 % (com densidade de 30 hab/ha). O fator de geração de viagens foi considerado igual a 0,03 viagens/hora/hab/sentido em ambas as regiões.

Como já mencionado, foram consideradas três localizações para o conjunto habitacional, como pode ser visto na parte "B" da Figura 5.1: contíguo à mancha urbana (local I), a 2 km de um dos vértices da cidade (local II) e a 4 km do mesmo vértice (local III).

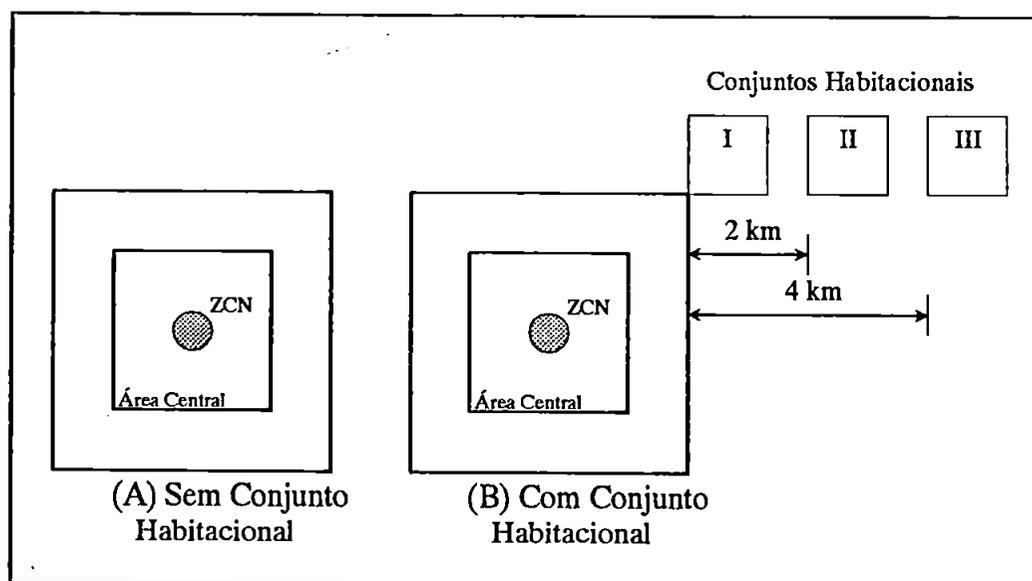


FIGURA 5.1 - Características gerais das cidades consideradas.

O custo obtido para as situações descritas anteriormente é apresentado na Figura 5.2, para cidades com população variando de 50 mil a 500 mil habitantes.

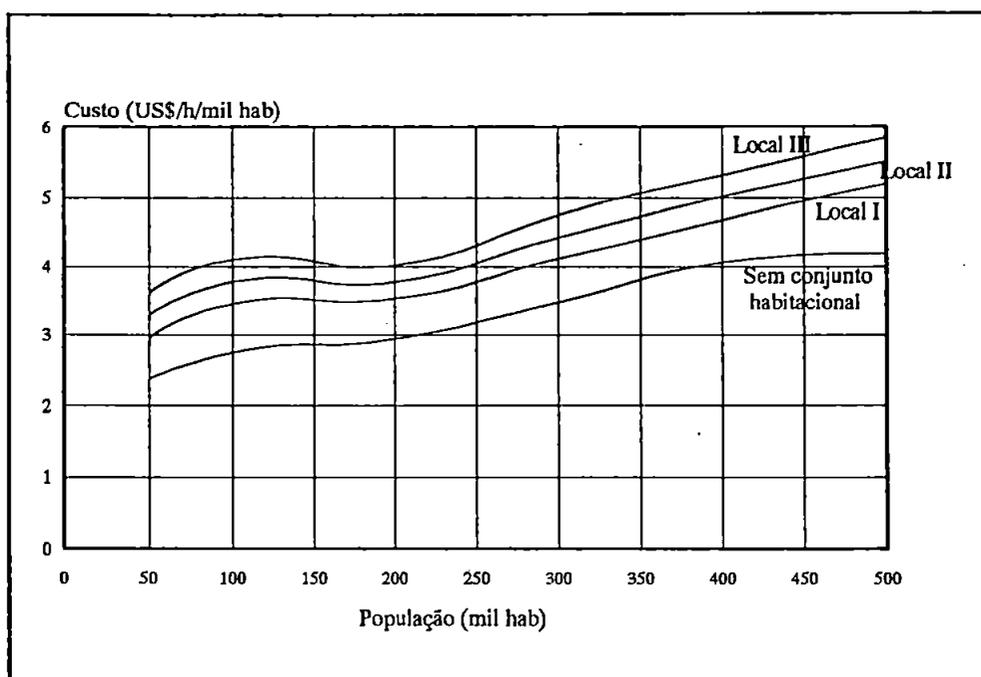


FIGURA 5.2 - Custo do transporte coletivo por habitante x população para as cidades consideradas.

Observa-se que a construção de conjuntos habitacionais isolados fora da mancha urbana provoca um substancial acréscimo nos custos do transporte coletivo, independentemente da população da cidade. O acréscimo médio observado entre a situação adensada e a localização I varia de 26 % a 23 %, conforme a população da cidade. No que tange à distância da mancha urbana, verifica-se um aumento variável entre 12 % (para as cidades com 50 mil habitantes) e 7 % (cidades com 500 mil habitantes) nos custos do transporte coletivo a cada 2 km de afastamento.

Fica evidenciado assim que a implantação de conjuntos habitacionais na periferia das cidades acarreta acréscimos significativos nos custos do transporte coletivo. O adensamento global das cidades é muito mais vantajoso, sob a ótica dos custos de transporte coletivo, que a ocupação de novas áreas afastadas.

5.2 PÓLOS SECUNDÁRIOS

Neste tópico simula-se a existência de outros pólos de atração (pólos secundários) localizados fora da Zona Central de Negócios (pólo principal). A existência desses pólos secundários obriga a criação de ligações por transporte público entre os mesmos e a ZCN, com reflexos negativos no custo global do serviço de transporte coletivo.

Para verificar e analisar os custos adicionais advindos dessa descentralização foram simuladas quatro situações hipotéticas.

Nas quatro situações a cidade foi admitida com conformação semelhante a cidade hipotética utilizada no item anterior, isto é, uma cidade quadrada, onde a região central ocupa sempre 30 % do total da área urbana com densidade de 80 hab/ha e fator de geração de viagens igual a 0,01 viagens/hora/hab/sentido e, nos restantes 70 % da área urbana, a densidade considerada foi de 30 hab/ha e o fator de geração de viagens igual a 0,03 viagens/hora/hab/sentido.

Na situação "0" foi admitida a não existência de pólos secundários. Nas situações "1", "2" e "3" foram admitidas a existência, respectivamente, de 1, 2 e 3 pólos secundários (por exemplo: pólo secundário "1", terminal rodoviário; pólo secundário "2", shopping center; e pólo secundário "3", distrito industrial), cada um atraindo 4 % do total de viagens por transporte coletivo geradas na cidade, e localizados, cada um, num vértice diferente da mancha urbana. A Figura 5.3 esquematiza as quatro situações simuladas.

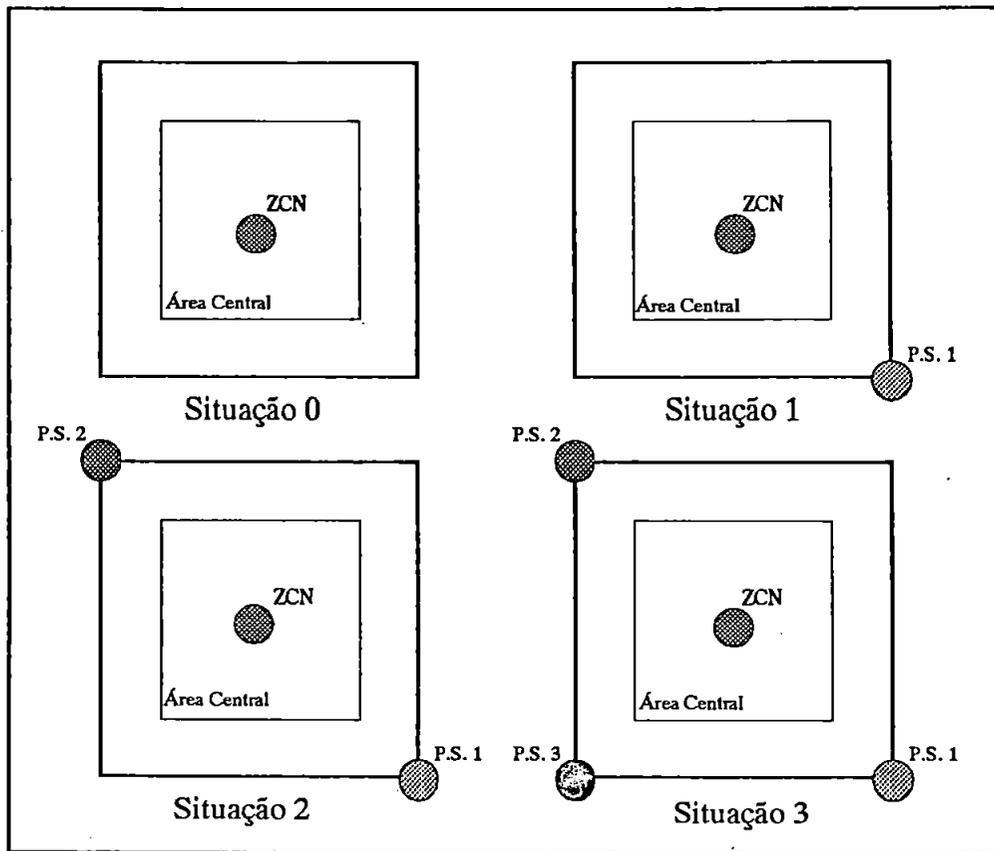


FIGURA 5.3 - Características gerais das hipóteses consideradas.

Os resultados obtidos para as situações descritas anteriormente são apresentados na Figura 5.4, para cidades com população variando de 50 mil a 500 mil habitantes.

Observa-se que a existência de pólos secundários provoca acréscimos nos custos do transporte coletivo, e que estes são praticamente constantes a cada pólo secundário a mais considerado. No entanto, o mais interessante de se notar é que os acréscimos nos custos são percentualmente bem maiores que os acréscimos no número de viagens. Por exemplo: para uma cidade com 50 mil habitantes, enquanto o número de viagens atraídas pelos pólos secundários são de 4 %, 8 % e 12 % do total de viagens geradas na cidade, respectivamente para as situações "1", "2" e "3", o acréscimo nos custos é para as mesmas situações de 10 %, 20 % e 30 %. Para a situação extrema da cidade com 500 mil habitantes os acréscimos são de 14 %, 28 % e 42 %, respectivamente, para 1 pólo, 2 pólos e 3 pólos considerados.

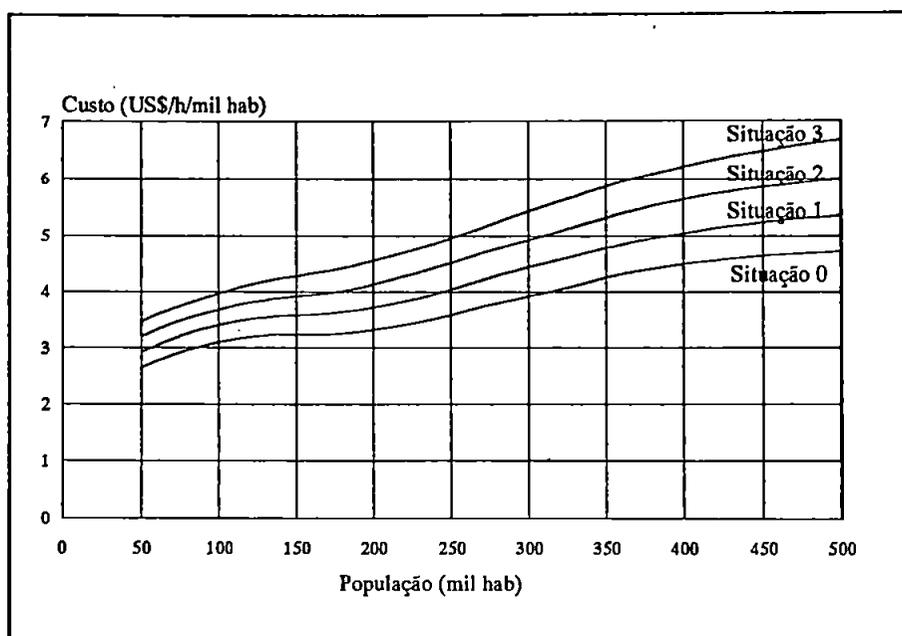


FIGURA 5.4 - Custo do transporte coletivo por habitante x população para as situações consideradas.

5.3 APLICAÇÃO DO MACBUS À CIDADE DE SÃO JOSÉ DO RIO PARDO

Neste item são apresentados resultados obtidos com a aplicação do modelo em uma cidade existente: São José do Rio Pardo, no interior do estado de São Paulo.

A aplicação atende a três objetivos básicos: exemplificar o modo de utilização do modelo sob uma condição real; demonstrar, sob o ponto de vista do transporte coletivo, as vantagens de uma ocupação mais racional do solo urbano e; mostrar de que forma os produtos obtidos podem auxiliar na análise da situação existente.

A cidade de São José do Rio Pardo está localizada na região norte do estado de São Paulo, próxima a divisa com o estado de Minas Gerais e a uma distância de 262 km da capital São Paulo. A população residente na área urbana é de 32.600 habitantes. O sistema de transporte coletivo existente é bastante desordenado para uma

O Quadro 5.1 fornece, para cada região, os dados básicos de entrada no modelo, além da área e população, que já são dados de saída.

QUADRO 5.1 - Dados básicos de cada região.

Região	X (km)	Y (km)	DI (km)	OC (hab/ha)	GE v/h/hab/s	Área (km ²)	Pop. (hab)
1. V. Redentor	1,40	0,60	1,90	67	0,0110	0,84	5628
2. V. Formosa	0,90	0,40	0,50	23	0,0103	0,36	828
3. Bonsucesso	1,35	1,00	0,50	21	0,0029	1,35	2835
4. Sto. Antonio	1,00	0,50	0,85	47	0,0021	0,50	2350
5. Centro	0,50	0,50	0,00	80	0,0000	0,25	2000
6. Centro	0,50	0,50	0,00	80	0,0000	0,25	2000
7. V. Pereira	1,20	0,50	0,50	23	0,0047	0,60	1380
8. Centro	0,50	0,50	0,00	80	0,0000	0,25	2000
9. Centro	0,50	0,50	0,00	80	0,0000	0,25	2000
10. Jd. Luciana	0,75	0,50	0,50	27	0,0033	0,375	1013
11. V. Maschietto	1,00	1,00	0,50	27	0,0022	1,00	2700
12. Jd. Aeroporto	1,50	0,65	0,50	37	0,0039	0,975	3608
13. C. Cassuci	0,60	0,40	5,20	115	0,0174	0,24	2760
14. D. de Sylos	1,00	0,30	2,80	50	0,0099	0,30	1500
Total				43		7,54	32602

Verifica-se que as regiões 5, 6, 8 e 9 foram admitidas com fator de geração de viagens igual a zero, pois estão muito próximas ao pólo principal.

O fator de geração de viagens (GE) foi obtido através de dados coletados no sistema existente e, refere-se às horas de movimento normal. Para tal, admitiu-se uma distribuição da demanda ao longo do dia de 3 horas de pico com o dobro da movimentação das 12 horas restantes em que o movimento é considerado normal.

Além dos dados do Quadro 5.1, foram admitidos, para uma primeira simulação, os seguintes valores, válidos para todas as regiões: FR = 1 viagem/hora; CA = 50 passageiros/viagem/sentido; DC = 400 metros e CQ = US\$ 1,00/km.

Os resultados obtidos foram os seguintes:

- . Área urbana = 7,54 km²;
- . População = 32601 hab;
- . Ocupação média do solo = 43 hab/ha;
- . Passageiros transportados = 353 pass/h;
- . Quilometragem percorrida = 64,01 km/h;
- . IPK = 5,51 pass/km;
- . Custo total = US\$ 64,01/h;
- . Custo médio por habitante = US\$ 1,96/h/mil hab;
- . Custo médio por passageiro = US\$ 0,182/pass.

Analisando os resultados, e comparando-os com os valores existentes, verifica-se que, se o sistema fosse operado, com o mesmo nível de atendimento atual, e no esquema simulado com o MACBUS, os custos poderiam ser reduzidos em 40 % (de US\$ 3,24/h/mil hab no sistema existente para US\$ 1,96/h/mil hab no esquema mais racional). Essa diferença representaria uma economia de, aproximadamente, US\$ 240.000,00 por ano (o equivalente a 2 ônibus comuns novos).

Realizando uma segunda simulação, na qual foram mantidos os mesmos dados, alterando-se apenas a frequência mínima de atendimento, constata-se que, com o mesmo custo do sistema existente, seria possível elevar-se a frequência mínima para 1,7 viagens/hora (equivalente a um ônibus a cada 35 minutos, contra um ônibus a cada 60 minutos no sistema existente).

Essa aplicação demonstra que o sistema praticado na cidade de São José do Rio Pardo é ineficiente e pode ser melhorado.

Apesar das diversas simplificações adotadas na sua concepção, as aplicações mostram que o modelo pode ser útil na elaboração de avaliações imediatas de sistemas existentes, além de ser de rápida e fácil utilização e entendimento e permitir diversas alterações nos elementos que o compõem.

De forma a mostrar as vantagens de uma ocupação mais compacta e densa do solo urbano, dois novos cenários foram simulados.

Nos dois cenários, a população da cidade foi aglutinada em uma área urbana completamente regular, de formato quadrado. Da cidade original foi preservada a localização do pólo principal e das quatro regiões que o envolvem, inclusive com a mesma taxa de ocupação ($OC = 80 \text{ hab/ha}$). O restante da população foi assentada em volta às regiões centrais, levando-se em conta o obstáculo natural representado pelo Rio Pardo.

No cenário "1", manteve-se a densidade média da cidade em 43 hab/ha , ficando, portanto, a região periférica com uma taxa de ocupação igual a $37,4 \text{ hab/ha}$. No cenário "2" adotou-se uma taxa de 80 hab/ha para toda a cidade.

As Figuras 5.6 e 5.7 mostram os esquemas da cidade, e as características adotadas na simulação, para os dois cenários.

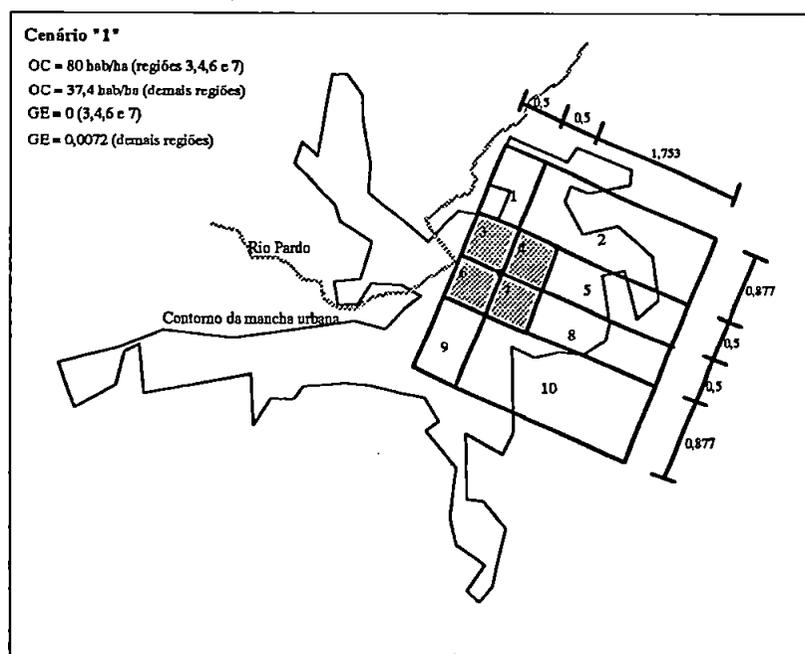


FIGURA 5.6 - Esquema mostrando regiões e características do cenário "1".

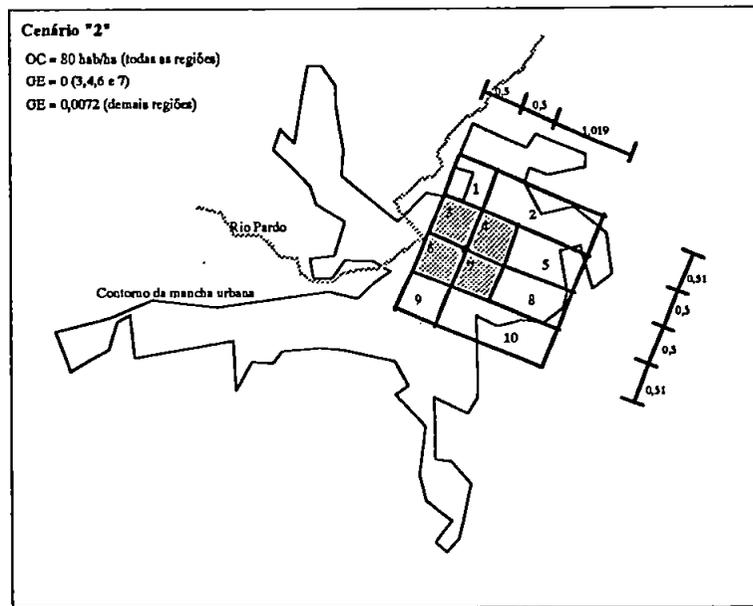


FIGURA 5.7 - Esquema mostrando regiões e características do cenário "2".

Admitindo-se, FR = 1 viagem/hora, CA = 50 passageiros/viagem/sentido, DC = 400 metros e CQ = US\$ 1,00/km, chegou-se aos seguintes produtos:

	Cenário "1"	Cenário "2"
. Área urbana (km ²)	7,582	4,078
. População (hab)	32616	32627
. Ocupação média do solo (hab/ha)	43	80
. Passageiros transportados (pass/h)	355	355
. Quilometragem percorrida (km/h)	42,05	21,19
. IPK (pass/km)	8,43	16,73
. Custo total (US\$/h)	42,05	21,19
. Custo médio por hab. (US\$/h/mil hab)	1,29	0,65
. Custo médio por pass. (US\$/pass)	0,119	0,060

Verifica-se que, mantendo a mesma densidade média existente na cidade (43 hab/ha), mas ocupando-a de forma compacta, sem vazios urbanos, obtém-se custos

de transporte coletivo reduzidos em 60 % (equivalente a uma economia de US\$ 360.000,00 por ano), quando comparado a situação existente do serviço e desenho urbano. Se comparado a situação simulada no MACBUS, com a cidade espalhada, a redução é de 34 %, o que representaria uma economia de, aproximadamente, US\$ 130.000,00 por ano.

Se a cidade fosse ocupada sem vazios urbanos, mantendo a densidade populacional que hoje possui em sua área central (80 hab/ha), os custos de transporte coletivo seriam reduzidos em 80 % em relação a situação existente do serviço de transporte coletivo e desenho urbano (equivalente a uma economia de US\$ 480.000,00 por ano). Em relação ao esquema operacional simulado no modelo, com a cidade espalhada, a redução é de 67 % (economia de US\$ 240.000,00 por ano).

Cabe lembrar que o transporte coletivo é apenas uma das infra-estruturas básicas, que apresentam redução dos custos conforme uma ocupação mais densa e compacta do solo urbano. MASCARÓ (1987) e SILVA (1993) demonstram efeitos semelhantes ocorridos em relação a custos de pavimentação, rede de águas pluviais, água potável, esgoto sanitário, gás encanado e energia elétrica.

O gráfico da Figura 5.8 apresenta os resultados finais do custo do transporte coletivo por habitante para as quatro situações analisadas, sendo que o cenário "0" corresponde a primeira simulação executada.

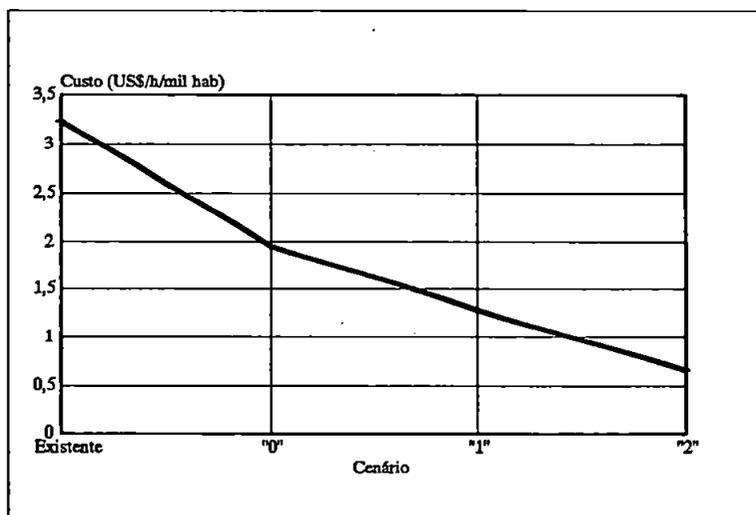


FIGURA 5.8 - Custo do transporte coletivo por habitante para os diferentes cenários.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O transporte coletivo nas cidades do Brasil é, via de regra, caro e deficiente. Contribuem para tal, características atinentes a estrutura urbana e também ao próprio serviço.

O processo de urbanização nas cidades brasileiras é caótico, pois não tem controle, e perverso, na medida em que interesses especulativos acabam por elevar os custos urbanos, obrigando a população pobre a viver na periferia das cidades, e arcar, no caso do transporte público, com seu alto custo relativo.

Os recursos públicos para investimento são extremamente reduzidos, proporcionando, no caso do transporte público, uma crônica falta de planejamento e controle do sistema, devido, em parte, a falta de recursos tecnológicos e de recursos humanos qualificados.

Face a esse panorama, ressalta-se a importância da elaboração de ferramentas úteis, como modelos simplificados de planejamento de transportes, adaptadas ao contexto vigente nas cidades brasileiras, que propiciem uma clara identificação dos problemas existentes e de suas dimensões, além de funcionar como um recurso didático.

O instrumento apresentado neste trabalho é apenas uma pequena contribuição, frente a esse amplo contexto. O modelo **MACBUS** representa uma evolução em relação ao seu antecessor, o modelo **TRANSCO**, na medida em que

relaxa algumas de suas hipóteses mais restritivas, tornando-o mais representativo da realidade. Mas, ainda carece de aprimoramentos que poderiam ser implantados desde a sua instrumentalização, através do programa de computador, até as suas hipóteses estruturais.

Entretanto, fica claro que o modelo, ainda que simples, proporciona resultados interessantes, como os gerados neste trabalho.

Através do MACBUS pode-se constatar que:

- As cidades com formato aproximadamente quadrado e com a Zona Central de Negócios localizada no centro geométrico, são as mais econômicas do ponto de vista do transporte coletivo. E, como bem observou FERRAZ (1991), por analogia, do transporte urbano em geral.
- Os custos do transporte coletivo aumentam, à medida do deslocamento da Zona Central de Negócios em relação ao centro geométrico das cidades. Isso mostra quão importante é o controle que deve ser exercido sobre os vetores de expansão das cidades.
- Quanto à influência dos diversos níveis de adensamento populacional no custo do transporte coletivo, as simulações acabam por confirmar os malefícios advindos da ocupação desordenada do solo urbano nas cidades brasileiras, onde a existência de terrenos urbanos ociosos ou subutilizados levam a uma densidade de ocupação muito baixa, ocasionando altos custos ao transporte coletivo e, como comprovam outros trabalhos, custos elevados para todos os outros serviços públicos básicos.
- Verifica-se que densidades entre 100 e 200 hab/ha seriam desejáveis, sob o ponto de vista dos custos do transporte coletivo.
- Sob esse ponto de vista, a simulação realizada admitindo-se a implantação de conjuntos habitacionais afastados da mancha urbana, comprova o desperdício de recursos praticado em grande parte dos municípios brasileiros, agravados pelo aspecto de que, muito provavelmente, esses custos do transporte coletivo, nesses casos, nunca deixarão de existir.

- A respeito dos fatores relacionados ao serviço de transporte, as simulações realizadas permitem inferir por exemplo, que: a distância de caminhada máxima de 400 metros evidencia-se como a que melhor equilibra a relação entre distâncias a pé para os pontos e o custo da viagem; a partir de certas populações (níveis de demanda) torna-se mais vantajoso, sob o ponto de vista econômico-financeiro, a utilização de ônibus de maior capacidade. Os ônibus do tipo Padron por exemplo, que são atualmente pouco utilizados nas cidades médias, se mostraram potencialmente eficientes para a operação a partir de certos níveis de demanda (a partir de 250 mil habitantes no caso das cidades quadradas).

A aplicação do modelo a um caso real comprova sua utilidade na elaboração de análises ou avaliações imediatas e preliminares de sistemas existentes. De forma rápida e clara, através de dados facilmente disponíveis, pôde-se verificar quão ineficiente é o sistema em operação na situação testada.

Entretanto, seria recomendável em trabalhos futuros, estender as aplicações a outros casos reais, utilizando cidades de diferentes características e níveis populacionais, de forma a confirmar este tipo de utilidade do modelo.

Nas simulações realizadas na cidade de São José do Rio Pardo pôde-se verificar, ainda, a diferença entre os custos de transporte coletivo da cidade existente e os custos em cidades hipotéticas de "referência": a cidade mais compacta, praticamente sem grandes vazios urbanos (Cenário "1") e a cidade, além de compacta, mais adensada (Cenário "2").

A diferença entre a situação existente e os cenários referenciais, acrescida dos desperdícios provenientes da má distribuição e operação do sistema, é o preço imputado à população devido a incapacidade gerencial do poder público no Brasil.

7 BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, Edson Martins de & FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto. *Um modelo para avaliação da influência da forma e do porte da cidade no custo do transporte de lixo*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 4, Porto Alegre, 1990.
- AGUIAR, Edson Martins de; FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto; SCHALCH, Valdir. Custo do transporte de lixo: a influência da morfologia da cidade. *Revista de Transporte e Tecnologia*, Campina Grande, 4(8): 56-65, jan., 1992.
- AGUIAR, Edson Martins de; FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto; SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da. Custo da coleta de lixo x tecnologia e frequência. *Revista de Transporte e Tecnologia*, Campina Grande, 5 (9): 71-79, jul., 1992.
- ASSIS Jr., Milton Faria de. *Avaliação do desempenho e adequação de sistemas de transporte público, por ônibus, de cidades de porte médio em relação a sua estrutura urbana*. São Carlos, 1987. 152 p. Dissertação de Mestrado em Arquitetura, Universidade de São Paulo.
- BARROS Jr., Luiz Álvaro de Toledo; SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da; FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto. *Os conjuntos habitacionais periféricos e o custo do transporte coletivo*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 5, Belo Horizonte, 1991.
- BELLACICCO, Antonio; COSSETO, Sandro; WILSON, Alan G. Dynamic models for person transportation and their relationship to urban structure and change. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, (31): 209-214, 1987.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. São Paulo, Ipê, 1988. 227 p.
- CAMPOS FILHO, Cândido Malta. *Cidades brasileiras: seu controle ou o caos*. São Paulo, Nobel, 1989. 143 p.
- DE VILLA, Bona. *Sistema viário, uso do solo e transportes urbanos*. São Paulo, Fundação Prefeito Faria Lima - CEPAM, 1991. 32 p.

- DIMITRIOU, Harry T. Transport and Third World city development. In: DIMITRIOU, Harry T., ed. *Transport planning for Third World cities*. London, Routledge, 1990a. p. 1-49.
- DIMITRIOU, Harry T. Transport problems of Third World cities. In: DIMITRIOU, Harry T., ed. *Transport planning for Third World cities*. London, Routledge, 1990b. p. 50-84.
- DIMITRIOU, Harry T. The urban transport planning process: its evolution and application to Third World cities. In: DIMITRIOU, Harry T., ed. *Transport planning for Third World cities*. London, Routledge, 1990c. p. 144-183.
- DIMITRIOU, Harry T. Towards a development approach to urban transport planning. In: DIMITRIOU, Harry T., ed. *Transport planning for Third World cities*. London, Routledge, 1990d. p. 379-419.
- ELANGO VAN, T; CROUCH, F. O. *Towards simplified transport planning techniques for cities in developing countries*. In: Simplified Transport Demand Modelling. London, PTRC Education & Research Services, 1992, p. 19-32.
- FERRARI, Célson. *Curso de Planejamento Municipal Integrado*. 2.ed. São Paulo, Livraria Pioneira Editora, 1979. 631 p.
- FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto. *Transporte público urbano*. Notas de aula do curso de pós-graduação em Transportes. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.
- FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto. *Sobre a eficiência e a eficácia do transporte público nas cidades médias*. São Carlos, 1990b, 157 p. Tese de Livre-Docência em Transportes, Universidade de São Paulo.
- FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto & FELEX, Jose Bernardes. *Um modelo para avaliação da influência do porte da cidade no custo do transporte coletivo*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 2, São Paulo, 1988. Anais... São Paulo, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1989. v.I, p.231-238.
- FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto & KFOURI, Eduardo Vitor. *Transporte coletivo e ocupação do solo na cidade de Araraquara*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 2, São Paulo, 1988. Anais... São Paulo, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 1989. v.I, p.127-132.
- FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto; SILVA, Antônio Néilson Rodrigues da; FELEX, José Bernardes. *Avaliação da influência da forma das cidades no custo do transporte coletivo*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 3, Salvador, 1989.
- FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto; SILVA, Antônio Néilson Rodrigues da; FELEX, José Bernardes. Custo do transporte público x tamanho e forma das cidades. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*. , São Paulo, 13 (52): 17-21, jun., 1991.

- FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto; SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da; FELEX, José Bernardes. Impacto do nível de serviço no custo do transporte público urbano. *Revista de Transporte e Tecnologia*, Campina Grande, (7): 11-19, jul., 1991.
- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo dicionário da língua portuguesa*. 2.ed.rev.aum. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986. 1838 p.
- GURGEL, José Heitor do Amaral. Situação precária permanece. *Folha de São Paulo*. São Paulo, 8 de dez. 1993. cad.3, p.2.
- HUTCHINSON, B. G. *Princípios de planejamento dos sistemas de transporte urbano*. Trad. Henrique Oswaldo Monteiro de Barros. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1979. 416 p.
- KUMAR, Ram K. *A microcomputer based interactive model for strategic land-use transportation planning*. In: MICROCOMPUTER APPLICATIONS IN TRANSPORTATION, 3rd, San Francisco, 1989. Proceedings of the International Conference on... New York, American Society of Civil Engineers, 1990. p.124-135.
- MACEDO, Marcia Helena; SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da; FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto. *Eficiência e qualidade do transporte público x ocupação e uso do solo - o caso da cidade de São Carlos*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 4, Porto Alegre, 1990.
- MACEDO, Marcia Helena. *Tempo de viagem por transporte coletivo: um estudo para o caso das cidades médias*. São Carlos, 1991, 91 p. Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade de São Paulo.
- MANTRA. *Manual Teórico*. São Paulo, Logit, s.d. 60 p.
- MARX, Murilo. *Cidade brasileira*. São Paulo, Melhoramentos/ EDUSP, 1980. 151 p.
- MASCARÓ, Juan Luis. *Desenho urbano e custos de urbanização*. 2. ed. Porto Alegre, D.C. Luzzato, 1989. 175 p.
- MAY, Tony. *Current developments in urban transport policy*. Notas de aula do curso Planejamento Estratégico e Integrado de Transportes Urbanos. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 7, São Paulo, 1993.
- MERCEDEZ BENZ DO BRASIL S.A. - STT. *Sistema de transporte coletivo urbano por ônibus - Planejamento e operação*. Mercedes Benz do Brasil S.A. - Departamento de Sistemas de Trânsito e Transporte, São Bernardo do Campo, 1987. 85 p.
- MORLOK, Edward K. *Introduction to transportation engineering and planning*. New York, McGraw-Hill, 1978. 767 p.
- MUMFORD, Lewis. *A cidade na história: suas origens, transformações e perspectivas*. Trad. Neil R. Silva. 2.ed. São Paulo, Martins Fontes, 1982. 741 p.

- NEWMAN, Peter W. G. & HOGAN, Trevor. A review of urban density models: toward a resolution of the conflict between populace and planner. *Human Ecology*, New York, 9 (3): 269-303, set., 1981.
- NOVAES, Antonio Galvão N. *Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes*. São Paulo, Edgard Blücher, 1982. 292 p.
- NOVAES, Antonio Galvão N. *Sistemas Logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos*. São Paulo, Edgard Blücher, 1989. 372 p.
- ORTÚZAR, Juan de Dios; WILLUMSEN, Luis G. *Modelling transport*. New York, John Wiley & Sons, 1990. 375 p.
- ORTÚZAR, Juan de Dios. *Simplified transport demand modelling*. London, PTRC, 1992a. 153 p.
- ORTÚZAR, Juan de Dios; WILLUMSEN, Luis G.. Monitoring of transport plans using low cost data and advanced modelling techniques. *Simplified transport demand modelling*. London, PTRC, 1992b. p. 121-131.
- PASCAL. *Pascal estruturado*. Diversos autores. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1985, 141 p.
- PIPER, Robert R. Transit strategies for suburban communities. *Journal of the American Institute of Planners*. Chicago, 43(3): 380-385, out., 1977.
- RECOMENDAÇÕES do Simpósio sobre transporte urbano em cidades de porte médio. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*. São Paulo, 5 (18): 83-97, dez., 1982.
- REGIONAL PLAN ASSOCIATION. Where transit works: urban densities for public transportation. *Regional Plan News* 99, New York, ago., 1976. 23 p.
- RODRIGUES, Marcos & DI PIERRO, Luis Fernando. Estrutura urbana e consumo energético: um modelo. In: *Modelos urbanos, regionais e de transportes*. v.2. São Paulo, IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. p.169-175.
- SANCHES, Suely da Penha. *Contribuição à análise operacional de redes de transporte coletivo em cidades de porte médio*. São Carlos, 1988. 117 p. Tese de Doutorado em Transportes, Universidade de São Paulo.
- SERRA, Geraldo. *O espaço natural e a forma urbana*. São Paulo, Nobel, 1987. 211 p.
- SETTI, José Reynaldo; SANCHES, Suely P.; FERRAZ, Antonio Clóvis P.. Viabilidade do uso de micro-ônibus no transporte coletivo. *Revista de Transportes e Tecnologia*, Campina Grande, 4 (8): 66-81, jan., 1992.
- SETTI, José Reynaldo; SANCHES, Suely P.; FERRAZ, Antonio Clóvis P. *Influência do nível de serviço na escolha do tipo de ônibus nas cidades médias e pequenas*. In: V Congresso Latinoamericano de Transporte Público, Santiago do Chile, nov.1991, p.16-23.

- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da. *Densidades urbanas econômicas: a influência do transporte público*. São Carlos, 1990, 103 p. Dissertação de Mestrado em Transportes, Universidade de São Paulo.
- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da & FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto. *Padrões urbanos típicos e características gerais dos sistemas de transporte público das cidades médias brasileiras*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 4, Porto Alegre, 1990a.
- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da & FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto. *A influência do transporte público urbano na identificação de densidades urbanas econômicas*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 4, Porto Alegre, 1990b.
- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da & FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto. *Transporte público urbano - operação e administração - Notas de aula*. São Carlos, jul.1991, 82 p.
- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da. *O custo do solo urbano ocioso e uma nova sistemática de tributação da propriedade*. São Carlos, 1993, 133 p. Tese de Doutorado em Transportes, Universidade de São Paulo.
- SUPERNAK, Janusz. Transportation modeling: lessons from the past and tasks for the future. *Transportation*, Amsterdam, 12(1): 79-90, ago., 1983.
- ULYSSÉA NETO, Ismael. O processo de planejamento de transportes e sua adequação ao contexto sócio-econômico dos países em desenvolvimento. *Revista de Transportes e Tecnologia*, Campina Grande, 4 (8): 11-26, jan., 1992.
- VUCHIC, Vukan R. *Urban public transportation - Systems and technology*, New Jersey, Prentice-Hall, 1981. 673 p.
- WAISMAN, Jaime. *Avaliação do desempenho de sistemas de ônibus, em cidades de porte médio, em função de sua produtividade, eficiência operacional e qualidade dos serviços*. São Carlos, 1983. 306 p. Tese de Doutorado em Transportes, Universidade de São Paulo.
- WILLUMSEN, Luis G.. Estimation of O-D matrices and transport models from traffic counts. *Simplified transport demand modelling*. London, PTRC, 1992a. p. 33-43.
- WILLUMSEN, Luis G. Microcomputers and their software for transport planning in developing countries. *Simplified transport demand modelling*. London, PTRC, 1992b. p. 135-142.
- WILLUMSEN, Luis G. Urban traffic modelling with limited data. In: DIMITRIOU, Harry T., ed. *Transport planning for Third World cities*. London, Routledge, 1990. p. 280-318.

APÊNDICE A - PROGRAMA PARA MICROCOMPUTADOR DO MODELO MACBUS

program MACBUS;

{Modelo para Avaliação do Custo do Transporte Coletivo por Ônibus em cidades médias e pequenas}

{Admitindo áreas urbanas aproximadas por formato retangular e sistema viário constituído de malha ortogonal}

uses crt;

var

FR, OC, GE, CQ, DC, RE, xc, yc, AR, AC, Y, X, XC1, YC1, A, B, QH, QAB, EXTH,
EXTAB, QV, EXTV, Q1, EXT1, Q2, EXT2, Q3, EXT3, Q4, EXT4, EXTT, QT, EXTM, IPK,
CM, CMV, DCr, QA, DR, DRr, k, l, EXTA, NI, EXTB, QB, NAR, NFR, EXTB1, QB1,
EXTB2, QB2, DI, P, CMC, CVC, CMS, CVS, DRr2, OCM :REAL;

CA, NLH, NLAB, NLV, NL1, NL2, NL3, NL4, NLT, Na, Nb, i, j, NLA, NLB, Nb1,
i1, j1, N, NZ, PS, T, Nbr : INTEGER;

AREA, P1, NV, AR1, Q, NL, EXT, CT1, CM1, CV1, SA, SP, SQ, SNV, SNL, PC, PD,
NP, QP, SQP, SPC, SCT, CP, SCP : ARRAY [0..100] OF REAL;

OP1, continua, OP3 : string[1];

procedure quilometragem1;

begin

Na:= 0;

 repeat

 Na:= Na + 1;

 DCr:= A / Na;

 until (DCr <= ((2 * DC) / 1000));

IF (DCr = 0)

 THEN QA:= 0

 ELSE begin

 DR:= AR1[N] / DCr;

```
Nb:= 0;
  repeat
    Nb:= Nb + 1;
    DRr:= B / Nb;
  until (DRr <= DR);
```

```
i:=0;
j:=0;
  repeat
    i:= i + 1;
    j:= j + i;
  until (i = Nb);
```

```
k:= -1;
l:= 0;
  repeat
    k:= k + 1;
    l:= k + 0.5 + l;
  until (k = (Na-1));
```

NLA:= Na * Nb;

EXTA:= (Na * DRr * j) + (Nb * DCr * l) + (NLA * DI);

QA:= 2 * FR * EXTA;

end;

NI:= B / DR;

IF (NI <= 1)

THEN begin

NLB:= NLA;

EXTB:= EXTA;

QB:= QA;

end

ELSE begin

Nbr:= TRUNC(NI);

DRr2:= B / Nbr;

i1:= 0;

j1:= 0;

repeat

i1:= i1 + 1;

j1:= j1 + i1;

until (i1 = Nbr);

NAR:= DRr2 * DCr;

NFR:= (NAR * OC * 100 * GE) / CA;

NLB:= Na * Nbr;

EXTB:= (Na * DRr2 * j1) + (Nbr * DCr * l) + (NLB * DI);

QB:= 2 * NFR * EXTB;

end;

IF (QA <= QB)

THEN begin

QAB:= QA;

NLAB:= NLA;

```

        EXTAB:=EXTA;
        end
ELSE begin
        QAB:= QB;
        NLAB:= NLB;
        EXTAB:= EXTB;
        end;

end;

{-----MACBUS 1-----}

{início do corpo principal do programa para simulações discriminadas por regiões}

{Neste programa a cidade é dividida em regiões de formato retangular, e homogêneas quanto a ocupação do solo e fator de geração de viagens. Além das variáveis usuais, devem ser conhecidas as dimensões de cada região, e a distância desta ao pólo principal da cidade através do sistema viário compatível ao modo utilizado. O programa aceita a existência de pólos secundários de atração de viagens. Deve ser conhecido o percentual de participação do pólo e a distância até o pólo principal.}

procedure macbus1;
begin
OP3:= 'c';
repeat
clrscr;
writeln(' Programa MACBUS 1 - Simulação Discriminada por Regiões');
writeln;
writeln('Entrada de dados :');
writeln;
write ('- entre com o número de Regiões Homogêneas em que é dividida a cidade :');readln (NZ);

FOR N:=1 TO NZ DO
begin
writeln ('Dados da Região', N:2);
write ('- entre com a primeira dimensão do retângulo, X (km):'); readln (X);
write ('- entre com a segunda dimensão do retângulo, Y (km):'); readln (Y);
write ('- entre com a distância do vértice mais próximo ao pólo principal, DI(km):'); readln (DI);
write ('- entre com a ocupação populacional, OC (hab/ha) :'); readln (OC);
write ('- entre com o fator de geração de viagens, GE (viag/h/hab):'); readln (GE);
IF (GE = 0)
THEN begin
        AREA[N]:= X * Y;
        P1[N]:= AREA[N] * (OC * 100);
        NV[N]:= 0;
        Q[N]:= 0;
        NL[N]:= 0;
        EXT[N]:= 0;
        CT1[N]:= 0;
        CM1[N]:= 0;
        CV1[N]:= 0;
        end
ELSE begin
        write ('- entre com a frequência mínima, FR (viag/h) :'); readln (FR);
        write ('- entre com a capacidade do veículo, CA (pass) :'); readln (CA);
        write ('- entre com a distância máxima de caminhada, DC (m) :'); readln (DC);
        write ('- entre com o custo operacional da frota de ônibus, CQ (us$/km):'); readln (CQ);
        AREA[N]:= X * Y;
        P1[N]:= AREA[N] * (OC * 100);

```

```

NV[N]:= GE * 2 * P1[N];
AR1[N]:= FR * CA / (OC * 100) / GE;
A:= X;
B:= Y;
quilometragem1;
QH:= QAB;
NLH:= NLAB;
EXTH:= EXTAB;

A:= Y;
B:= X;
quilometragem1;
QV:= QAB;
NLV:= NLAB;
EXTV:= EXTAB;

IF (QH <= QV)
  THEN begin
    Q[N]:= QH;
    NL[N]:= NLH;
    EXT[N]:= EXTH;
  end
  ELSE begin
    Q[N]:= QV;
    NL[N]:= NLV;
    EXT[N]:= EXTV;
  end;

CT1[N]:= CQ * Q[N];

CM1[N]:= CT1[N] * 1000 / P1[N];

CV1[N]:= CT1[N] / NV[N];
end;

writeln ('-----');
writeln ('Resultados da Região',N:2);
writeln;
writeln ('- Área           = ', AREA[N]:3:2, ' km2');
writeln ('- População        = ', P1[N]:6:1, ' hab');
writeln ('- Passageiros Transp. = ', NV[N]:5:1, ' pass/h');
writeln ('- Quilometragem     = ', Q[N]:5:2, ' km/h');
writeln ('- Custo operacional  = ', CT1[N]:5:2, ' us$/h');
writeln ('- Custo médio por habitante = ', CM1[N]:3:2, ' us$/h/mil hab');
writeln ('- Custo médio por pass. = ', CV1[N]:2:3, ' us$/pass');
writeln;
end;

FOR N:= 1 TO NZ DO

begin

SA[0]:= 0;
SA[N]:= AREA[N] + SA[N - 1];

SP[0]:= 0;
SP[N]:= P1[N] + SP[N - 1];

```

```

SQ[0]:= 0;
SQ[N]:= Q[N] + SQ[N - 1];

SCT[0]:= 0;
SCT[N]:= CT1[N] + SCT[N - 1];

SNV[0]:= 0;
SNV[N]:= NV[N] + SNV[N - 1];

SNL[0]:= 0;
SNL[N]:= NL[N] + SNL[N - 1];

end;

writeln;
write ('- entre com o número de pólos secundários :'); readln (PS);
  IF (PS <> 0)
    THEN begin
      FOR T:=1 TO PS DO
        begin
          write ('- entre com o % de viagens atraídas pelo pólo secundário',T:2, ' ');
          readln (PC[T]);

          write ('- entre com a distância (km) do pólo principal ao pólo secundário',T:2, ' ');
          readln (PD[T]);

          write ('- entre com a freqüência mínima, FR (viag/h) :');readln (FR);
          write ('- entre com a capacidade do veículo, CA (pass:');readln (CA);
          write ('- entre com o custo operacional, CQ (us$/km) :');readln (CQ);

          NP[T]:= ((SNV[N] * PC[T]) / (100 * CA));
          IF (NP[T] <= FR)
            THEN begin
              NP[T]:= FR;
            end
            ELSE begin
              NP[T]:= NP[T];
            end;

          QP[T]:= NP[T] * 2 * PD[T];

          CP[T]:= QP[T] * CQ;
          end;

          FOR T:=1 TO PS DO
            begin
              SQP[0]:= 0;
              SQP[T]:= QP[T] + SQP[T - 1];

              SCP[0]:= 0;
              SCP[T]:= CP[T] + SCP[T - 1];

              SPC[0]:= 0;
              SPC[T]:= PC[T] + SPC[T - 1];
              end;

          ÖCM:= SP[N] / (SA[N] * 100);

```

IPK:= (SNV[N] + (SNV[N] * SPC[T] / 100)) / (SQ[N] + SQP[T]);

CMC:= SCT[N] * 1000 / SP[N];

CVC:= SCT[N] / SNV[N];

CMS:= (SCT[N] + SCP[T]) * 1000 / SP[N];

CVS:= (SCT[N] + SCP[T]) / (SNV[N] + (SNV[N] * SPC[T] / 100));

```
writeln;
writeln ('RESULTADOS GLOBAIS');
writeln;
writeln ('- Área urbana           = ',SA[N]:4:3,' km2');
writeln ('- População da Cidade      = ',SP[N]:7:0,' hab');
writeln ('- Ocupação média            = ',OCM:3:0,' hab/ha');
writeln ('- Passageiros transp.       = ',SNV[N]:5:1,' pass/h');
writeln ('- Quilometragem            = ',SQ[N]:5:2,' km/h');
writeln ('- Custo total               = ',SCT[N]:5:2,' us$/h');
writeln ('- Custo médio por habitante = ',CMC:3:2,' us$/h/mil hab');
writeln ('- Custo médio por pass.     = ',CVC:2:3,' us$/pass');
writeln ('-----');
writeln ('- Acréscimo de quilometragem devido pólos secundários = ',SQP[T]:5:2,' km/h');
writeln ('- IPK = ',IPK:2:2,' pass/km');
writeln ('- Acréscimo de custo devido pólos secundários = ',SCP[T]:5:2,' us$/h');
writeln ('- Custo por habitante com acréscimo = ',CMS:3:2,' us$/h/mil hab');
writeln ('- Custo por passageiro com acréscimo = ',CVS:2:3,' us$/pass');
writeln ('-----');
end
```

ELSE begin

OCM:= SP[N] / (SA[N] * 100);

IPK:= SNV[N] / SQ[N];

CMC:= SCT[N] * 1000 / SP[N];

CVC:= SCT[N] / SNV[N];

```
writeln;
writeln ('RESULTADOS GLOBAIS');
writeln;
writeln ('- Área urbana           = ',SA[N]:3:3,' km2');
writeln ('- População da Cidade      = ',SP[N]:7:0,' hab');
writeln ('- Ocupação média            = ',OCM:3:0,' hab/ha');
writeln ('- Passageiros Transp.       = ',SNV[N]:6:1,' pass/h');
writeln ('- Quilometragem            = ',SQ[N]:5:2,' km/h');
writeln ('- IPK                     = ',IPK:2:2,' pass/km');
writeln ('- Custo total               = ',SCT[N]:5:2,' us$/h');
writeln ('- Custo médio por habitante = ',CMC:3:2,' us$/h/mil hab');
writeln ('- Custo médio por passageiro = ',CVC:2:3,' us$/pass');
writeln ('-----');
end;
```

```
writeln ('- para (c)ontinuar a processar digite "c");
writeln ('- para (v)oltar ao menu inicial digite "v");
write ('- opção desejada:'); readln (OP3);
```

```
until (OP3 = 'v') or (OP3 = 'V');
end;
```

```
procedure quilometragem2;
begin
```

```
Na:= 0;
  repeat
    Na:= Na + 1;
    DCr:= A / Na;
  until (DCr <= ((2 * DC) / 1000));
```

```
IF (DCr = 0)
  THEN QA:= 0
  ELSE begin
```

```
  DR:= AR / DCr;
```

```
  Nb:= 0;
    repeat
      Nb:= Nb + 1;
      DRr:= B / Nb;
    until (DRr <= DR);
```

```
  i:=0;
  j:=0;
    repeat
      i:= i + 1;
      j:= j + i;
    until (i = Nb);
```

```
  k:= -1;
  l:= 0;
    repeat
      k:= k + 1;
      l:= k + 0.5 + l;
    until (k = (Na-1));
```

```
  NLA:= Na * Nb;
```

```
  EXTA:= (Na * DRr * j) + (Nb * DCr * l);
```

```
  QA:= 2 * FR * EXTA;
```

```
  end;
```

```
NI:= B / DR;
```

```
IF (NI <= 1)
  THEN begin
    NLB:= NLA;
    EXTB:= EXTA;
    QB:= QA;
    end
  ELSE begin
    Nbr:= TRUNC(NI);
    DRr2:= B / Nbr;
    i1:= 0;
```



```

    j1:= 0;
    repeat
        i1:= i1 + 1;
        j1:= j1 + i1;
    until (i1 = Nbr);

    NAR:= DRr2 * DCr;
    NFR:= (NAR * OC * 100 * GE) /CA;
    NLB:= Na * Nbr;
    EXTB:= (Na * DRr2 * j1) + (Nbr * DCr * l);
    QB:= 2 * NFR * EXTB;
    end;

IF (QA <= QB)
    THEN begin
        QAB:= QA;
        NLAB:= NLA;
        EXTAB:=EXTA;
        end
    ELSE begin
        QAB:= QB;
        NLAB:= NLB;
        EXTAB:= EXTB;
        end;

end;

procedure custo2;

begin

AC:= P / (OC * 100);

Y:= SQRT (AC / RE);

X:= RE * Y;

XC1:= xc * X;
YC1:= yc * Y;

A:= Y - YC1;
B:= XC1;
quilometragem2;
QH:= QAB;
NLH:= NLAB;
EXTH:= EXTAB;

A:= XC1;
B:= Y - YC1;
quilometragem2;
QV:= QAB;
NLV:=NLAB;
EXTV:= EXTAB;

IF (QH <= QV)
    THEN begin
        Q1:= QH;
        NL1:= NLH;
    
```

```

        EXT1:= EXTH;
        end
    ELSE begin
        Q1:= QV;
        NL1:= NLV;
        EXT1:= EXTV;
        end;

```

```

A:= Y - YC1;
B:= X - XC1;
quilometragem2;
QH:= QAB;
NLH:= NLAB;
EXTH:= EXTAB;

```

```

A:= X - XC1;
B:= Y - YC1;
quilometragem2;
QV:= QAB;
NLV:= NLAB;
EXTV:= EXTAB;

```

```

IF (QH <= QV)
    THEN begin
        Q2:= QH;
        NL2:= NLH;
        EXT2:= EXTH;
        end
    ELSE begin
        Q2:= QV;
        NL2:= NLV;
        EXT2:= EXTV;
        end;

```

```

A:= YC1;
B:= XC1;
quilometragem2;
QH:= QAB;
NLH:= NLAB;
EXTH:= EXTAB;

```

```

A:= XC1;
B:= YC1;
quilometragem2;
QV:= QAB;
NLV:= NLAB;
EXTV:= EXTAB;

```

```

IF (QH <= QV)
    THEN begin
        Q3:= QH;
        NL3:= NLH;
        EXT3:= EXTH
        end
    ELSE begin
        Q3:= QV;
        NL3:= NLV;
        EXT3:= EXTV;

```

```

end;

A:= YC1;
B:= X - XC1;
quilometragem2;
QH:= QAB;
NLH:= NLAB;
EXTH:= EXTAB;

A:= X - XC1;
B:= YC1;
quilometragem2;
QV:= QAB;
NLV:= NLAB;
EXTV:=EXTAB;

IF (QH <= QV)
  THEN begin
    Q4:= QH;
    NL4:= NLH;
    EXT4:= EXTH;
  end
  ELSE begin
    Q4:= QV;
    NL4:= NLV;
    EXT4:= EXTV;
  end;

NLT:= NL1 + NL2 + NL3 + NL4;

EXTT:= EXT1 + EXT2 + EXT3 + EXT4;

QT:= Q1 + Q2 + Q3 + Q4;

EXTM:= EXTT / NLT;

IPK:= (P * GE * 2) / QT;

CM:= (CQ * QT) / (P / 1000);

CMV:= CQ * QT / (GE * 2 * P);

end;

procedure saida2;

begin
writeln (P:7:0,' ',NLT:3,' ',EXTM:5:2,' ',QT:7:2,' ',IPK:6:2,' ',CM:3:2,' ',CMV:1:3);

end;

{-----MACBUS2-----}

{início do corpo principal do programa para simulações simplificadas}

```

{Neste programa, os parâmetros de entrada são os mesmos para toda a cidade. A relação entre os lados da cidade pode ser qualquer um. O pólo principal pode ser localizado em qualquer ponto da mancha urbana,

inclusive nas bordas ou vértices. A saída de resultados é fornecida para populações a partir de 20.000 hab. até 1.000.000 hab., seguindo a conformação da cidade desejada e os parâmetros digitados.}

procedure macbus2;

begin

continua:= 's';

repeat

clrscr;

writeln (Programa MACBUS 2 - Simulação Simplificada);

writeln;

writeln ('Entrada de dados');

write ('entre com a frequência mínima, FR (viag/h) :'); readln (FR);

write ('entre com a capacidade do veículo, CA (pass) :'); readln (CA);

write ('entre com a ocupação populacional, OC (hab/ha) :'); readln (OC);

write ('entre com o fator de geração de viagens, GE (viag/h/hab) :'); readln (GE);

write ('entre com o custo operacional, CQ (us\$/km) :'); readln (CQ);

write ('entre com a distância máxima de caminhada, DC (m) :'); readln (DC);

write ('entre com a relação entre os lados da cidade, RE=X/Y (X>=Y):'); readln (RE);

IF (RE < 1)

THEN begin

repeat

write ('RE não pode ser menor que 1, entre novamente com RE:');

readln (RE);

until (RE>=1);

end;

write ('entre com a posição relativa do pólo em relação ao eixo X, xc (xc<=1):'); readln (xc);

IF (xc>1)

THEN begin

repeat

write ('xc não pode ser maior que 1, entre novamente com xc:');

readln (xc);

until (xc<=1);

end;

write ('entre com a posição relativa do pólo em relação ao eixo Y, yc (yc<=1):'); readln (yc);

IF (yc>1)

THEN begin

repeat

write ('yc não pode ser maior que 1, entre novamente com yc:');

readln (yc);

until (yc<=1);

end;

{área das zonas individuais de atendimento}

AR:= FR * CA / (OC * 100) / GE;

writeln ('Resultados');

```

writeln ('área de atendimento individual, AR (km2)=' , AR:2:3);

writeln ('POPULAÇÃO Nº de LIG. EXT.MEDIA QUILOMETRAGEM IPK CUSTO MEDIO HAB. CUSTO
PASS');
writeln ('      (hab)                (km)                (km)                (us$/h/mil hab)
(us$/pass)');

P:= 20000;

custo2;

saida2;

P:= 0;
  repeat
    P:= P + 50000;

    custo2;

    saida2;

  until (P = 1000000);

write ('continua a processar ? (s/n) :'); readln (continua);
until (continua = 'n') or (continua = 'N');
end;

{tela inicial}
begin
repeat
clrscr;
writeln ('          "PROGRAMA MACBUS"');
writeln;
writeln ('"Modelo para Avaliação do Custo do transporte coletivo por ôniBUS");
writeln ('          em cidades médias e pequenas");
writeln;
writeln ('-----');
writeln;
writeln ('Opções:');
writeln;
writeln ('-digite "1" se desejar simulação considerando não homogeneidade');
writeln (' (modelo discriminado por regiões) (MACBUS 1)');
writeln;
writeln ('-digite "2" se desejar simulação considerando ocupação e geração');
writeln (' de viagens homogêneas (modelo simplificado) (MACBUS 2)');
writeln;
writeln ('-digite "3" se desejar sair do programa');
writeln;
write ('Opção desejada:'); readln (OP1);
IF (OP1 = '1') THEN begin
    macbus1;
  end
ELSE begin
  IF (OP1 = '2') THEN macbus2;
  end;
until (OP1 = '3');

end.

```

APÊNDICE B - EXEMPLOS DE ENTRADA DOS DADOS E SAÍDA DOS RESULTADOS

"PROGRAMA MACBUS"

"Modelo para Avaliação do Custo do transporte coletivo por ôniBUS em cidades médias e pequenas"

Opções:

- digite "1" se desejar simulação considerando não homogeneidade (modelo discriminado por regiões) (MACBUS 1).
- digite "2" se desejar simulação considerando ocupação e geração de viagens homogêneas (modelo simplificado) (MACBUS 2).
- digite "3" se desejar sair do programa.

Opção desejada: 1

Programa MACBUS 1 - Simulação Discriminada por Regiões

Entrada de dados:

- entre com o número de Regiões Homogêneas em que é dividida a cidade: 4

Dados da Região 1

- entre com a primeira dimensão do retângulo, X (km): 2

- entre com a segunda dimensão do retângulo, Y (km): 3

- entre com a distância do vértice mais próximo ao pólo principal, DI (km): 2

- entre com a ocupação populacional, OC (hab/ha) :50

- entre com o fator de geração de viagens, GE (viag/h/hab/sent): 0.01
- entre com a frequência mínima, FR (viag/h) : 2
- entre com a capacidade do veículo, CA (pass) : 50
- entre com a distância máxima de caminhada, DC (m) : 400
- entre com o custo operacional da frota de ônibus, CQ (US\$/km): 1

Resultados da Região 1

- Área = 6.00 km²
- População = 30000 hab
- Passageiros Transp. = 600 pass/h
- Quilometragem = 72.00 km/h
- Custo operacional = 72.00 us\$/h
- Custo médio por habitante = 2.40 us\$/h/mil hab
- Custo médio por pass. = 0.120 us\$/pass

Dados da Região 2

- entre com a primeira dimensão do retângulo, X (km): 2.5
- entre com a segunda dimensão do retângulo, Y (km): 3
- entre com a distância do vértice mais próximo ao pólo principal, DI (km): 4
- entre com a ocupação populacional, OC (hab/ha) :40
- entre com o fator de geração de viagens, GE (viag/h/hab/sent): 0.03
- entre com a frequência mínima, FR (viag/h) : 2
- entre com a capacidade do veículo, CA (pass) : 50
- entre com a distância máxima de caminhada, DC (m) : 400
- entre com o custo operacional da frota de ônibus, CQ (US\$/km): 1

Resultados da Região 2

- Área = 7.50 km²
- População = 30000 hab
- Passageiros Transp. = 1800 pass/h
- Quilometragem = 265.50 km/h
- Custo operacional = 265.50 us\$/h
- Custo médio por habitante = 8.85 us\$/h/mil hab
- Custo médio por pass. = 0.147 us\$/pass

Dados da Região 3

- entre com a primeira dimensão do retângulo, X (km): 2
 - entre com a segunda dimensão do retângulo, Y (km): 2
 - entre com a distância do vértice mais próximo ao pólo principal, DI (km): 0
 - entre com a ocupação populacional, OC (hab/ha) :100
 - entre com o fator de geração de viagens, GE (viag/h/hab/sent): 0
-

Resultados da Região 3

- Área = 4.00 km²
- População = 40000 hab
- Passageiros Transp. = 0 pass/h
- Quilometragem = 0.00 km/h
- Custo operacional = 0.00 us\$/h
- Custo médio por habitante = 0.00 us\$/h/mil hab
- Custo médio por pass. = 0.000 us\$/pass

Dados da Região 4

- entre com a primeira dimensão do retângulo, X (km): 2.5
- entre com a segunda dimensão do retângulo, Y (km): 2
- entre com a distância do vértice mais próximo ao pólo principal, DI (km): 2
- entre com a ocupação populacional, OC (hab/ha) :50
- entre com o fator de geração de viagens, GE (viag/h/hab/sent): 0.01
- entre com a frequência mínima, FR (viag/h) : 2
- entre com a capacidade do veículo, CA (pass) : 50
- entre com a distância máxima de caminhada, DC (m) : 400
- entre com o custo operacional da frota de ônibus, CQ (US\$/km): 1

Resultados da Região 4

- Área = 5.00 km²
- População = 25000 hab
- Passageiros Transp. = 500 pass/h
- Quilometragem = 66.00 km/h
- Custo operacional = 66.00 us\$/h
- Custo médio por habitante = 2.64 us\$/h/mil hab
- Custo médio por pass. = 0.132 us\$/pass

- entre com o número de pólos secundários: 1
- entre com o % de viagens atraídas pelo pólo secundário 1 : 5
- entre com a distância (km) do pólo principal ao pólo secundário 1 : 9.5
- entre com a frequência mínima, FR (viag/h) : 2
- entre com a capacidade do veículo, CA (pass): 50
- entre com o custo operacional, CQ (us\$/km) : 1

RESULTADOS GLOBAIS

- Área urbana = 22.500 km²
- População da Cidade = 125000 hab
- Ocupação média = 56 hab/ha

- Passageiros transp. = 2900 pass/h
- Quilometragem = 403.50 km/h
- Custo total = 403.50 us\$/h
- Custo médio por habitante = 3.23 us\$/h/mil hab
- Custo médio por pass. = 0.139 us\$/pass

-
- Acréscimo de quilometragem devido pólos secundários = 55.10 km/h
 - IPK = 6.64 pass/km
 - Acréscimo de custo devido pólos secundários = 55.10 km/h
 - Custo por habitante com acréscimo = 3.67 us\$/h/mil hab
 - Custo por passageiro com acréscimo = 0.151 us\$/pass

-
- para (c)ontinuar a processar digite "c"
 - para (v)oltar ao menu inicial digite "v"
 - opção desejada : v

"PROGRAMA MACBUS"

"Modelo para Avaliação do Custo do transporte coletivo por ôniBUS em cidades médias e pequenas"

Opções:

- digite "1" se desejar simulação considerando não homogeneidade (modelo discriminado por regiões) (MACBUS 1).
- digite "2" se desejar simulação considerando ocupação e geração de viagens homogêneas (modelo simplificado) (MACBUS 2).
- digite "3" se desejar sair do programa.

Opção desejada: 2

Programa MACBUS 2 - Simulação Simplificada

Entrada de dados

- entre com frequência mínima, FR (viag/h) : 2
- entre com a capacidade do veículo, CA (pass) : 50
- entre com a ocupação populacional, OC (hab/ha) : 40
- entre com o fator de geração de viagens, GE (viag/h/hab/sent): 0.01
- entre com o custo operacional, CQ (US\$/km) : 1

entre com a distância máxima de caminhada, DC (m) : 400
 entre com a relação entre os lados da cidade, RE=X/Y (X>=Y):1
 entre com a posição relativa do pólo em relação ao eixo X, xc (xc<= 1): 0.5
 entre com a posição relativa do pólo em relação ao eixo Y, yc (yc<= 1): 0.5

Resultados

área de atendimento individual, AR (km²) = 2.500

POPULAÇÃO (HAB)	Nº de LIG.	EXT.MEDIA (KM)	QUILOMET. (KM)	IPK	CUSTO HAB. (US\$/h/mil hab)	CUSTO PASS (US\$/pass)
20000	8	1.68	53.67	7.45	2.68	0.134
50000	12	2.65	123.28	7.86	2.55	0.127
100000	16	3.75	240.00	8.33	2.40	0.120
150000	16	4.59	293.94	10.21	1.96	0.098
200000	20	5.30	424.26	9.43	2.12	0.106
250000	20	5.93	592.93	8.43	2.37	0.119
300000	24	6.50	779.42	7.70	2.60	0.130
350000	24	7.02	982.19	7.13	2.81	0.140
400000	28	7.50	1200.00	6.67	3.00	0.150
450000	28	7.95	1431.89	6.29	3.18	0.159
500000	56	6.99	1565.25	6.39	3.13	0.157
550000	64	7.33	1876.17	5.86	3.41	0.171
600000	64	7.65	1959.59	6.12	3.27	0.163
650000	64	7.97	2071.48	6.28	3.19	0.159
700000	72	8.27	2381.18	5.88	3.40	0.170
750000	72	8.56	2567.45	5.84	3.42	0.171
800000	72	8.84	2828.43	5.66	3.54	0.177
850000	80	9.11	3097.69	5.49	3.64	0.182
900000	80	9.38	3375.00	5.33	3.75	0.187
950000	80	9.63	3660.12	5.19	3.85	0.193
1000000	80	9.88	3952.85	5.06	3.95	0.198

Continua a processar ? (s/n): n