

MODELOS TRADICIONAIS TRANSPORTE E TRÁFEGO

Carlos Paiva

Este trabalho tem como base um conjunto de teses, dissertações e artigos técnicos que foram publicados principalmente no Brasil e, portanto, muitas das análises e observações contidas no texto devem ser creditadas aos autores relacionados no capítulo 4 – Referências Bibliográficas. A opção de não citá-los se deveu à necessidade de finalização do estudo em um curto espaço de tempo.

INTRODUÇÃO

O Planejamento de Transportes tem como um de seus objetivos estimar o padrão dos fluxos (viagens de pessoas e veículos) num determinado horizonte, a fim de avaliar alternativas de investimento no Sistema de Transportes Públicos e na malha viária, de forma a atender a demanda futura de forma satisfatória.

A previsão futura da demanda é o elemento crucial para a maioria dos estudos de Planejamento de Transportes. Devido aos sistemas e mecanismos envolvidos, a previsão é um processo dinâmico, necessitando de permanente revisão, correção de rumo, exigindo, portanto um repensar constante.

De acordo com a abrangência do plano de ação no sistema de transporte, existe a necessidade de coleta de informações através de pesquisas na via, no sistema, com o usuário ou com a comunidade. Esta coleta de informações vai dar suporte aos modelos de previsão de demanda segundo os objetivos dos mesmos e os prazos de execução

Este estudo descreve o Modelo 4 Etapas, o mais tradicional e outros ainda pouco utilizados no Brasil: Modelos de Atividades, Modelos de Uso do Solo e Transportes e Modelo de Preferência Declarada.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	1
1 BANCO DE DADOS	3
2 MODELOS DE TRANSPORTE	4
2.1 MODELO 4 ETAPAS	4
2.1.1 <i>Geração de Viagens</i>	4
2.1.2 <i>Distribuição de Viagens</i>	8
2.1.3 <i>Divisão Modal</i>	16
2.1.4 <i>Modelos de Alocação de Viagens</i>	19
2.2 MODELOS DE ATIVIDADES.....	25
2.2.1 <i>Base de Dados</i>	26
2.2.2 <i>Estrutura do Modelo de Atividades</i>	28
2.3 MODELOS DE USO DO SOLO E TRANSPORTE	29
2.4 MODELO DE PREFERÊNCIA DECLARADA	34
2.4.1 <i>Formato das Respostas</i>	35
2.4.2 <i>Desenho do Experimento</i>	36
2.4.3 <i>Entrevista e Amostra</i>	37
3 RECOMENDAÇÕES.....	38
3.1 CONSISTÊNCIA: MATRIZ O/D – MODO TRILHOS	38
3.2 MATRIZ DE VIAGENS MODELADA ATUAL	39
3.3 ALOCAÇÃO DE VIAGENS – TRANSPORTE COLETIVO.....	40
3.4 MATRIZ DE VIAGENS TENDENCIAL	41
3.5 MATRIZ DE VIAGENS NO PICO DA TARDE	42
3.6 DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS VERSUS DIVISÃO MODAL	44
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 BANCO DE DADOS

Para o Planejamento dos Sistemas de Transportes são necessárias informações a respeito do sistema (rede viária, sistema de transporte coletivo, demanda por viagens atraídas e produzidas, pesquisa Origem e Destino, frota, etc.), coleta de variáveis socioeconômicas (população, densidade populacional, renda, empregos, escolas, etc.) e estudos ou legislação sobre o uso e ocupação do solo (Plano Diretor, Leis de Zoneamento, etc.).

As Pesquisas de Origem e Destino (Pesquisas O/D) são as principais fontes de informação para o Planejamento dos Transportes. Os dados coletados auxiliam na análise dos sistemas e na formulação de modelos matemáticos que permitem prever o comportamento futuro da demanda por transportes. Assim, se torna possível planejar e programar o desenvolvimento de um Sistema de Transportes.

Na Região Metropolitana de São Paulo já foram realizadas cinco Pesquisas Origem e Destino, sendo que dessas cinco, pelo menos três estão disponíveis em padrão digital de fácil utilização. Para estas três pesquisas torna-se importante: (1) identificar padrões de viagens e relacioná-los a características socioeconômicas, à estrutura urbana e ao sistema de transporte; (2) identificar alterações nos padrões de viagens, relacionadas às alterações de características socioeconômicas e dos padrões da estrutura urbana e de transporte, para que possamos melhor compreender a dinâmica urbana da região.

Outras bases de dados devem ser utilizadas, tanto na elaboração dos modelos como na previsão de variáveis que alimentam este modelo. O SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados e o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística são fontes de dados importantes para o planejamento urbano municipal e regional.

Dados municipais, principalmente os relacionados ao Imposto Territorial e Predial Urbano (IPTU), também são fontes importantes de informações sobre “a cidade legal” – imóveis com regularização fundiária – dos diversos municípios da Região Metropolitana enquanto imagens de satélites podem ser utilizadas para a obtenção de informações sobre áreas não legalizadas – imóveis irregulares, resultado da expansão urbana desordenada ou ainda alterações de padrões urbanos não captados nos dados do IPTU.

Para a observação de expansões urbanas (mudanças na cobertura territorial de áreas intra-urbanas e peri-urbanas), a cada ano, deve-se pensar em aquisições de três imagens anuais, para se evitar o problema de cobertura de nuvens. Já para o acompanhamento de alterações de padrões urbanos necessita-se de imagens com alta resolução (tem custo e disponibilidade ainda restrita). Satélites franceses e indianos têm este padrão de imagem e existem métodos automáticos e semi-automáticos criativos de tratar imagens na faixa de 2,5 a 5 metros pensando-se na obtenção de indicadores de adensamento.

2 MODELOS DE TRANSPORTE

A modelagem em transportes tenta prever demandas futuras por meio de recursos matemáticos, computacionais e comportamentais, entre outros. Desta forma, a análise dos problemas de transportes passou a ser feita com um embasamento teórico, através da utilização de modelos que visam representar as características de uma nova realidade.

Ortúzar e Willumsen (1990) definem modelo como sendo uma representação simplificada de uma parte do mundo real, que se concentra em certos elementos considerados importantes para a sua análise, de um ponto de vista particular.

Um modelo amplamente utilizado na modelagem de transporte é o denominado *Modelo 4 Etapas*. Existem também modelos baseados nas escolhas provenientes dos diferentes comportamentos humanos, denominados de “abordagem comportamental” (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1990).

2.1 MODELO 4 ETAPAS

Neste modelo, os dados do ano-base, inclusive variáveis socioeconômicas da população, são utilizados para estimar o número total de produção e atração de viagens em cada zona da área em estudo (etapa de geração de viagens).

Em seguida, realiza-se a distribuição das viagens para todos os destinos, gerando uma matriz futura de viagens (Matriz O/D). O próximo passo envolve a escolha do modo de transporte, resultando na divisão modal, que consiste na repartição das viagens em matrizes para os diferentes modais. Por fim, realiza-se a alocação das viagens de cada modal na rede viária se obtendo os volumes de veículos nas vias e número de passageiros no transporte coletivo.

Este modelo clássico é representado como uma seqüência de quatro submodelos: geração e distribuição de viagens, divisão modal e alocação de tráfego.

2.1.1 Geração de Viagens

A modelagem para a previsão de geração de viagens depende essencialmente da quantidade e da qualidade dos dados e da forma estrutural dos modelos. Estes dados são obtidos através das relações observadas entre as características das viagens e informações sobre a situação socioeconômica da população.

Ortúzar e Willumsen (1990) apresentam os seguintes fatores que influenciam na **produção** de viagens: renda, propriedade de automóvel, estrutura do domicílio, tamanho da família, valor do solo, densidade residencial, acessibilidade, entre outros. Como fatores que influenciam na **atração** de viagens numa dada zona pode-se citar: o número de empregos ofertados, o nível de atividade comercial e o número de matrículas escolares.

Os seguintes modelos de geração de viagem podem ser citados: Fator de Crescimento, Taxas de Viagens, Classificação Cruzada ou Análise de Categorias e Regressão.

2.1.1.1 Modelo do Fator de Crescimento

Determina o número de viagens futuras por zona de tráfego em função de variáveis que têm influência na geração das mesmas, tais como: população, renda, propriedade de veículos, densidade residencial ou comercial etc. Portanto, é um modelo que trabalha com dados agregados.

Fórmula Geral:

$$T_i = F_i * t_i$$

Onde:

T_i = num. de viagens futuras produzidas na zona de tráfego i ;

F_i = fator de crescimento

t_i = num de viagens do ano base.

O maior problema deste método é a estimativa do fator de crescimento (F_i) que vai depender da escolha das variáveis que melhor definem este fator, que pode, por exemplo, ser definido pela relação:

$$F_i = \frac{P_f * R_f * C_f}{P_a * R_a * C_a}$$

Onde:

P_i = população da zona i ;

R_i = renda da zona i ;

C_i = propriedade de veículos na zona i ;

a, f = indicam valores atuais e futuros respectivamente.

Por suas características este método é considerado rudimentar e por isto, pouco utilizado. Deve ser aplicado apenas em planos de curto prazo, quando a utilização de outro método não for possível e, para definir os movimentos entre zonas externas (zona externa x zona externa), por estas serem em menor número e não haver uma pesquisa mais aprofundada dos seus dados.

2.1.1.2 Modelo das Taxas de Viagens

Este método determina o número de viagens pelo tipo de ocupação do solo. Para cada tipo de atividade define-se uma taxa de produção e/ou atração de viagens. Esta taxa na maioria das vezes relaciona o número de viagens por unidade de área construída ou de utilização do solo por atividade. De acordo com a possibilidade

de pesquisa dos dados podem-se obter várias taxas, cobrindo um maior número de atividades desagregadas.

2.1.1.3 Modelo de Análise de Categorias ou de Classificação Cruzada

Este modelo pode ser entendido como uma extensão de um modelo de taxas de viagens, utilizando neste caso dados desagregados.

No contexto de “geração com base-residencial”, por exemplo, as viagens são agrupadas de acordo com um conjunto de categorias de residências, relacionadas à estrutura familiar e às condições econômicas dessa família. Utiliza-se normalmente de três a quatro variáveis, cada uma delas subdivididas em cerca de três níveis, como, por exemplo: (1) tipos de residências: com 1, com 2 a 3, com 4 ou com mais de 5 habitantes; (2) número de carros por habitação - 0, 1, 2 ou mais carros.

Com estes tipos e níveis tem-se 12 categorias diferentes. As taxas de viagens associadas a cada categoria são estimadas por métodos estatísticos e, assume-se que são constantes no tempo. Os valores das taxas de geração de viagens por categoria são obtidos a partir dos dados do ano-base.

Taxa de viagem de uma categoria H: $t_c = \frac{T^c}{H^c}$,

Onde

$T^c = \sum_i T_i^c$ - total de viagens da categoria

$H_c = \sum_i H_i^c$ - total de elementos da categoria

Agregação por zona: $T_i^p = \sum_c t_c^p \cdot H_i^c$

A principal característica deste tipo de modelagem está em escolher categorias que minimizem variância das taxas de viagem. Existem métodos estatísticos para este tipo de análise.

As viagens futuras são estimadas a partir da projeção (exógena ao modelo) do número de residências por categoria em cada zona de tráfego, multiplicada pela taxa respectiva à categoria.

Este tipo de modelo traz como vantagem a independência do zoneamento, permitindo relações diferentes para cada categoria definida; contudo, existe a perda da variância interna de cada categoria e dificuldades relativas às projeções das variáveis. Tem se encontrado alguns problemas na projeção da população e/ou de famílias por categorias, principalmente das categorias com tamanho da amostra reduzido.

Árvores de Decisão uma Alternativa a Problemas de Classificação

A árvore de decisão é considerada a forma mais simples de representação das relações existentes em um conjunto de dados. Os dados são divididos em subgrupos, com base nos valores das variáveis.

Os modelos de árvores fornecem uma alternativa a problemas de classificação de dados. Eles são ajustados por sucessivas divisões de dados com a finalidade de obter subconjuntos cada vez mais homogêneos. O resultado é uma árvore hierárquica de regras de decisão utilizadas para prever ou classificar. Defini-se variável resposta, ou dependente (por exemplo: viagem), aquela que se deseja prever ou classificar de acordo com variáveis preditoras ou independentes, potencialmente relacionada à primeira.

O algoritmo ID3, desenvolvido por Ross Quinlan (Sydney, 1983) - considerado o pai das árvores de decisão - e suas evoluções procuram encontrar na base de dados as variáveis preditoras mais importantes, ou seja, aquelas que fornecem máxima segregação dos dados.

Uma árvore de decisão tem as seguintes propriedades: (1) há um nó chamado raiz, que contém todo o banco de dados; (2) este nó contém dados que podem ser subdivididos dentro de outros sub-nós chamados de nós filhos; (3) existe um único caminho entre o nó raiz e cada nó da árvore; (4) quanto os dados do nó não podem ser mais subdivididos em um outro sub-conjunto ele é considerado um nó terminal ou folha.

As vantagens deste método são: (1) consideram as variáveis de maior relevância para a segmentação dos dados; (2) são facilmente compreensíveis; (3) permitem aos usuários visualizar diretamente quais os fatores que mais influenciam suas classificações ou previsões, pois representam as variáveis em ordem de importância.

Algoritmos utilizados para desenvolvimento de árvores de decisão são: C4.5 (evolução do ID3 - Quinlan, 1993), CHAID (Kass, 1980) e CART (Breiman et al., 1984).

2.1.1.4 Modelo de Regressão

A utilização deste método visa construir uma relação linear (ou não) entre o número de viagens existentes (variável dependente) e os vários fatores que influenciam as viagens (variáveis independentes). A forma mais freqüente é o Modelo de Regressão Múltipla:

- Com dados totais da zona - agregado

$$Y_i = \theta_0 + \theta_1 \cdot X_{1i} + \theta_2 \cdot X_{2i} + \dots + E_i$$

Onde:

Y_i - variável dependente (número de viagens)

X_{li} - variáveis independentes (fatores sócio-econômicos e de uso do solo);
 θ_i - parâmetros estimados pelo modelo.

- Com Médias (por família, população, residência) – desagregado

$$y_i = \theta_0 + \theta_1 \cdot x_{1i} + \theta_2 \cdot x_{2i} + \dots + e_i$$

com
$$y_i = \frac{Y_i}{H_i} \quad x_{ki} = \frac{X_{ki}}{H_i} \quad e_i = \frac{E_i}{H_i}$$

Onde :

H_i = número de famílias na zona i (ou pessoas)

As características destes modelos: (1) os coeficientes e constantes são encontrados por calibração para o ano base, utilizando-se o modelo de regressão linear e dados de todas as zonas; (2) algumas variáveis explicam melhor as viagens atraídas, outras as produzidas; (3) a variável dependente (Y) pode dar uma estimativa das viagens produzidas (P_i), ou atraídas (A_i), na zona i, se este é um modelo que utiliza dados agregados; ou uma taxa de produção (atração) de viagens por tipo de residência, se este é um modelo desagregado de base residencial; (4) usualmente 4 variáveis independentes no máximo são suficientes; (5) cada termo da equação de regressão pode ser interpretado como uma contribuição da variável independente para a variável dependente.

Critérios de escolha das variáveis dependentes: (1) devem estar linearmente relacionadas com a variável independente; (2) devem estar altamente correlacionadas com a variável independente; (3) não devem estar altamente correlacionadas com outra variável dependente; (4) devem ser facilmente projetadas para o futuro.

Para modelos agregados as seguintes variáveis podem ser consideradas: (1) na produção de viagens: renda, propriedade de veículos, número de residências (área de ocupação do solo), número de pessoas empregadas, população ou densidade populacional e número de pessoas em idade escolar; (2) na atração de viagens: área destinada à indústria, ao comércio e outros, número de empregos, matrículas escolares e acessibilidade.

2.1.2 Distribuição de Viagens

Uma vez definido o número de viagens produzidas ou atraídas nas Zonas de Tráfego que compõem a área em estudo, o passo seguinte é a determinação da origem e do destino dos movimentos interzonais futuros (distribuição das futuras viagens entre zonas de origem e destino).

Os modelos de distribuição de viagens de modo genérico podem ser definidos pela seguinte expressão:

$$t_{ij} = f \left(\begin{array}{l} \text{variáveis socioeconômicas entre } i \text{ e } j \\ \text{viagens produzidas em } i \text{ e atraídas para } j \\ \text{separação espacial ou custo entre } i \text{ e } j \end{array} \right)$$

Onde t_{ij} representa o número de viagens entre i e j no intervalo de tempo considerado.

Os modelos de distribuição de viagens podem ser grupados da seguinte forma: (1) Modelos de fator de Crescimento: método do crescimento uniforme, método do crescimento médio, Método de Fratar e Método de Furness; (2) Modelos Gravitacionais.

2.1.2.1 Modelos de Fator de Crescimento

Os modelos de fator de crescimento têm a seguinte forma geral:

$$t'_{ij} = f_{ij} * t_{ij}$$

Onde:

t'_{ij} = número de viagens futuras entre as zonas i e j ;

f_{ij} = fator de expansão;

t_{ij} = número de viagens atuais entre as zonas i e j

A aplicação deste método se baseia na existência de uma matriz de origem e destino das viagens no ano base (viagens atuais) e sua grande vantagem é a simplicidade. Tem como desvantagens manter e ampliar erros da matriz base como, por exemplo, pares de zonas sem viagens e ignorar os custos das viagens.

I. Método do Fator de Crescimento Uniforme

Neste método o fator é único para todas as zonas de tráfego e pode ser obtido de duas formas: (1) utilizando-se um fator de crescimento com base em estudos estatísticos ou curvas de crescimento; por exemplo, a região crescerá 20% no período de estudo, bastando então multiplicar os valores da matriz por $F=1.2$; (2) utilizando-se um fator que avalie a relação entre o número de viagens produzidas atualmente e as projetadas para o futuro para cada zona de tráfego.

Fazendo-se:

$$f_i = \frac{P_i}{P'_i}$$

Onde:

P_i = produção de viagens atualmente na zona i ;

P'_i = produção de viagens estimadas na zona i ;

Sendo:

$$t'_{ij} = f_{ij} * t_{ij}$$

O método do fator de crescimento uniforme só deve ser utilizado para um horizonte de projeto de 1 a 2 anos e, em regiões já bastante desenvolvidas e densamente ocupadas. Na Região Metropolitana de São Paulo, com crescimentos totalmente díspares (no centro expandido da cidade de São Paulo houve, entre 1997 e 2007, uma diminuição da população de 13%, enquanto a cidade como um todo cresceu 10% e os outros municípios da região cresceram em média 25%), não faz sentido a utilização de um crescimento uniforme.

II. Método do Fator Médio de Crescimento

Utiliza-se um fator de crescimento para cada par origem e destino (i,j) definido pela média dos fatores de crescimento da zona de origem (i) e o fator de crescimento da zona de destino(j):

$$f_{ij} = (f_i + f_j)/2$$

$$f_i = \frac{P_i}{P_{i_1}} \quad \text{e} \quad f_j = \frac{P_j}{P_{j_1}}$$

Onde:

$P'_{i \text{ ou } j}$ - viagens futuras produzidas na zona origem i ou j, projetadas pelo modelo de geração;

$P_{i \text{ ou } j}$ - viagens produzidas atualmente pela zona i ou j na primeira iteração e o total de viagens estimadas pelo modelo a partir da segunda iteração.

Ao aplicarmos este processo verifica-se que a partir da primeira iteração o total de viagens produzidas ou atraídas para cada zona não se ajusta à estimativa original de viagens produzidas e atraídas no futuro. Para ajustar estes valores, aplica-se um procedimento iterativo até que os valores obtidos sejam equivalentes aos projetados.

O processo pode ser escrito matematicamente da seguinte forma:

$$t_1 = t_0 * (f_i + f_j)/2 \quad (\text{na primeira iteração}) \text{ e}$$

$$t_k = t_{k-1} * (f_{ik-1} + f_{jk-1})/2 \quad (\text{na k-ésima iteração})$$

Este método converge vagorosamente e faz-se necessário especificar um critério de encerramento das iterações, expresso em termos de um limite para o valor de f_{ik} , definido por intervalos: $0,95 \leq f_{ik} \leq 1,05$ ou $0,90 \leq f_{ik} \leq 1,10$

A aplicabilidade deste método, na Região Metropolitana de São Paulo também não faz sentido devido à disparidade dos fatores de crescimento das zonas. Por exemplo, a média entre fatores de crescimento populacionais de -13% (centro expandido da cidade de São Paulo e 25% (crescimento médio dos municípios da Região Metropolitana, exceto São Paulo) não é um fator aceitável para expansão de viagens.

III. Método de Fratar

Este método representa um aprimoramento dos dois métodos anteriores e conseqüentemente um aumento na complexidade dos cálculos necessários. Também, como o método anterior, requer um procedimento iterativo. Trata-se de um método bastante utilizado para zonas externas, ou melhor, movimentos externos/externos.

Considera-se que o número de viagens que saem de uma zona i para uma zona j é proporcional ao número de viagens totais atuais que saem da zona i modificado pelo fator de crescimento da zona j. O método compreende as seguintes etapas:

Passo 1: Calcular o fator de crescimento das zonas de tráfego

$$f_i = \frac{P_i}{P_i^*}$$

Onde:

P_i^* - estimativa do total de viagens produzidas na zona i para o ano de projeto

P_i - viagens atuais, na primeira iteração e viagens calculadas, a partir da segunda iteração.

Passo 2: Estimar as viagens entre zonas de tráfego utilizando a seguinte expressão:

$$t_{ij} = [P_i * t_{ij} * f_j] / \sum t_{ij} * f_j$$

Passo 3: Montar a nova Matriz, fazendo-se:

$t_{ij} = (t'_{ij} * t'_{ji}) / 2$ (t' é o valor calculado na iteração) - a soma dos novos valores de P_i e voltando ao passo 1.

O processo termina quando o fator f_i estiver dentro de um intervalo especificado previamente e de acordo com a precisão que se deseja.

Como se pode observar, o método de Fratar considera apenas os fatores relacionados à produção e, portanto, deve ser utilizado em matrizes que têm valores de produção e atração iguais ou próximos. Nestes casos a matriz resultante de viagens é uma matriz simétrica onde $t_{ij} = t_{ji}$.

Para a Região Metropolitana de São Paulo este tipo de modelo não é aconselhável, pois temos enormes discrepâncias entre as viagens produzidas e atraídas nas zonas. Quase 70% dos empregos existentes estão concentrados no centro expandido da cidade de São Paulo, uma área que corresponde a menos de 5% da área total da região da Região Metropolitana.

IV. Método do Fator de Crescimento Duplo (Furness)

Utilizado para fazer a distribuição de viagens considerando tanto o fator de crescimento da produção quanto o da atração. Este método também é conhecido como Fratar Balanceado.

O método requer uma série de correções até que a soma das linhas convirjam para o total de produção de cada linha e a soma das colunas para o total de atração.

Fórmula Geral:

$$T'_{ij} = t_{ij} * a_i * b_j$$

Onde:

t_{ij} = número de viagens no ano base produzido pela zona 1 e atraído pela zona j.

T_{ij} = número de viagens calculado produzido pela zona i e atraído pela zona j.

a_i = fator de balanceamento da linha i;

b_j = fator de balanceamento da coluna j.

Como são necessárias algumas iterações para se chegar a uma solução, a técnica empregada pode ser representada matematicamente da seguinte forma:

$$T_{ijk+1} = (T_{ijk} * b_j) * a_i \quad **$$

$$a_i = \frac{P_i}{\sum_j T'_{ij}}$$

$$b_j = \frac{A_j}{\sum_i T'_{ij}}$$

Onde:

P_i - estimativa do total de viagens produzidas na zona i para o ano de projeto.

P_i - viagens atuais na primeira iteração e viagens calculadas a partir da segunda iteração.

Procedimento Geral: (1) faz-se $a_i = 1,0$; (2) calcula-se o fator de crescimento por coluna b_j ; (3) calcula-se a matriz de viagens utilizando-se a expressão **; (4) calcula-se o total por linha P_i e o fator a_i ; (5) recalcula-se a matriz multiplicando-se os valores obtidos em 3 por a_i ; (6) se os valores encontrados para P_i e A_j são iguais aos projetados, pare; caso contrário, volte ao item 2.

Vantagens e Limitações dos Métodos de Fator de Crescimento Duplo: (1) é um método de fácil entendimento e faz uso direto da matriz de viagens observadas e de projeções de viagens produzidas e atraídas; (2) pode ser utilizado quando o custo do deslocamento não está disponível ou é de menos importância, principalmente em projeções de curto prazo, ou ainda, na falta de maiores informações (viagens externas); (3) a principal limitação é que o método de Furness, assim como os outros métodos de fator de crescimento, não leva em consideração mudanças nos custos de transporte devido a melhoramentos ou restrições na rede e, é considerado bastante limitado nas análises de longo prazo envolvendo opções de novos modos de transporte, novos links, políticas de preço e novas zonas de tráfego.

2.1.2.2 Modelo Gravitacional

A base conceitual deste modelo é a lei gravitacional de Newton, que diz: “a força de atração entre dois corpos é diretamente proporcional ao produto das massas

dos dois corpos e inversamente proporcional ao quadrado das distâncias entre eles”.

A sua aplicação em transportes considera a hipótese de que o número de viagens produzidas pela zona i e atraída pela zona j é proporcional: (1) ao número total de viagens produzidas pela zona i; (2) ao número total de viagens atraídas pela zona j; (3) a uma função de impedância que relacione a separação espacial ou custo de viagem entre as zonas de tráfego.

A vantagem deste modelo em relação aos outros é que nele se considera, além da atração, o efeito da separação espacial ou facilidade de iteração entre as regiões definida pela função de impedância.

Por analogia à lei de Newton, a equação do Modelo Gravitacional toma a seguinte forma:

$$t_{ij} = K \frac{P_i A_j}{R_{ij}^c}$$

Onde:

t_{ij} - número de viagens com origem em i e destino em j;

k e c - parâmetros a serem calibrados utilizando os dados do ano base;

P_i - total de viagens produzidas pela zona i;

A_j - total de viagens atraídas pela zona j;

R_{ij} - variável de impedância entre as zonas i e j;

Posteriormente o modelo foi generalizado, assumindo-se que o efeito da impedância poderia ser melhor representado por uma função generalizada de custo de viagem $f(c_{ij})$ com um ou mais parâmetros para calibração.

$$t_{ij} = k * P_i * A_j * f(c_{ij})$$

A função $f(c_{ij})$ recebe o nome de função de impedância porque ela representa um obstáculo à viagem. Versões normalmente utilizadas são:

$$f(c_{ij}) = e^{-\beta c_{ij}} \quad - \text{função exponencial negativa}$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n} \quad - \text{função exponencial inversa}$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n} e^{-\beta c_{ij}} \quad - \text{função combinada}$$

Para a variável β , obtida no processo de modelagem, os valores maiores tem como significado viagens mais concentradas em zonas próximas, enquanto que β menores, ocorre um maior espalhamento das viagens para zonas mais distantes.

Uma impedância significa qualquer tipo de oposição ao movimento e pode ser definida por uma variável ou por um conjunto de variáveis tais como distância, tempo de viagem ou custo de transporte. Quando a impedância é definida por um conjunto destas variáveis dá-se o nome de custo generalizado. Este custo é

tipicamente definido por uma função linear de atributos de viagem medidos por coeficientes que definem a relativa importância dada a esses atributos pelo usuário.

Suponhamos, para exemplificar, que a função custo generalizada seja dada por

$$c_{ij} = w_1 * C + w_2 * t_v + w_3 * t_e$$

Onde:

C = custo direto de viagem

t_v = tempo gasto dentro do veículo

t_e = tempo total de esperas e transferências

w_1, w_2, w_3 = pesos

Ortúzar & Willumsen (1994) consideram o modelo de gravidade o de maior entendimento dentre os modelos de distribuição e, que, tem a vantagem de estimar as viagens para cada célula da matriz sem usar diretamente uma matriz observada. Já as desvantagens são a necessidade de um considerável número de ajustes e manipulações para obtenção de um resultado satisfatório e, a não garantia de que os fatores socioeconômicos e os relacionados ao tempo de viagem serão válidos no futuro.

2.1.2.3 Software EMME

Os modelos de distribuição de viagens mais utilizados são o Gravitacional e os de Fator de Crescimento Fratar e Furness, que podem ser facilmente implementados através do módulo de balanceamento bidimensional de matrizes do software EMME.

Ambos os modelos necessitam de totais de viagens por zona, obtidos através de modelos de geração de viagens (vetores: produção e atração futuros) e de uma matriz modelada atual.

Na prática, para desenvolvimento da matriz modelada atual, devemos ter:

1. Uma matriz de tempos de viagem que identifique para cada par origem-destino o tempo médio de viagem entre zonas, que pode ser obtida, por exemplo, a partir de uma alocação (simulação) da matriz pesquisada, em um software tipo EMME, em rede (centróides, conectores, nós e links) já definida.
2. Vetores modelados de produção e atração de viagens que nos forneçam o número de viagens produzidas e atraídas em cada zona (1ª etapa do modelo).
3. Um software que tenha procedimentos de balanceamento de matrizes. Softwares de alocação como EMME, em geral, possuem módulos que permitem este procedimento.

No módulo de balanceamento de matrizes, através de procedimentos iterativos, devemos obter um valor para a constante c da função $F = e^{-ct}$ ($c = -\beta$ do Modelo

Gravitacional $e^{-\beta c_{ij}}$), que gere uma matriz modelada com distribuição de tempos de

viagem próxima à da matriz pesquisada. Para isso, os seguintes passos são necessários:

Entradas:

1. Vetores de Produção e Atração de Viagens.

2. Matriz na forma:

$$e^{c*} \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \rightarrow \text{Matriz de Tempos de Viagem}$$

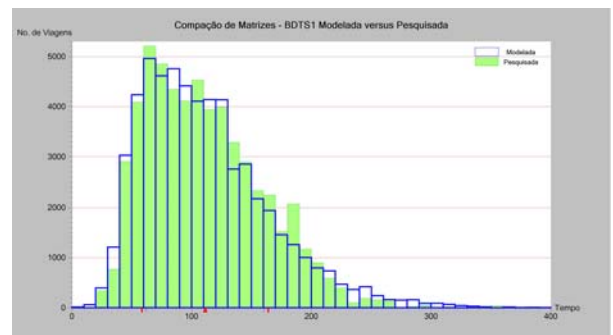
o valor de c pode ser inicialmente definido em 50.

Resultado: Matriz Modelada

Análise do Resultado (Matriz Modelada):

Devemos comparar o histograma do número de viagens por faixa de tempo (a cada 15 minutos, por exemplo) da matriz modelada com o da matriz pesquisada (figura ao lado: azul – matriz modelada e verde – matriz pesquisada).

O valor do parâmetro c e a matriz modelada final é aquela em que o histograma de tempos de viagem é semelhante ao histograma da matriz pesquisada.



Na prática devemos variar o valor do parâmetro c , na função $F = e^{ct}$, e então compararmos o histograma de tempos obtido na matriz modelada com o da matriz pesquisada até obtermos histogramas semelhantes (idealmente iguais).

Observação: Este procedimento deve ser realizado para cada conjunto de dados definidos - renda, posse ou não de auto e motivo de viagem - na etapa anterior, Produção e Atração de viagens.

Para matrizes futuras os modelos necessitam de totais de viagens obtidos através de modelos de geração de viagem (vetores: origem e destino futuros) e de uma matriz base que pode ser a matriz modelada atual (Modelos de Fratar ou Furness) ou a matriz de tempos de viagens futuros resultado da expressão e^{ct} (Modelo Gravitacional), onde, t é o tempo futuro médio de viagens entre zonas e c é a constante obtida na calibração do Modelo Gravitacional na matriz modelada atual.

2.1.2.4 Modelo de Oportunidades Intervenientes

Entre os modelos comportamentais para distribuição de viagens temos o Modelo de Oportunidades Intervenientes, idealizado inicialmente por Stouffer (1940, *apud* Novaes, 1982). O princípio deste modelo é o de que os processos de distribuição espacial de viagens não apresentam relação explícita com a distância; o fator que regula a relação de distribuição de viagens é a competição entre “oportunidades”. O número de viagens de uma zona i alocável à zona j é diretamente proporcional ao

número de oportunidades da zona j e inversamente proporcional às oportunidades intervenientes, ou seja, oportunidades mais acessíveis, a partir da zona i .

Com base no princípio de Stouffer, Schneider (1959, *apud* Novaes, 1982) desenvolveu um modelo baseado na probabilidade da viagem com origem na zona i ser atraída para as zonas de destino possíveis. A probabilidade de ser atraído a uma zona j é uma função do número de oportunidades disponíveis na mesma (Novaes, 1982). A formulação matemática geral, para os modelos comportamentais, é apresentada abaixo:

$$V_{ij} = V_i * f(p_{ij})$$

Onde:

V_{ij} = número de viagens entre as zonas i e j ;

V_j = número de viagens geradas na zona j ;

p_{ij} = probabilidade de uma viagem ser atraída da zona i para a zona j .

Este modelo, diretamente proporcional ao número de oportunidades na zona de destino e inversamente proporcional às oportunidades nas zonas “próximas” (oportunidades intervenientes), tem como principal dificuldade justamente a identificação das oportunidades intervenientes (zonas “mais próximas”).

2.1.3 Divisão Modal

O objetivo dos modelos de divisão modal é destinar aos diferentes modos de transporte as viagens com origem na zona i e destino da zona j , sem se preocupar com as rotas existentes.

A divisão modal é feita com base nas variáveis que o usuário utiliza para fazer a sua escolha. Os fatores que influenciam a escolha modal incluem usualmente características socioeconômicas e características dos serviços dos modos de transporte. De uma forma geral são considerados os seguintes parâmetros: (1) atributos do deslocamento (motivo da viagem, período de realização e destino); (2) atributos do usuário (propriedade de veículos, renda e estrutura familiar, nível cultural); (3) atributos do sistema de transporte (custo e tempo de viagem, tempo de espera, de transbordo ou andando, frequência, conforto e acessibilidade).

A inclusão desses atributos na formulação de modelos de escolha modal é limitada pelo tipo, quantidade e qualidade das informações disponíveis de calibração. O elemento mais restritivo é a necessidade de se obter dados com os quais se possam fazer projeções consistentes.

Existem basicamente dois tipos de modelos de divisão modal:

- **Determinísticos:** determinam a proporção de viagens por cada modo utilizando métodos quantitativos simples, tais como: Regressão Linear e Classificação Cruzada ou Curvas de Desvio.
- **Probabilísticos:** utilizam a probabilidade de escolha de cada modo para determinar a percentagem de viagens para seus respectivos modos. Os modelos

mais utilizados são: Logit Binomial, Logit Multinomial e Logit Hierárquico ou Aninhado.

2.1.3.1 Modelos Determinísticos

I. Modelo de Regressão Linear

São, em geral, utilizados para fazer a distribuição modal de forma agregada. Sob este ponto de vista, determina-se a proporção de viagens por automóvel ou por transporte público através de uma relação matemática entre o número de viagens e as características socioeconômicas dos viajantes e/ou as características das alternativas.

$$Y_i = \theta_0 + \theta_1 .X_{1i} + \theta_2 .X_{2i} + \dots + E_i$$

Onde:

Y_i - variável dependente (número de viagens de determinado modo de transporte i)

X_{ji} - variáveis independentes (fatores sócio-econômicos, atributos do sistema de transporte);

θ_i - parâmetros estimados pelo modelo.

Deve-se lembrar que a soma de Y_i, Y_j, \dots, Y_k para a situação (viagens de diferentes modos de transporte) é igual ao total de viagens do par origem/destino.

II. Modelo de Análise de Categorias (ou Classificação Cruzada)

Os métodos de Classificação Cruzada tentam dividir a população ou zonas de tráfego em grupos relativamente homogêneos. Os grupos podem ser classificados de acordo com as características do tomador de decisão (o viajante) ou com as características dos modos.

Normalmente, na classificação cruzada, para cada grupo homogêneo obtém-se um valor médio do percentual de utilização de cada modo de transporte. Nestes modelos, considera-se que os percentuais de utilização permanecerão constantes para cada grupo de categoria. Este tipo de modelo foi melhor descrito nos modelos de distribuição de viagens.

A dificuldade do modelo está na identificação destes grupos homogêneos e, além disso, a suposição de que o percentual de utilização de cada modo permanecerá constante para cada categoria, pode não ser real.

III. Modelo de Curvas de Desvio

Similares ao anterior, estes modelos determinam a proporção de viagens entre dois modos de transporte, através de algumas curvas que relacionam o percentual de utilização de cada um dos modos com parâmetros tais como tempo, custo, nível de serviço e renda do viajante.

Pode-se observar que os modelos determinísticos, de uma forma geral, utilizam o método de regressão para chegar à proporção de viagens entre os modos de transporte; a diferença entre os modelos está na maior ou menor agregação dos dados utilizados para fazer a avaliação.

2.1.3.2 Modelos Probabilísticos

Estes modelos fundamentam-se na hipótese básica de que a probabilidade de um indivíduo escolher determinada alternativa é função da atratividade da alternativa escolhida em relação à atratividade das outras alternativas disponíveis (Ortúzar & Willumsem, 1994).

Para representar a atratividade de uma alternativa utiliza-se o conceito de utilidade, geralmente definido como uma combinação de variáveis que representam características da alternativa e do indivíduo.

Uma ***Função Utilidade*** é uma expressão matemática que determina o grau de satisfação que o usuário do transporte obtém com a escolha do modo. De uma forma geral, é definida por uma soma de variáveis e seus pesos relativos, tal como:

$$U = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \dots + a_nx_n$$

Onde:

U é a utilidade derivada da escolha medida pelos atributos x_i do modo de transporte e os pesos a_i relativos a estes atributos. Os atributos de transporte são aqueles definidos anteriormente, tais como custo e tempo de viagem, tempo de espera e algumas derivações destes.

A escolha pela utilidade prevê que o tomador de decisão realize compensações entre os atributos de cada alternativa para escolha de uma na qual seu benefício seja o maior possível. Esse critério de decisão implica matematicamente que a atratividade de uma alternativa expressa por um vetor de valores de atributos seja redutível a um índice. O índice de atratividade de uma alternativa em relação às demais dentro de um mesmo conjunto de escolha pode ser definido como utilidade.

A teoria para formulação dos modelos de escolha discreta é dada pela teoria da utilidade aleatória. Um tomador de decisão n escolherá dentre o conjunto das j alternativas disponíveis, aquela que maximize sua utilidade.

A utilidade, vista por um tomador de decisão n , seria composta de duas parcelas: (1) a parcela mensurável V_{nj} , baseada no vetor x_{nj} dos atributos das j alternativas observadas pelo tomador n ; (2) a parcela não observável ϵ_{nj} , representando a parcela de fatores vista por n na alternativa j , mas não mensurável.

$$U_{nj} = V_{nj} + \epsilon_{nj}$$

Diferentes tipos de modelos de escolha discreta são obtidos em função da distribuição admitida para a componente aleatória ϵ . Os modelos mais utilizados são os do tipo Logit (distribuição do tipo Gumbel) e Probit (distribuição normal). Os modelos logit são muito empregados por sua praticidade e facilidade operacional

e, se baseiam no pressuposto de os fatores não observados não serem correlacionados entre alternativas e possuírem a mesma variância.

I. Modelo Logit Multinomial

Este modelo determina a proporção de viagens que caberá a cada modo específico k de acordo com a seguinte expressão:

$$p(k) = \frac{e^{U_k}}{\sum_x e^{U_x}}$$

Onde:

$p(k)$ - probabilidade de escolha do modo k ;

k - um modo de transporte;

x - são todos os modos concorrentes;

U_x - utilidade do modo x .

O modelo relaciona a probabilidade de escolha de uma alternativa, em um conjunto de alternativas, por uma unidade de decisão (indivíduo, residência, empresa, etc.), ou um grupo, de acordo com a utilidade destas alternativas.

II. Método Logit Binomial

Trata-se de uma simplificação do modelo anterior, em que se avaliam apenas duas alternativas de transporte. Supondo-se a distribuição de viagens entre dois modos A e B e, as utilidades relativas dos mesmos como sendo U_A e U_B , respectivamente, o modelo toma a seguinte forma:

$$p(A) = \frac{1}{1 + e^{U_B - U_A}}$$

Onde:

$p(A)$ é a probabilidade de escolha do modo A e $p(B) = 1 - p(A)$.

III. Modelo Logit Hierárquico ou Aninhado

Os modelos Logit baseiam-se no pressuposto de os fatores não observados não serem correlacionados entre alternativas e possuírem a mesma variância. Quando os fatores são correlacionados utilizam-se os modelos Logit Hierárquicos ou Aninhados que consideram a correlação dentro de um grupo de alternativas semelhantes. Este modelo representa uma forma de relaxamento das restrições do Logit Multinomial.

2.1.4 Modelos de Alocação de Viagens

Nos modelos de alocação de viagens, último passo do modelo tradicional 4 etapas, se procede a atribuição das matrizes de viagens obtidas nos diversos modos às redes correspondentes. Nesta forma tradicional de análise, os modelos de alocação são utilizados para fornecer estimativas de fluxos de tráfego em vias estratégicas,

com o principal objetivo de disponibilizar uma base de comparação de sistemas de transportes a médio e longo prazo.

Um primeiro conceito que se encontra subjacente a todos os modelos de atribuição de tráfego é o do custo de deslocamento. Caso um utilizador disponha de mais de uma alternativa para efetuar uma viagem, vai naturalmente ponderar uma série de fatores para decidir o percurso a seguir.

Torna-se assim útil utilizar o conceito de *custo generalizado de deslocamento*, como sendo uma função dos fatores envolvidos na decisão. Alguns destes fatores, como o conforto, os aspectos cênicos ou a falta de segurança do percurso, são dificilmente quantificáveis e geralmente não são levados em conta nos processos de modelagem.

Custo generalizado

O custo generalizado de deslocamento da zona i para a zona j, através do modo k, pode ser representado por:

$$c_{ij} = w_1 * C + w_2 * t_v + w_3 * t_e$$

Onde:

C = custo direto de viagem

t_v = tempo gasto dentro do veículo

t_e = tempo total de esperas e transferências

w_1, w_2, w_3 = pesos

2.1.4.1 Transporte Individual

O comportamento do fluxo de tráfego pode ser tratado em pelo menos três níveis de agregação, ou seja, modelos com abordagem macroscópica, microscópica e mesoscópica. Na abordagem macroscópica, objeto de nosso interesse, se descreve o comportamento do tráfego de maneira agregada, baseada na teoria dos fluídos (leis da hidrodinâmica).

No modelo macroscópico, o fluxo é descrito com base em três variáveis fundamentais: (1) volume ou fluxo - número de veículos que passam em determinado ponto por unidade de tempo, veículos/hora; (2) densidade ou concentração - número de veículos por comprimento unitário da via, veículos/km (3) velocidade - velocidade média em um trecho linear da via, Km/hora.

Por tratarem o tráfego de maneira agregada os modelos macroscópicos necessitam de um menor volume de dados e sua calibração tende a ser menos complexa que a dos modelos microscópicos (tratam individualmente cada veículo e utilizam a teoria da perseguição - *car following* - no gerenciamento destes veículos) e mesoscópicos (tratam pelotões de veículos formados a partir da rede semafórica e, explicam a deformação destes pelotões através da teoria da dispersão de fluxos).

I. Modelos tudo-ou-nada

O método mais simples de alocar as viagens pela rede é através da chamada atribuição tudo-ou-nada. Trata-se simplesmente de, para cada par O-D, determinar o trajeto com o custo inicial mais baixo e carregar esse percurso com todas as viagens do par. Este método considera os custos de deslocamento independentes do fluxo nos arcos, sendo, portanto, aplicável apenas a redes pouco solicitadas.

II. Modelos Estocásticos

Os condutores não são todos iguais. Alguns valorizam mais o tempo, outros a distância percorrida. Para além desta variabilidade, há ainda que se notar o fato de que se um condutor em um determinado dia escolher um trajeto, nada garante que venha a repetir a opção no outro dia, mesmo em igualdade de circunstâncias. Os comportamentos dos condutores são, portanto, inconstantes e heterogêneos. Os modelos que, de alguma forma, procuram simular a inconsistência, dizem-se estocásticos. Nestes modelos, um ou mais elementos estão sujeitos à aleatoriedade e, sucessivas simulações do mesmo caso, não geram necessariamente resultados idênticos, como nos modelos determinísticos.

Há duas formas tradicionais de incorporar os efeitos estocásticos. A primeira refere-se a uma família de algoritmos em que o tráfego é distribuído pelos diferentes trajetos, de acordo com uma curva do tipo Logit, com preferência pelo trajeto de custo mínimo. O mais conhecido algoritmo deste tipo é atribuído a Dial (1971).

Uma abordagem alternativa utiliza simulações de Monte Carlo para representar a variabilidade dos custos percebidos. Os algoritmos deste tipo derivam de uma técnica desenvolvida por Burrell (1968, *apud* Ortuzar; Willunsen, 1994), onde os custos de deslocamento dos diferentes arcos da rede são retirados de uma distribuição, retangular ou normal, cuja média é o custo real.

Em situações de redes congestionadas, o equilíbrio estocástico não é garantido, dado que permite aos usuários a seleção de diversos trajetos, inclusive os “não ótimos”.

III. Modelos de Equilíbrio

Os métodos de atribuição descritos, tudo-ou-nada e estocástico puro, pressupõem custos de deslocamentos fixos, independentes do carregamento das vias. Os custos de deslocamento nos arcos, nos Modelos de Equilíbrio, dependem da procura. A escolha de trajeto de um condutor específico é condicionada pelas opções dos condutores restantes.

Tendo como subjacente a hipótese de que todos os condutores têm a mesma percepção dos custos de deslocamento, Wardrop (1952) apresentou princípios de escolha de trajetos com base em dois tipos de comportamentos: (1) os condutores escolhem os seus percursos independentemente e no seu melhor interesse, com base nas condições de tráfego resultantes das escolhas de outros; (2) os condutores cooperam na escolha de trajetos, tendo em vista produzir um padrão de tráfego que dê o máximo benefício à comunidade.

O primeiro tipo de comportamento é traduzido pelo seguinte princípio: “*Em redes congestionadas, o tráfego distribui-se de modo a que os custos de deslocamento em todos os trajetos utilizados entre cada par origem-destino sejam iguais. O custo de deslocamento em qualquer um dos trajetos não utilizados é superior*”.

O segundo tipo de comportamento dá lugar a uma distribuição de tráfego tal que “*O custo global de deslocamento de cada um dos trajetos utilizados é o mínimo possível*”. Trata-se do *Equilíbrio do Sistema*.

É consensual considerar que a escolha individualista de trajetos representa a aproximação mais realista, pelo que geralmente as técnicas de atribuição de tráfego procuram respeitar a primeira hipótese de Wardrop, conhecida por *Equilíbrio do Utilizador*. Através de uma abordagem iterativa, considera-se, que o modelo convergiu quando nenhum condutor consegue reduzir o seu custo de deslocamento escolhendo um diferente trajeto.

IV. Software EMME

O algoritmo implementado para a alocação do modo auto por equilíbrio (restrição de capacidade) é o algoritmo de aproximação linear proposto por Bruynooghe, Gibert e Sakarovitch (1968) e, aperfeiçoado por diversos autores, baseado no princípio de Wardrop (1952), de “ótimo usuário”.

A solução do problema de alocação de tráfego por equilíbrio é iterativa, onde se busca minimizar a área sob a curva de volume-retardamento. Através do método de aproximação linear, a cada ciclo, obtém-se uma redução da área sob a curva e, esta diferença pode ser facilmente estimada.

O método segue os seguintes passos:

- 1º alocação tudo-ou-nada, demanda total, nos caminhos mínimos calculados com base nos custos das ligações (tempo de viagem = função volume/capacidade);
- 2º atualização dos custos das ligações;
- 3º alocação tudo-ou-nada, demanda total, nos novos caminhos mínimos calculados;
- 4º cálculo da variável para carregamento incremental que minimize a área sob a curva volume-retardamento;
- 5º alocação dos volumes nas ligações com base nesta variável;
- 6º verificação do critério de interrupção (número de iterações e/ou diferença entre tempos de viagem na rede) – No caso dos resultados obtidos ainda não serem satisfatórios, o algoritmo retorna ao 4º passo.

2.1.4.2 Transporte Coletivo

Os primeiros modelos para alocação de passageiros em redes de transporte que apareceram na literatura (Dial, 1967; Andréasson, 1976; Lampkin & Saalmans, 1967; Hasselström, 1981), propunham técnicas de alocação similares às utilizadas nos problemas de alocação de fluxo de veículos particulares.

Novos tipos de modelos surgiram baseados em hipóteses adotadas acerca do comportamento dos passageiros na hora de fazer a escolha da rota. Dois tipos merecem destaque:

I. Modelos de Rota Mínima

O usuário do sistema de transporte coletivo utiliza a rota que minimiza seu custo generalizado. O usuário já sabe qual é a linha que tem o menor custo generalizado para chegar até seu destino e, somente espera um ônibus daquela linha, o que corresponderia a uma alocação do tipo "tudo-ou-nada".

II. Modelos de Estratégia Ótima

Este conceito formulado por Spiess (1983) consiste basicamente em escolher um subconjunto de linhas de modo a minimizar o valor esperado do custo total de viagem.

Uma estratégia de viagem é definida como um conjunto de linhas atrativas escolhidas pelo passageiro em diferentes paradas e possíveis pontos de desembarque destas linhas, para transbordo ou para caminhadas até o destino. A existência de seções do caminho que podem ser atendidas por mais de uma linha de ônibus, origina várias opções para escolha dos passageiros e, esta escolha freqüentemente não é simples de ser modelada.

Spiess (1983) propõe um modelo que determina as rotas ótimas em uma rede de transporte coletivo, resolvendo um problema de programação linear para obter as estratégias ótimas de viagem entre dois nós. Ele define uma estratégia como um conjunto de regras que permitem ao passageiro chegar ao seu destino, ou seja, o passageiro vai decidindo sua viagem de acordo com essas regras, podendo ter nós de transbordo e, define a estratégia ótima, como aquela que minimiza o valor esperado do custo total de viagem. Este autor generaliza seu modelo para o caso em que o custo de viagem em veículo em um arco é uma função crescente do fluxo de passageiros naquele arco.

Modelos desenvolvidos posteriormente começam a considerar a influência do congestionamento. Spiess & Florian (1989) propõem um modelo que considera que os custos do deslocamento em veículo (custo experimentado pelo passageiro já dentro do ônibus) são funções crescentes do número de passageiros, ou seja, que o efeito do congestionamento representaria o desconforto dos passageiros dentro de um ônibus lotado. Nesse modelo são considerados custos de espera fixos que unicamente dependem da frequência das linhas, mas que não são afetados pelos efeitos do congestionamento.

Alguns autores consideram os efeitos do congestionamento concentrados nos pontos de parada dos ônibus. Gendrau (1984) considerou efeitos do congestionamento na distribuição de passageiros e nos tempos de espera nas paradas. De Cea & Fernández (1993-I) e Wu *et al.* (1994) apresentam formulações em que os passageiros experimentam tempos de espera que dependem da capacidade total da linha (ou conjunto de linhas atrativas) e do fluxo de passageiros nela. De Cea & Fernández (1993-II) formulam dois modelos em que assumem que os tempos de espera dependem da capacidade dos arcos e do fluxo

de passageiros que utilizam as linhas associadas a estes arcos, mas, uma vez que os passageiros abordam um veículo, o tempo de viagem em veículo é fixo e, determinado somente pelo nível de congestionamento na rede viária, o qual é considerado um parâmetro exógeno.

As redes de transporte público em países em desenvolvimento apresentam algumas características peculiares, como por exemplo, a existência de muitas vias por onde circula uma grande quantidade de linhas de ônibus. A estrutura dos percursos de muitas linhas produz uma grande superposição de ônibus em algumas vias principais. Em muitos países, os operadores pressionam para oferecer linhas cujos itinerários atravessam vias com maior demanda. O problema das linhas comuns nas redes de transporte coletivo em algumas cidades de países em desenvolvimento deveria ser modelado considerando a questão do limite de capacidade, o que não é feito em muitos modelos de alocação disponíveis, motivo pelo qual é necessário fazer alguma simplificação.

Bunster (1986) indica que nenhuma das diferentes formulações acerca do comportamento dos usuários na hora da escolha da rota, quando existem linhas comuns, pode pretender ser exata, pois na decisão de cada usuário entram aspectos pessoais que dificilmente podem ser modelados matematicamente. Mas, considerando um comportamento racional e similar em todos os usuários, pode-se supor que o objetivo deles é minimizar o custo generalizado associado à viagem, o que inclui tempo de espera, valor monetário da passagem, tempo de deslocamento em veículo, tempo de caminhada, etc.

III. Modelos de Escolha Discreta

Os modelos do tipo Logit, assumem que os passageiros são indivíduos racionais, que associam a cada alternativa de um conjunto de alternativas possíveis, uma utilidade e , que eles escolhem a alternativa de maior utilidade.

- Função de Utilidade:

$$U = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 \dots + a_nx_n$$

O modelo relaciona a probabilidade de escolha de uma dada alternativa, de um conjunto de alternativas, por uma unidade de decisão (indivíduo, residência, empresa, etc.), ou um grupo, de acordo com a utilidade destas alternativas.

IV. Software EMME

O método implementado para alocação do transporte coletivo é baseado no conceito de estratégias ótimas (Spiess, 1984; Spiess e Florian, 1989). O usuário escolhe um conjunto de caminhos viáveis (estratégias) e deixa que a chegada do primeiro veículo, determine qual caminho será efetivamente utilizado para atingir seu destino. Define-se como estratégia um conjunto de regras que permitem ao usuário atingir seu objetivo. O número e tipos de estratégias escolhidas (estratégias ótimas) dependem principalmente das informações disponíveis ao usuário.

Definido um conjunto de estratégias, o modelo trabalha com a hipótese que a única informação disponível para o passageiro durante a viagem é a que ele descobre, enquanto está em um nó da rede, qual será a próxima linha a passar e,

ele deve decidir naquela hora se vai ou não embarcar no veículo. Para o conjunto de estratégias definidas, teríamos os seguintes passos:

- 1º defina o nó corrente (onde o usuário está) como origem;
- 2º embarque no veículo que chegar primeiro entre os das linhas consideradas atrativas;
- 3º desembarque no nó predeterminado pela estratégia;
- 4º se ainda não estiver no destino, volte ao 1º passo.

2.2 MODELOS DE ATIVIDADES

Neste tipo de modelo se reconhece a existência de complexas interações entre a participação em atividades e o padrão da viagem. As atividades geradoras de demanda por transportes e, não mais as viagens tornam-se o foco da modelagem.

São modelados os mecanismos que os indivíduos usam para decidir quais atividades irão realizar, principalmente as relações de causa e efeito que determinam as decisões de viagens e as viagens necessárias para a composição de sua agenda diária de atividades. No processo de definição do modelo são consideradas: as interações entre os membros do domicílio; o tipo de atividade que cada um realiza; os padrões de uso do solo e as restrições existentes, sejam elas domiciliares (estrutura, renda) ou individual (tempo disponível, disponibilidade de auto, etc.).

Todos estes fatores, mais o período de funcionamento do estabelecimento a ser acessado, são determinantes para a definição do modo de transporte que permita cumprir as tarefas estabelecidas.

Este tipo de modelo, com ênfase na participação em atividades e nos seus padrões de realização, pode fornecer informações sobre o modo como os indivíduos e os domicílios alteram esta participação (atividades realizadas, modos de viagem, etc.) em resposta a determinada política de transporte e/ou de ocupação do solo, o que permite prever com mais precisão a dinâmica urbana da cidade.

Algumas considerações relativas à participação em atividades e a realização de viagens são destacadas a seguir:

- A viagem é uma demanda derivada, feita de modo a satisfazer a necessidade ou o desejo do indivíduo de realização de atividades em diferentes locais; logo, as características dessas atividades afetam diretamente o padrão da viagem;
- Diversas características afetam a viagem, tais como: programação domiciliar das atividades; ordem de prioridades das atividades; situação do indivíduo no domicílio; as restrições orçamentárias; distribuição de recursos internamente ao domicílio; e por fim, as opções de modos de transporte.
- A realização das atividades é função da disponibilidade de locais para sua execução, o que forma um conjunto limitante de possibilidades. Algumas atividades só podem ser realizadas em locais e horários específicos, como, por exemplo, a atividade de trabalho, enquanto que, a de compras é essencialmente dependente do local escolhido.

- A ênfase no domicílio como unidade de decisão faz com que a interrelação entre os membros do domicílio determine a agenda de atividades de cada um. As restrições, que limitam a realização de atividades de um indivíduo, podem afetar a agenda de atividades de outros membros do domicílio.
- Devem ser observadas as interdependências entre os diferentes eventos (múltiplas atividades) que ocorrem durante o dia. Se mais tempo é gasto em uma atividade, menos tempo haverá para as outras atividades a serem realizadas em locais diferentes (menos tempos para as viagens).

É comum a utilização de um prisma espaço-tempo para se definir quais regiões de tempo e espaço podem ser alcançadas por um indivíduo, dado um conjunto de restrições a ele imposto e o modo de transporte utilizado. Pode-se afirmar que modelos que descrevem a programação ou a execução de atividades são ferramentas poderosas para a previsão de demanda de viagens, permitindo que se analise políticas de transporte e uso do solo urbano.

2.2.1 Base de Dados

Os dados necessários para os Modelos de Atividades superam aqueles coletados para os modelos tradicionais. Observações das etapas consecutivas da programação de atividades, bem como dos atributos que afetam a decisão, são requeridos. Para análise de novas políticas de transporte e uso do solo, também são variáveis de entrada os tempos demandados para a realização de cada atividade, assim como a prioridade das atividades para o indivíduo.

Modelos de Atividades utilizam as seguintes informações: dados sócio-demográficos do indivíduo (idade, gênero, situação de emprego, ocupação, grau de escolaridade, etc.); recursos disponíveis no domicílio (propriedade de automóvel, renda, estrutura do domicílio, etc.); dados espaciais e não espaciais sobre os locais de realização da atividade (horário de funcionamento, acessibilidade, localização geográfica, tipos de produtos disponíveis – comércio, etc.); e dados referentes à malha viária e à rede de transporte coletivo existentes.

2.2.1.1 Diário de Atividades

Na obtenção de dados para modelagem convencional em transporte utilizam-se questionários com um diário de viagens (por exemplo, as pesquisas origem-destino), onde os entrevistados descrevem aspectos das viagens realizadas. Este tipo de levantamento dificulta a análise do mecanismo de programação de atividades, uma vez que, nestes diários, têm-se apenas informações sobre o resultado do processo de tomada de decisão e não sobre o processo em si.

O método de pesquisa conhecido como diário de atividades é capaz de fornecer as informações necessárias para o Modelo de Atividades com o nível de detalhe necessário para descrever as relações entre viagens e atividades.

No diário de atividades, a viagem em si é apenas um meio para alcançar determinado destino, onde se deseja realizar alguma atividade, o que torna a atividade e a viagem mais facilmente lembrada e descrita pelo entrevistado do que

em diários de viagens. Muitas questões são similares às dos diários de viagens, alterando-se apenas a ordem em que são feitas, o que enriquece em detalhes a pesquisa.

Alguns cuidados devem ser tomados na coleta de dados através do diário de atividades: (1) só dados relevantes devem ser coletados, tendo em vista o grande número de informações que já são necessárias a este tipo de modelo; (2) deve-se ter maior cuidado com a qualidade dos dados, uma vez que, ela terá efeito direto nos resultados obtidos; (3) em geral, este tipo de coleta de dados resulta em baixa taxa de respostas quando não realizada através de entrevista; (4) o tempo de aplicação dos diários, quando preenchidos pelo usuário, deve ser de no máximo dois dias; mesmo sendo ideal um período maior, após esse período há um maior número de falta de respostas e/ou dados inconsistentes.

As atividades devem ser classificadas de acordo com o nível de detalhes que se deseja obter. Para restrições espaço-temporais, por exemplo, deve-se ter um conjunto maior de detalhes. A escolha do formato do diário de atividades deve ser de acordo com os dados que se deseja obter e o tipo de análise que se quer realizar.

Na implementação desses diários é importante a escolha do(s) dia(s) da semana em que as informações devem ser coletadas. Como o conjunto de atividades realizadas por um indivíduo pode sofrer alterações durante os dias da semana, deve-se tentar garantir que os diários sejam distribuídos de forma balanceada nos dias da semana, de forma a tentar capturar eventuais mudanças de programação de atividades.

A dimensão temporal é uma das principais variáveis incluídas nesses modelos. Ela fornece a possível programação de atividades individual, em função da disponibilidade de tempo de cada pessoa. Assim, devem ser coletados dados sobre horários de início e término das atividades e viagens. Nesse caso, o pesquisador deve estar atento à precisão que deseja obter em relação a essa variável. Podem ser usados intervalos de tempo abertos – em que o entrevistado descreve os horários de início e término de suas atividades – ou intervalos de tempo fixos - em que o entrevistado deve descrever as atividades em intervalos de tempo pré-definidos.

Nos diários de atividades é preciso especificar quem está participando da atividade com o entrevistado. Quando esta atividade é realizada conjuntamente com indivíduos que não fazem parte do domicílio, a coleta desses diários fica comprometida.

Uma das desvantagens do uso dos diários de atividades é o fato deles poderem apresentar baixo nível de respostas. Frequentemente, os indivíduos que não encontram tempo para preencher os diários são aqueles que realizam maior número de viagens.

2.2.2 Estrutura do Modelo de Atividades

Diferentes abordagens têm sido utilizadas nos modelos de atividades. Os primeiros modelos foram desenvolvidos com base na teoria de Hägerstrand (1970), que identifica um conjunto de padrões de atividades possíveis relativas aos padrões de uso do solo, restrições temporais e opções de transporte existentes, para então distribuir as viagens no sistema.

Diferentes técnicas têm sido utilizadas nos modelos baseados em atividades. Algumas são descritas a seguir:

2.2.2.1 Maximização da Utilidade

Os modelos de atividades e a análise do comportamento de escolha de um padrão de atividade é um processo complexo e diz respeito ao amplo conjunto de escolhas e alternativas. Alguns modelos baseados em atividades têm utilizado a estrutura dos modelos do tipo Logit Hierárquico, que avaliam a probabilidade de escolha entre alternativas similares ou correlacionadas que são agrupadas em níveis de uma árvore de decisão.

2.2.2.2 Viabilidade da Atividade

Estes modelos verificam se um determinado padrão de atividade pode ser realizado em um específico ambiente de espaço e tempo. O ambiente de espaço e tempo é definido pela localização, atributos da atividade, modos de transporte e tempos de viagem, etc.

Para se verificar a viabilidade de uma programação de atividades, um algoritmo de análise combinatória é utilizado de modo a gerar todas as possíveis seqüências de atividades. A viabilidade de cada seqüência de atividades é testada das seguintes formas: (1) verifica-se se o intervalo entre o horário de término da atividade anterior e o horário de início da próxima atividade é suficiente para a realização da atividade e da viagem associada; (2) verifica-se se a condição de sequenciamento das atividades não foi violada.

Esta categoria de modelo utiliza em sua estrutura regras lógicas para simular o comportamento individual e domiciliar de realização de atividades. Busca-se avaliar como os indivíduos, dentro de um domicílio, tomam suas decisões de realização de atividades, dadas as condições do ambiente de viagem (sistemas de transporte, uso do solo) e restrições individuais. O modelo é baseado em heurísticas de escolha (SE <condição> ENTÃO <ação>) definidas a partir do dicionário de atividades.

Uma das principais dificuldades existentes para implementação do Modelo de Atividades é a base de dados envolvida, que é obtida através do método de diário de atividades.

Este modelo é baseado principalmente na inter-relação dos indivíduos internamente ao domicílio e na disponibilidade de locais e horários para realização

das atividades; contudo, algumas atividades só podem ser realizadas em locais e horários específicos (trabalho e escola). Devido às dificuldades envolvidas na obtenção dos dados necessários à sua operacionalidade, ele deve ser restrito a análises específicas, tais como a de pólos geradores de tráfego (por exemplo, a concorrência entre shopping centers e supermercados) e, análises gerais que envolvam mudanças de hábitos sociais consolidados, como o reescalonamento de horários de empregos e aulas escolares.

2.3 MODELOS DE USO DO SOLO E TRANSPORTE

A necessidade de participação em atividades dispersas no espaço urbano determina a necessidade de viagem do indivíduo, dentro de um conjunto de opções disponíveis e de restrições impostas pela classe social, composição domiciliar, disponibilidade de transporte, etc.

Vários modelos vêm sendo desenvolvidos de modo a prever padrões de desenvolvimento do solo urbano e dos sistemas de transporte.

Os modelos existentes podem ser separados em quatro grupos, segundo suas características na modelagem do solo e de transportes: (1) a modelagem da ocupação do solo não segue regras mercadológicas e, utiliza o modelo *Logit* para a modelagem de transporte; (2) utiliza o modelo *Logit* para a modelagem de ocupação do solo (preço do terreno) e de transporte; (3) a modelagem de ocupação do solo segue regras mercadológicas e utiliza o modelo *Logit* para a modelagem de transporte. (o TRANUS e o MEPLAN, por exemplo, que simulam a hora pico); (4) a modelagem do uso do solo e do transporte é baseada em atividades e, incorpora em sua estrutura a dinâmica da inter-relação entre uso do solo e transporte (o ILMASS e o ABSOLUTE, por exemplo, se enquadram na categoria mais evoluída deste tipo de modelagem).

Os modelos citados, principalmente o TRANUS, serão descritos a seguir:

ILUMASS, 2003 (Integrated Land-Use Modelling And Transportation System Simulation): modelo de simulação de fluxo de tráfego urbano em escala microscópica, que incorpora alterações no uso do solo e da demanda por transporte. Utiliza técnicas de micro-simulação para alterações de uso do solo e fluxos de tráfego. Faz uso de modelo de atividades para gerar padrões de mobilidade individual. O ILMASS tem módulos de demografia, de ciclo de vida domiciliar e empresarial, de alteração do padrão comercial e residencial e, de mobilidade do mercado de trabalho. Esses módulos interagem com modelos de demanda por transporte que fornecem os padrões diários de atividades, viagens de pessoas e movimentação de mercadorias. Já o modelo de uso do solo trabalha com dados agregados obtidos dos domicílios.

ABSOLUTE, 2004 (Activity-Based System of Land Use and Transport Events): integração de um modelo de demanda por transporte baseado em atividades a um modelo de uso do solo. O modelo simula o elo entre alterações nos padrões de uso do solo e padrões de viagens e atividades. Tem como objetivo final a modelagem de decisões de localização de empresas, domicílios e medidas governamentais,

referentes ao uso do solo. A demanda de atividades é determinada pela programação de atividades individuais que, determina onde, com quem, por quanto tempo e qual modo de transporte será utilizado. Por outro lado, a oferta de locais para estas atividades são feitas por empresas e autoridades governamentais que se preocupam em atender à demanda existente. A oferta e a demanda interagem de maneira que o padrão de atividades existente determine o conjunto de oportunidades para os indivíduos realizarem suas atividades e, o padrão do uso do solo determina a viabilidade econômica de implantações de novos postos de atividades e os níveis de congestionamento no sistema.

MEPLAN, 1969 (Marcial Echenique): é um modelo que permite análises e avaliações de projetos estratégicos de infra-estrutura. Tem por base uma estrutura geral e altamente flexível, na qual o espaço é dividido em zonas, quantidades de moradias e atividades econômicas. Parte de uma matriz de insumo-produto espacialmente desagregada. O modelo estima a demanda por transporte e o crescimento das atividades produtivas, buscando obter o equilíbrio entre a demanda por viagens de passageiros e de cargas, a oferta de transporte e a localização espacial das atividades econômicas. Uma característica do modelo é a integração entre as atividades e o sistema de transporte. Emprega um modelo matemático probabilístico tipo *Logit* Hierárquico.

TRANUS, 1982 (Integrated Land Use and Transport Modeling System - Modelística)

O modelo TRANUS visa, em primeiro lugar, simular os prováveis efeitos de políticas de projetos de uso do solo e de transporte e, em segundo lugar, avaliar esses efeitos do ponto de vista social, econômico e ambiental, adotando uma única estrutura teórica para representar todo o fenômeno de uso do solo e transporte (modelos logísticos multinomiais hierárquicos ou aninhados).

Ele parte da suposição da existência de um vínculo entre localização de atividades no espaço, uso do solo e o sistema de transporte. Segundo Barra (1989), o sistema tem níveis de desagregação desenvolvidos através da combinação de hierarquias, tanto para modelos de uso do solo (população, emprego, tipos de uso do solo, mercado de propriedade, entre outros), quanto para o de transportes (geração de viagem elástica, análise de demanda reprimida, transferência entre operadores, tarifas integradas, cálculos de tempo de espera, entre outros).

O modelo é composto por dois elementos principais - sistema de transportes e sistema de atividades - que se interagem. A localização e a interação entre atividades representam a demanda do sistema de atividades e, o mercado imobiliário, sua oferta. O solo e as edificações são representados pelo espaço construído, que permite que tanto a demanda quanto a oferta desempenhem suas funções, equilibrados por preço ou rendas imobiliárias desse sistema.

A interação com o sistema de transporte dá-se por meio dos seus custos e da sua acessibilidade, que influenciam a localização e a interação entre atividades, suscitando um fluxo entre os sistemas. Da mesma forma que o sistema de uso do solo, o sistema de transportes possui oferta e demanda que se interagem. A oferta,

porém, subdividi-se em física e operativa. O equilíbrio entre demanda e oferta dá-se não somente pelos preços, como também pelos tempos de equilíbrio.

Em relação ao fator tempo do modelo, os componentes uso do solo e transportes estão relacionados de forma dinâmica por intervalos de tempo discretos, onde as interdependências das atividades localizadas no espaço geram fluxos. Essa localização de atividades em diferentes zonas é estimada pelo modelo de uso do solo, que equilibra o mercado de propriedades. O resultado do processo de distribuição de atividades resulta num conjunto de matrizes representando o fluxo funcional de i para j por meio de n setores socioeconômicos. No modelo de transportes, essas matrizes de fluxo são transformadas em matrizes de viagem.

O fluxo de viagens determina a demanda de viagens para cada par origem-destino e, esse fluxo assume que isso ocorre instantaneamente em um único período de tempo. Assim, processa-se o cálculo do custo composto generalizado de transportes, que é um dos componentes da função utilidade no modelo de distribuição de atividades.

Esse custo é alimentado, então, pelo modelo de uso do solo, não de forma imediata, mas depois de decorrido certo período de tempo. Isso equivale a dizer que, há uma inércia relativa ao uso do solo e, à localização de atividades neste período. Consequentemente, custos de transporte calculados pelo tempo T_1 influenciam a localização de atividades no tempo T_2 e, assim por diante. (Barra, 1989).

2.3.1 Uso do Solo

Com esse modelo, Barra busca uma estrutura geral para representar o sistema econômico-espacial em qualquer escala (urbana e/ou regional) baseado em formulações probabilísticas, onde, elementos microeconômicos como formação de preços, preços de equilíbrio, elasticidades são utilizados.

O sistema de atividades é o elemento central do modelo; no caso da alocação e interação de atividades no espaço, esse sistema pode ser visto como pessoas desempenhando atividades em lugares particulares. Ele assume que a oferta de trabalho, de solo construído/terra e de transporte é limitada no curto prazo e, terá variação no longo prazo, por meio de investimentos no caso da terra e de migração, no caso do trabalho. O próprio sistema representa a demanda para esses três elementos, mas a característica de cada um varia, sendo que solo construído e terra são vistos como mercadorias combinadas.

O sistema demandará solo construído/terra em lugares particulares e, a relação oferta/demanda determinará preços de propriedades ou valores de terra diferentes. No período seguinte, promotores introduzirão nova oferta de terra onde esta provou ser mais rentável no passado, afetando, então, os preços. Vale ressaltar que a oferta de terra está sujeita à intervenção estatal (regulamentação do uso do solo) e, implica também em oferta de serviços, tais como, saneamento, energia e outras utilidades públicas.

No TRANUS a oferta de área construída direcionada a cada zona é dada por:

$$\Delta F_{It}^h = \Delta F_t \cdot \frac{(F_{It}^h)^{\alpha_f} \cdot (Y_{It}^h / F_{It}^h)^{\alpha_u} \cdot (p_{It}^h)^{\alpha_r}}{\sum_{kt} (F_{kt}^g)^{\alpha_f} \cdot (Y_{kt}^g / F_{kt}^g)^{\alpha_u} \cdot (p_{kt}^g)^{\alpha_r}}$$

Onde:

ΔF_t é o incremento global (exógeno) de construção (tipo h)

Z_{It}^h é a construção possível definida pelas regras de zoneamento

F_{It}^h é a área construída existente e Y_{It}^h é a ocupação (atividades)

p_{It}^h é a renda de aluguéis

$(p_{It}^h - c_{It}^h)$ é a rentabilidade

Assumindo o controle do processo existe um modelo de “contabilidade espacial” ou modelo insumo-produto.

Já para o sistema de atividades, cada setor na economia é definido em termos de número de pessoas envolvidas no setor de produção, ou, melhor dizendo, empregos; pode-se aí incluir todos os tipos de atividades, produtivas ou não.

Na contabilidade regional utilizam-se muito os termos demanda final e demanda intermediária. A demanda final de um modelo insumo-produto é representada pelo consumo final do sistema e, geralmente inclui consumo privado, consumo do governo, exportações e investimentos; salários, importações, lucros e taxas constituem os insumos primários requisitados pela demanda intermediária. No caso urbano, esses termos podem ser substituídos por atividades básicas (emprego básico, solo, população residencial) e induzidas (emprego de serviços).

2.3.2 Transporte

O modelo de transporte estima a demanda de viagem e a aloca na oferta de transporte, de forma que o equilíbrio entre oferta e demanda de transportes seja alcançado. A demanda de viagem é estimada pelos fluxos econômicos transformados pela interface em fluxos das categorias de transportes.

O modelo de geração de viagem calcula o número de viagens derivada do fluxo funcional calculado pelo modelo de localização de atividade e transformado em fluxos por categoria de transporte pela interface uso do solo-transporte.

A oferta operativa é considerada em termos de modos de transporte (carga, público e privado) representados por um conjunto de operadores que fornecem um serviço para um tipo particular de usuário. Para cada categoria de transporte, um conjunto de escolhas deve ser definido, consistindo de uma lista de modos disponíveis para aquela categoria particular. Cada modo pode consistir de vários operadores, os quais possuem algumas características de serviço, tais como, tipos de veículos, tarifas, custos de operação, custo de transferência, etc.

Os usuários são classificados por categorias de transporte, as quais permitem um tratamento separado de passageiros e de cargas. Passageiros podem ser classificados por grupos de renda, propósito de viagem ou ambas as combinações. Cada categoria de pessoa tem uma disponibilidade de transporte associada, que limita a seleção entre modos de transporte público e privado.

O modelo de distribuição conecta as produções às atrações de viagens para produzir um conjunto de matrizes origem-destino, enquanto que a divisão modal separa essas matrizes de viagem por modo. Esses dois elementos são combinados em um único modelo que define matrizes de viagem por modo k e categoria s , resultando:

$$T_{ij}^{ks} = O_i^s D_j e^{(-\beta c_{ij}^k)} A_i^s D_j$$

Onde:

T_{ij}^{ks} é o número de viagens entre a origem i e o destino j do modo k da categoria s

A primeira tarefa do modelo de alocação de viagens é procurar caminhos entre pares origem-destino por modo e categoria, como objetivo de obter um jogo de opções de viagens de uma origem a um destino. Durante a procura dos caminhos, o modelo calcula o custo generalizado (C_{ijp}^{ks} = custo generalizado do caminho p de i para j pelo modo k para a categoria s) para cada caminho.

A probabilidade de escolher tal caminho é determinada pelo seguinte Modelo Logit Multinomial:

$$P_{ijp}^{ks} = \frac{e^{-\gamma^k C_{ijp}^{ks}}}{\sum_p e^{-\gamma^k C_{ijp}^{ks}}}$$

Onde :

γ^k é o parâmetro de dispersão no caminho. Se grande, o caminho com custo generalizado menor terá uma alta probabilidade sobre todas as outras opções; se pequeno, viagens serão nomeadas uniformemente a todas as opções disponíveis.

Viagens por modo e categoria são então alocadas aos caminhos de acordo com a probabilidade calculada P_{ijp}^{ks} :

$$T_{ijp}^{ks} = T_{ij}^{ks} \times P_{ijp}^{ks}$$

Onde:

T_{ijp}^{ks} é o número de viagens entre i e j do modo k e categoria s alocada no caminho p

Os custos de transporte e desutilidades (custo monetário de viagem, valor do tempo de viagem, tempo de espera, elementos subjetivos tais como conforto, segurança, etc.) resultantes do equilíbrio são usados pelo modelo de atividades para simular o período subsequente. Este custo faz parte das desutilidades que são usadas para calcular custos de produção no modelo de atividades.

2.4 MODELO DE PREFERÊNCIA DECLARADA

Os modelos atitudinais visam identificar reações dos usuários não captadas através dos modelos convencionais e comportamentais. Estes se apóiam na relação entre dados reais do deslocamento e elementos que condicionem o comportamento dos indivíduos indiretamente (Novaes, 1986).

Os modelos são interessantes para investigar possíveis mudanças no comportamento dos usuários frente a mudanças nos meios de transporte existentes e, servem também para comprovar se há relações de causa e efeito reais entre as variáveis comportamentais e as atitudes dos indivíduos por meio da percepção e preferências dos usuários. São aplicados muitas vezes para o planejamento da etapa de divisão modal. (Novaes, 1986).

Os dados necessários para a elaboração e o ajuste do modelo são obtidos por meio de entrevistas diretas com os usuários, ou, indiretamente, através do envio de questionários. Estes são geralmente detalhados, envolvendo perguntas que objetivam identificar não somente as preferências reais dos entrevistados, como também suas percepções e sentimentos sobre características diversas dos meios de transportes utilizados (Novaes, 1982; Ortúzar, 2000). Na literatura, estes modelos também podem ser encontrados como Modelos de Preferência Declarada.

Nos Modelos de Preferência Declarada os dados coletados são quantificados em função das diferenças dos atributos analisados (tempo de viagem, tarifa, entre outros) em cada uma das alternativas (Ortúzar, 2000). A formulação geral deste tipo de modelo é:

$$V_m = f(\alpha_1 - \alpha_2)$$

Onde:

V_m = número de viagens no modo m ;

$\alpha_1 - \alpha_2$ = diferença entre os modos 1 e 2 no atributo α ;

O termo preferência declarada refere-se a uma família de técnicas que usam declarações de indivíduos sobre suas preferências para a estimativa de funções de utilidade. Essas opções podem ser descrições de situações e/ou cenários hipotéticos construídos.

Em contraponto à Preferência Declarada (PD) existe a possibilidade do tradicional uso da Preferência Revelada (PR), que é aquela obtida através da observação de escolhas feitas na situação a ser analisada. Como os dados de PR são coletados no mundo real, as alternativas estudadas ficarão sempre restritas às disponíveis. Isto pode representar dificuldades caso se deseje realizar estudos envolvendo, por exemplo, uma nova opção de transporte.

Os principais atributos da PR são diretamente relacionados às opções analisadas, tais como tempo de viagem e custo do transporte, sendo difícil a mensuração de atributos como segurança, pontualidade, conforto, etc.

O que caracteriza uma informação por Preferência Declarada (PD) é o fato de refletir uma escolha realizada em um cenário hipotético. Este fato fornece um importante benefício em relação aos dados da Preferência Revelada (PR), que permitem levantamentos concernentes apenas a cenários existentes. Pode-se através da PD explorar questões que vão além da tecnologia atual.

O principal atrativo de um levantamento de PD em relação a um de PR é o controle de cenários de escolha por parte do analista, o que implica em: (1) o conjunto de escolhas pode ser pré-especificado; (2) o intervalo de variação dos atributos pode ser ampliado; (3) existe possibilidade de controle da relação entre os atributos; (4) podem ser incorporados atributos de difícil mensuração como confiabilidade e segurança; (5) não existe erro de medida, como por exemplo, o tempo de viagem informado nas pesquisas origem-destino; (6) alternativas não existentes no cenário de escolha podem ser incluídas; (7) múltiplas observações podem ser obtidas de um único entrevistado.

Dados obtidos por PR contêm informações sobre a situação atual de equilíbrio, enquanto os obtidos por PD são ricos em informações de perdas e ganhos relativos entre os diferentes atributos, quando da escolha de um cenário (*tradeoffs* entre atributos).

Levantamentos de atributos significativos como o de valoração do tempo tem sido consistentes e aceitáveis quando bem executados, enquanto que outros, como confiabilidade, conforto e segurança, tendem a ser supervalorizados pelos entrevistados.

2.4.1 Formato das Respostas

Na preferência declarada (PD) é de grande importância a forma como o entrevistado escolhe entre as alternativas apresentadas. A definição da melhor forma está muito relacionada às habilidades do entrevistador. Os formatos de resposta mais utilizados são:

- Escolha discreta de uma alternativa - tem o aspecto negativo de não fornecer informações sobre as alternativas não escolhidas, o que implica na necessidade de mais questões e maior número de pessoas entrevistadas.
- Ordenação das alternativas (ranqueamento) - mesmo tendo informações sobre a ordem de preferência das alternativas não se tem informação sobre o grau de preferência. Tem como aspectos negativos: (1) o número de alternativas aumenta o grau de dificuldade e diminui o de confiabilidade das respostas; (2) a falta de informação do entrevistado sobre alternativas as colocam sempre entre as últimas no ranque.
- Atribuição de nota às alternativas (rating) - fornece uma avaliação de cada uma das alternativas através de nota em uma escala definida. É tido como o método mais difundido de resposta. Tem como aspecto negativo assumir que os respondentes estão aptos a fornecer uma medida válida de seu grau de preferência, o que nem sempre é verdadeiro. Alguns autores como Ortúzar e Willumsen (2001) apresentam restrições a este formato e definem a ordenação como o método mais confiável.

- Aceitação ou não de uma alternativa - o entrevistado, através dos atributos, classifica cada alternativa como aceitável (passível de uso) ou não. Da mesma forma que o primeiro método, oferece pouca informação e exige mais questões e maior número de entrevistados.

2.4.2 Desenho do Experimento

O Desenho do Experimento é a base de um estudo de preferência declarada (PD) e, envolve a observação do efeito sobre uma variável resposta em função da manipulação de níveis de uma ou mais variáveis explicativas.

Para a construção do desenho deve-se inicialmente refinar o problema através do entendimento do sistema, da observação de todas as alternativas e seus atributos e, também, de como os usuários os percebem. Deve-se também identificar a importância de cada variável na variável resposta.

Após esta etapa, passa-se à definição das alternativas do conjunto de escolha. Devem estar incluídas todas as possibilidades; no caso de listas extensas deve-se compor subconjuntos ou cortar as de menor importância. Há hipóteses do uso de alternativas rotuladas ou não (apenas numeradas). As rotuladas, por exemplo, como a alternativa avião, oferecem um maior risco de correlações com atributos nem sempre verdadeiros (avião com rapidez, conforto).

Definidas as alternativas de escolha, deve-se determinar os atributos que caracterizarão cada alternativa, tarefa nem sempre fácil, pois as alternativas podem ter diferentes atributos. Por exemplo, o transporte coletivo teria como atributos o tempo de espera, tarifa, frequência, atrasos; o transporte individual teria o custo do estacionamento e do combustível, tarifas de pedágio, etc..

Deve-se definir quantos níveis terá cada atributo, sendo comum que todos tenham a mesma quantidade de níveis. Esses atributos podem ser numéricos ou qualitativos, devendo sempre englobar os valores extremos possíveis. Quanto mais atributos, teoricamente mais informações estão sendo obtidas da pesquisa.

O Desenho do Experimento mais geral é o fatorial completo, combinação de todos os níveis de todos os atributos, o que garante a possibilidade de análise de todos os efeitos principais (direto de cada alternativa) e, da interação entre elas.

Experimentos relativamente simples, quando utilizam o desenho fatorial, levam a uma quantidade de combinações pouco viáveis (um experimento de quatro alternativas com cinco atributos leva a $4^5 = 1024$ combinações). Para contornar esse problema algumas estratégias são adotadas: (1) redução do número de níveis; (2) formação de blocos; (3) uso de desenhos fatoriais fracionados.

A redução do número de níveis reduz bruscamente a quantidade de combinações e, é adotada quando se tem uma relação linear na função de utilidade (redução de pontos não altera significativamente o formato da curva); quando não for o caso, têm-se grandes perdas no desenho da função.

A formação de blocos consiste em dividir o desenho em partes, onde cada entrevistado responderia a apenas um bloco. No caso, por exemplo, de um

desenho de 27 combinações dividido em três blocos, cada entrevistado responderia a 9 questões e, portanto, 3 entrevistas formariam um desenho completo. Existe, portanto a necessidade de um maior número de entrevistados, já que só a cada três entrevistas temos um desenho completo.

A estratégia mais utilizada é a de Desenhos Fatoriais Fracionados, onde se tem a seleção de uma parte do desenho de modo a permitir que os efeitos de interesse sejam analisados. Em contrapartida à redução do desenho, tem-se a perda de informação estatística de pouca importância em modelos lineares, pois os efeitos principais respondem por 70% a 90% da variação explicada. Softwares como SPSS e Minitab tem rotinas que auxiliam em Desenhos Fatoriais Completos ou Fracionados.

2.4.3 Entrevista e Amostra

Os próximos passos estão relacionados à entrevista em si: (1) tornar o desenho pronto para uso em campo; (2) definir a forma para obtenção dos dados (entrevista direta, telefone, formulário enviado por correio ou e-mail, etc.); (3) desenvolvimento de histórias descritivas e explicativas do contexto; (4) preparo de ilustrações que facilitem o entendimento do entrevistado. Todos esses itens requerem muita atenção do analista para que se possa ter bom aproveitamento dos resultados.

Para definição da amostra deve-se levar em conta aspectos qualitativos e quantitativos. Em termos qualitativos, definiu-se quem entrevistar dependendo de quais atributos estão sendo estudados e, quais alternativas estão sendo oferecidas. Em termos quantitativos determina-se o tamanho da amostra. A prática sugere que o número de questionários válidos deve ser da ordem de 0,1% a 1% da população a ser pesquisada (Ortuzar & Willumsen, 2001). Trabalhos recentes têm recomendado a utilização de 75 a 100 entrevistas por segmento.

Finalizando, tem-se que ter claro que quanto maior o número de alternativas, variáveis e níveis, maiores serão, teoricamente, as chances de estimativa de um modelo adequado; por outro lado, maiores também serão as chances de obtenção de respostas de má qualidade por parte dos entrevistados, levando assim a modelos de inadequados.

Vale a recomendação de Ortuzár e Willumsen (2001): deve-se tomar cuidado quando o número de atributos é excessivo, maior que quatro. A conseqüente fadiga durante a entrevista faz com que as respostas sejam simplificadas, focando um menor número de atributos ou simplesmente aleatórias.

A seguir são resumidas as principais vantagens e desvantagens desta metodologia:
A) Vantagens: (1) a garantia de que os dados tenham qualidade suficientemente boa para a construção dos modelos, já que o pesquisador pode controlar precisamente as alternativas ofertadas; (2) os efeitos das variáveis de interesse podem ser isolados de fatores sem interesse, também devido ao controle do pesquisador; (3) pode ser a única fonte de dados disponíveis quando da análise de políticas completamente novas; (4) o número de entrevistas pode ser significativamente menor que o da Preferência Revelada, pois o entrevistado pode ser estimulado a considerar várias

situações; Desvantagens: (1) os dados obtidos representam afirmações individuais sobre um provável comportamento diante de dados hipotéticos; (2) a Preferência Revelada apresenta maior validação na estimativa da demanda que a Declarada.

3 RECOMENDAÇÕES

Neste item, serão feitas considerações relevantes sobre os seguintes tópicos principais:

- Matriz Modo Trilhos;
- Matriz Modelada Atual gerada a partir da Matriz Pesquisada;
- Matriz Tendencial, quando se pode e deve ser utilizada;
- Matriz Pico Tarde, ajuste necessário ao modelo;
- Etapas da Modelagem, Distribuição de Viagens ou Divisão Modal.

3.1 Consistência: Matriz O/D – Modo Trilhos

O Objetivo de este item é propor uma maneira de avaliar os dados da Pesquisa Origem e Destino 2007 em relação aos dados obtidos nas catracas das estações de trem e metrô na Região Metropolitana de São Paulo.

Para realizar a consistência entre estes bancos de dados, totaliza-se o número de passageiros por hora das estações de trem e metrô - entrada e saída separadamente - para se obter o valor médio de um período de dias considerados padrões. O próximo passo é a totalização destes mesmos valores por zona OD 2007, ou seja, o total de passageiros entrando e saindo das estações em cada uma das zonas da pesquisa.

A Pesquisa O/D 2007, diferentemente de pesquisas anteriores, traz as coordenadas geográficas da origem e do destino das viagens, além das coordenadas dos pontos de transferências entre modos, ocorridos durante a viagem. Estes dados permitem consistir, de modo agregado, os dados das catracas das estações com os dados obtidos da OD 2007.

Para comparar estas duas bases de dados, deve-se, para os dados da OD 2007:

- 1) Separar todas as viagens que utilizaram o modo trem ou metrô durante a viagem, ou seja, modo 1 ou modo 2 ou modo 3 ou modo 4, iguais a trem ou a metrô.
- 2) Para as **viagens com um único modo** (modo 1 igual a trem ou a metrô) deve-se verificar, levando em conta o modo utilizado (trem ou metrô), se existe estação do respectivo modo, na zona definida como zona de origem da viagem; se existir, deve-se assumir esta zona como zona de origem; se não, deve-se encontrar a estação mais próxima (coordenada do centróide da zona de origem versus as coordenadas das estações), para se assumir como zona de origem a que contenha a estação mais próxima. Para a definição da zona de destino o mesmo procedimento deve ser realizado.
- 3) Para as **viagens com mais de um modo**:

- a. **Todos os modos iguais a trilhos** (trem ou metrô) - deve-se considerar como zonas de origem e destino, as identificadas na pesquisa como de origem e destino da viagem se existir estação do respectivo modo na zona; se não, deve-se encontrar a estação mais próxima (coordenada do centróide da zona origem ou destino versus as coordenadas das estações) para definir a zona de origem ou destino.
- b. **Modos iniciais – um ou mais (modo 1; ou modo 1 e modo 2; ou modo 1 e modo 2 e modo 3) iguais a trilhos** (trem ou metrô) e **outros modos não trilhos** - deve-se assumir a zona de origem da pesquisa como zona de origem da viagem se existir estação do respectivo modo; se não, deve-se encontrar a estação mais próxima (coordenada do centróide da zona origem versus as coordenadas das estações) para definir a zona de origem. Para a zona de destino assume-se a zona de transferência desde que exista estação (a não existência de estação significa algum erro na pesquisa; neste caso, encontra-se a estação mais próxima pelas coordenadas geográficas).
- c. **Modos trilhos entre modos não trilhos** - por exemplo, modo 2 igual a trilho e modo 1 e modo 3, não trilhos; ou, modo 2 e modo 3 iguais a trilhos e, modo 1 e modo 4, não trilhos. Neste caso, para as zonas de origem e destino da viagem consideram-se as zonas de transferência no início e no final dos modos trilhos, verificando sempre a existência de estação do respectivo modo (a não existência de estação significa algum erro na pesquisa; neste caso encontra-se a estação mais próxima pelas coordenadas geográficas).
- d. **Modo trilhos (trem ou metro) no final da viagem** - o procedimento é o mesmo de modo trilhos no início da viagem, invertendo-se as zonas de origem e de destino.

Este procedimento permite a comparação hora a hora das viagens nas zonas, possibilitando ajustes na matriz de viagens pesquisada. Pode-se também utilizar os dados atuais para atualizar a matriz para o ano de 2010.

3.2 Matriz de Viagens Modelada Atual

As Pesquisas Origem e Destino tendem a superestimar as viagens de determinados pares origem-destino e subestimar outros. Isso ocorre porque nenhuma amostra, economicamente viável, é capaz de capturar todas as viagens existentes entre todos os pares OD e, na expansão da amostra, os pares de viagem significativos são expandidos além da realidade.

Para resolver este problema é comum se utilizar na alocação da situação atual a matriz modelada em vez da matriz pesquisada. Esta matriz é concebida a partir do Modelo 4 Etapas obtido da matriz pesquisada.

Habitualmente os tempos médios de viagens entre zonas, para o Modelo Gravitacional de Distribuição (Modelo 4 Etapas) são obtidos a partir da alocação das viagens da matriz pesquisada nas redes de transporte coletivo e individual, o

que acarreta certa imprecisão, tendo em vista que os tempos das viagens podem ser superestimados ou subestimados em determinados pares origem-destino.

Além disso, o método usual de se obter a matriz modelada (modelo de distribuição gravitacional) é buscar que ela tenha uma distribuição de tempos de viagens similar à da matriz pesquisada, o que pode não ser suficiente, pois não garante o padrão agregado de distribuição de viagens (troca de viagens entre regiões) da matriz pesquisada.

Para resolver estes problemas deve-se: (1) realizar pesquisas de tempos de viagens entre regiões, (transporte coletivo e individual) que permitam calibrar e ajustar os tempos obtidos na rede com a matriz pesquisada; (2) comparar o padrão agregado de distribuição de viagens das duas matrizes (pesquisada e modelada) e, adotar como função do modelo gravitacional aquela que satisfaça a similaridade dos tempos e da distribuição agregada das viagens.

3.3 Alocação de Viagens – Transporte Coletivo

Os modelos, segundo Ortúzar e Willumsen (1990), devem representar de modo simplificado a realidade em suas principais características, principalmente nos elementos considerados importantes para o planejamento de transportes.

Nesse sentido, o modelo de alocação do transporte coletivo existente no software EMME, baseado no conceito de estratégias ótimas (Spiess, 1984; Spiess e Florian, 1989), deve ser ajustado para simular as atitudes dos usuários do transporte da Região Metropolitana de São Paulo, principalmente nos horários de pico.

Ao se analisar o transporte coletivo da RMSP no horário de pico, observa-se que a ocupação dos ônibus, trens e metrô torna extremamente difícil a realização de transbordos pelos usuários, principalmente os de ônibus – ônibus, mesmo sem custo monetário, devido à implementação do Bilhete Único.

O procedimento adotado pela maioria dos usuários é, sempre que possível, realizar todo o trajeto num mesmo veículo, devido principalmente à dificuldade de entrar em outro veículo no meio do trajeto (ônibus lotados), o que mostra a inconsistência de se usar o método de estratégias ótimas sem os devidos ajustes.

Outro fator que corrobora para que os usuários não tenham um procedimento de acordo com o modelo é a existência de corredores de ônibus com um grande número de linhas percorrendo o corredor, de ponta a ponta, sem a possibilidade de ultrapassagens. Dessa forma, não adianta nada pegar o primeiro ônibus que passar (estratégia ótima), se no final do corredor, tem-se que esperar por um ônibus que o levará ao seu destino final que se utiliza do mesmo corredor. A lotação dos veículos torna mais conveniente esperar no início da viagem e tomar um ônibus que o levará ao seu destino, com menor ocupação, do que se sujeitar à possibilidade de não conseguir entrar no ônibus desejado, pelo excesso de lotação.

Neste tipo de corredor, todos os atrasos de um ônibus de uma determinada linha causados principalmente pela dificuldade do passageiro entrar num veículo lotado, são propagados a todos os ônibus de todas as linhas que vem atrás do ônibus que atrasa, aumentando assim o atraso do sistema.

Com as ressalvas relativas à operacionalidade do sistema, parece que a melhor opção para simular estas condições é manter o método atual de estratégias ótimas, aumentando o custo dos transbordos, principalmente ônibus - ônibus, de tal forma que, em muitos pares de viagens, o conjunto de estratégias seria reduzido a uma única rota (modelo de rota mínima). Neste caso, a função de custo generalizado do sistema torna-se extremamente importante. Para manter coerência com a realidade, os custos de transbordos ônibus - ônibus devem ser bastante altos, talvez comparáveis aos custos entre os modos ônibus - metrô/trem.

3.4 Matriz de Viagens Tendencial

No Modelo 4 Etapas, para as fases de geração e distribuição de viagens os modelos mais utilizados são os de Regressão e o Modelo Gravitacional.

Para curtos intervalos de tempo (até 5 anos) têm-se pouca informação para se prever as variáveis futuras do Modelo de Regressão, que não sejam as tendenciais: crescimento populacional e de empregos, as obtidas do IPTU das cidades e das imagens de satélites. Outras informações, relacionadas a planos imobiliários, residenciais, comerciais e industriais, têm, em geral, tempo de maturação mais longos.

No pico manhã, que usualmente serve de base para a modelagem, a grande maioria das viagens é realizada por motivo trabalho; por exemplo, das viagens que utilizavam o modo trem, em 2007 na RMSP, o motivo trabalho representava cerca de 90% do total.

Tendo em vista estas considerações, esta metodologia se propõe a obter os vetores origem e destino de viagens futuros com base nos dados tendenciais das duas últimas Pesquisas Origem/Destino, de 2007 e 1997.

O vetor origem, hora pico manhã, da matriz modelada 2007, seria ajustado pela variação anual média da população nestes 10 anos e, o vetor destino, por uma combinação da variação média de empregos e matrículas, dependendo da composição das viagens que se destinam a cada zona. Outras informações, já mencionadas acima, poderiam ser utilizadas para ajustes nas variações.

Com os vetores futuros disponíveis, deve-se utilizar o Modelo de Furness e a matriz modelada atual - OD 2007 - para realizar a distribuição das viagens futuras. A utilização do Modelo de Furness se baseia na hipótese de que mesmo que existam alterações significativas dos tempos de viagens (melhora da acessibilidade), sua influência sobre a reestruturação espacial da cidade só ocorrerá a médio e longo prazo. As conseqüências na distribuição das viagens, no curto prazo, seriam mais voltadas a viagens por motivo compras (irrisórias no pico manhã) e na escolha de novas rotas, mantendo-se o padrão de distribuição

existente. Este tipo de raciocínio já não é totalmente válido para o pico da tarde, onde as viagens por motivo compras ocorrem em maior número.

Em caso da não realização de uma mini-pesquisa OD em 2012 para ajuste da pesquisa OD 2007 (5 anos após), não descartamos a utilização deste método por mais de 5 anos.

3.5 Matriz de Viagens no Pico Da Tarde

Por exemplo, na hora pico manhã do total de viagens modo trem (modo 1 ou 2 ou 3 ou 4 igual a trem) - cerca de 165 mil com saída das 6hs às 7hs, de acordo com a Pesquisa OD 2007 - temos 89% por motivo casa-trabalho e 8% por motivo casa-escola, o que significa que 97% das viagens tem praticamente “destino certo” - dificilmente sofre alteração. Já no pico da tarde, o total de viagens com “destino certo” diminui para 85% de um total de viagens de trem de 191 mil - com saída das 17hs às 18hs. Temos, no pico da tarde, 30 mil viagens sem “destino certo” (16% mais que no pico da manhã), que em termos numéricos é maior do que qualquer valor encontrado durante o dia.

Se considerarmos as viagens por motivo escola (8% no pico da manhã e da tarde) também como de “destino incerto”, já que são mais maleáveis (como exemplos, maior falta às aulas que ao trabalho, desistência da escola, alteração de local, horário ou data de início de um curso, etc.), chegaríamos, na hora pico da tarde, a um total de 45 mil viagens suscetíveis à variações de comportamento.

Como ilustração, vejamos, por exemplo, a relação percentual entre o número de viagens modo trem do pico da tarde (nas 3 horas mais carregadas, das 16hs às 18hs) e do pico da manhã (das 5hs às 7hs) e, também, da hora mais carregada nos dois picos (6hs e 17hs) para os anos de 1997 e 2007.

MODO TREM - OD 2007		
MOTIVOS	PT/PM	H17/H6
TRABALHO	-18%	1%
ESCOLA	6%	10%
OUTROS	130%	391%
TOTAL	-7%	16%

MODO TREM - OD 1997		
MOTIVOS	PT/PM	H17/H6
TRABALHO	-8%	-6%
ESCOLA	21%	72%
OUTROS	21%	104%
TOTAL	0%	6%

OUTROS = COMPRAS + SAUDE + RECREAÇÃO + ETC.

Com base nos dados acima podemos observar: (1) o pico da tarde tem maior concentração de viagens em um único horário, sendo que, em 2007, esta concentração se amplia; (2) a participação de viagens por motivo no total é diferente nos picos manhã e tarde; no pico da tarde crescem os motivos outros e escola.

Para o mesmo conjunto de viagens acima temos, a seguir, as variações entre os respectivos períodos (3 horas e hora mais carregada), entre os anos de 1997 e 2007.

MODO TREM - OD 2007/1997		
MOTIVOS	PM (3HS)	6HS
TRABALHO	42%	38%
ESCOLA	61%	71%
OUTROS	10%	-49%
TOTAL	41%	38%

MODO TREM - OD 2007/1997		
MOTIVOS	PT (3HS)	17HS
TRABALHO	35%	43%
ESCOLA	56%	55%
OUTROS	38%	38%
TOTAL	37%	43%

Observa-se que: (1) em relação ao total de viagens - enquanto no período da manhã, em 2007, o aumento no número de viagens ocorreu de forma distribuída nas 3 horas (PM, período de três horas - 41% e 6hs, hora pico - 38%), no período da tarde, ele foi mais concentrado na hora pico (PT, período de três horas - 37% e 17hs, hora pico - 43%); (2) em relação à distribuição de viagens por motivos - o aumento do número de viagens no período da tarde ocorreu de forma mais distribuída que no período manhã quando se concentrou no motivo escola.

Verifica-se também uma mudança na relação entre os períodos manhã e tarde. Enquanto em 1997 as diferenças entre os horários mais carregados dos períodos estavam divididas entre os motivos escola (72%) e outros (104%), em 2007, a diferença está muito centrada no motivo outros (391%) e, escola passou a ser de 10%.

Finalizando o conjunto de observações, temos, em 2007, uma maior concentração de viagens no horário pico da tarde e, uma mudança na distribuição das viagens nos motivos, chegando, neste horário, a um total de cerca de 50 mil viagens, mais suscetíveis a mudanças comportamentais.

Algumas questões podem ser citadas como pertinentes à elaboração de um modelo para o pico da tarde, de ajuste do Modelo 4 Etapas desenvolvido: (1) as viagens a mais do pico tarde do modo trem são de pessoas que não usam este modo de transporte no período da manhã e, o fazem no pico tarde, buscando realizar necessidades latentes que o aumento da renda familiar está permitindo?; (2) estas mesmas viagens poderiam ser de pessoas que se deslocam no entre-pico, deixando para voltar para casa neste período?; (3) o perfil dos viajantes é o mesmo em 1997 e 2007, havendo unicamente um aumento percentual da concentração na hora pico tarde ou houve alteração do perfil das pessoas que só usam o trem?; (4) outras perguntas poderiam ser levantadas.

3.6 Distribuição de Viagens Versus Divisão Modal

Um questionamento que é feito na modelagem 4 etapas está relacionado à ordem das etapas de Distribuição de Viagens e Divisão Modal, comumente realizado nesta ordem.

Os modelos de transportes buscam prever as viagens futuras em determinada região, com base em padrões comportamentais atuais, mas em situações diversas relativas à população (alteração na composição das classes sociais e locais de moradia, por exemplo) e aos sistemas de transportes (novas linhas de metrô e trens, por exemplo).

As árvores de decisão, que são utilizadas para representar as relações existentes em um conjunto de dados, consideram para a definição de sua estrutura as variáveis de maior relevância na segmentação destes dados, ou seja, procuram encontrar as variáveis preditoras mais importantes. No Modelo 4 Etapas, a ordem das etapas, assim como nas árvores de decisão, devem buscar priorizar a relevância das variáveis.

Das variáveis independentes do Modelo 4 Etapas (geração, distribuição, divisão modal e alocação) a primeira (geração) e a última (alocação) estão posicionadas exatamente onde deveriam. O processo de geração de viagens inicia a modelagem, já que sem viagens não existe modelo e, o processo de alocação de viagens que expressa a ocupação de espaços existentes no sistema viário e no sistema de transporte coletivo, só é possível de ser realizado quando se sabe para onde ir e qual modo de transporte se vai utilizar.

Quanto às etapas intermediárias (distribuição e divisão), cuja ordem de execução não está definida, é importante se verificar qual delas tem maior relevância. Para modelos preditivos, uma boa medida de relevância seria a variabilidade da variável, já que maior alteração significa maior expressão nas matrizes futuras.

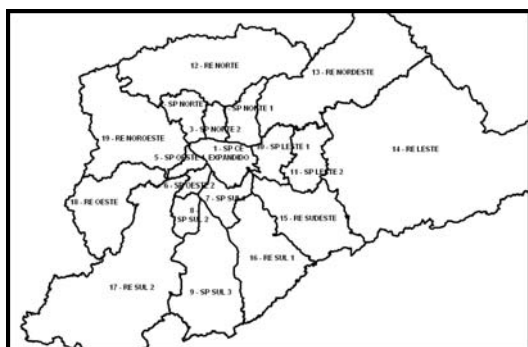
Seguindo esta hipótese analisa-se a variabilidade da distribuição de viagens e da divisão modal na Região Metropolitana de São Paulo, entre os anos de 1997 e 2007. Para isso divide-se a Região Metropolitana de São Paulo em 19 macro-zonas, com base em áreas utilizadas em outros estudos.

Para a distribuição de viagens identifica-se para cada origem o percentual de viagens (todos os modos) a cada um dos 19 destinos, para os anos de 1997 e 2007. Calcula-se o valor absoluto da diferença entre os percentuais de cada par origem-destino das OD 1997 e 2007 (VAP) e, se soma estes percentuais ponderados pelos números de viagens de cada par origem-destino (VOD), chegando a um único valor de variabilidade média (VM). Este cálculo é realizado para a matriz de viagens de todo o dia e, para as horas pico manhã e tarde, como exemplo, do modo trem, respectivamente 6hs e 17hs.

$$VM = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n VAP_{ij} - VOD_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n VOD_{ij}} \quad \text{onde } n = 19 \text{ para esta análise.}$$

Na divisão modal identifica-se para cada par origem-destino o percentual de viagens de transporte coletivo em relação ao total de viagens do par OD e, seguimos o procedimento descrito acima, obtendo a variabilidade média.

A seguir temos o mapa das macro-zonas utilizadas e a tabela de variabilidade média da Distribuição de Viagens e da Divisão Modal, obtidas através do método definido.



PERÍODO	DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS	DIVISÃO MODAL
DIA	1,94%	4,96%
6HS	4,30%	1,23%
17HS	2,42%	1,04%

A análise da variabilidade das variáveis indica, para as horas pico, que a distribuição de viagens deve ser realizada a priori da divisão modal, pois tem maior variabilidade. Observa-se que a relação entre as variabilidades - 3,5 vezes maior para a distribuição, no pico da manhã e 2,3 no pico da tarde - relativiza esta escolha. Para um modelo dia, no entanto, as variabilidades das variáveis indicam uma ordem inversa.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, C. M. – **Modelagem da Dinâmica Espacial como uma Ferramenta Auxiliar ao Planejamento: Simulação de Mudanças de Uso da Terra em Áreas Urbanas para as Cidades de Bauru e Piracicaba (Sp), Brasil** – Doutorado 2003 – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.

Almeida, C. M., Câmara G., Monteiro, A. M. V., Soares, B. S., Cerqueira, G. C. – **Modelos Celulares de Dinâmicas Espaço-Temporais: Aplicações em Estudos Urbanísticos** – INPE.

Almeida, C. M., Monteiro, A. M. V., Câmara G. – **Modelos de Simulação e Prognósticos de Mudanças de Uso do Solo Urbano: Instrumento para o Subsídio de Ações e Políticas Públicas Urbanas** – XI Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional – ANPUR - 2005

Alves, G. K. A., Sinay, M. C. F. – **A Lógica Fuzzy Na Avaliação De Desempenho Ambiental De Sistemas De Transportes Públicos** – X Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística – SPOLM 2007

Andréasson, I. **A Method for the Analysis of Transit Networks**. Second European Congress on Operations Research, Amsterdam, North-Holland, 1976.

Aragón, F. R. C.; Leal, J. E. - **Alocação de Fluxos de Passageiros em uma Rede de Transporte Público de Grande Porte Formulado como um Problema de Inequações Variacionais** - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.

Arruda, F. S. - **Aplicação de Um Modelo Baseado em Atividades para Análise da Relação Uso do Solo e Transporte no Contexto Brasileiro** - Doutorado, 2005 - Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

Arruda, F. S. - **Aplicação de um Modelo Baseado em Atividades para Análise da Relação Uso do Solo e Transportes no Contexto Brasileiro** - Doutorado, 2005 - Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Arruda, F. S. - Consultora de Transportes, Brasília; Silva A. N. R. - Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; Timmermans H. - Urban Planning Group, Eindhoven University of Technology. Eindhoven, Netherland - **Estudo exploratório para aplicação de modelos de transportes baseados em atividades no Brasil.**

Arruda, F. S., Silva, A. N. R. - **Diários de Atividades: Uma Metodologia Alternativa de Coleta de Dados para Planejamento de Transportes** - Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, XVIII ANPET.

Batty, M. Less is more, more is different: complexity, morphology, cities and emergence. **Environment and Planning B**: 27, 1-2, 2000.

Bez, E. T. - Universidade do Vale do Itajaí; Gonçalves, M. B. - Universidade Federal de Santa Catarina - **Utilização da Regressão de Erros Absolutos na Calibração de Modelos de Distribuição de Viagens** - XX ANPET 2006

Brandão Filho, J. E.; Loureiro, C. F. G. - Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará; Cavalcante, R. A. - Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará - **Metodologia de Planejamento de Pesquisas de Preferência Declarada Aplicadas em Estudos Comportamentais de Transporte Público Intermunicipal de Passageiros**

Breiman, L.; Friedman, J. H.; Olshen, R. A.; Stone, C. J. **Classification and Regression Trees**. Wadsworth, Belmont, CA. 1984

Brito A. N.; Strambi O. - **Análise de Características Relacionadas à Variação do Valor do Tempo de Viagem de Motoristas usando Técnicas de Preferência Declarada** - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Brito, A. N. - **Aplicação De um Procedimento Usando Preferência Declarada para Estimativa do Valor do Tempo de Viagem de Motoristas em Escolha entre Rotas Rodoviárias Pedagiadas e Não Pedagiadas** - Mestrado, 2007 - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Brusdon, C.; Fotheringham, A. S.; Charlton, M.E. **Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity**. *Geographical Analysis*, 28(4): 281-298, 1996.

Bruynooghe A., Gibert A. and Sakarovitch M. **Une méthode d'affectation du traffic**. Proceedings of fourth symposium on the theory of traffic flow (Karlsruhe), 1968.

Bunster, J.P. **Tratamiento de líneas comunes en modelos de asignación de viajes a redes de transporte público**. Dissertação de Mestrado em Ciências da Engenharia, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1986

Câmara, G.; Carvalho, M. S.; Cruz, O. G.; Correa, V. – **Análise Espacial de Áreas** – Livro “on line” da Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.

Camargo, E. C. G.; Fucks, S. D.; Câmara, G. – **Análise Espacial de Superfícies** – Livro “on line” da Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.

Campos, V. B. G. – **Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos de Análise** – Instituto Militar de Engenharia, IME.

Carneiro, L. G. P. L. – **Desenvolvimento de uma Metodologia para Previsão de Demanda de Passageiros para o Transporte Rodoviário Interestadual por Ônibus** – Mestrado, 2005 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

Carvalho, L. E. X. – Brown University, Silva, H. N. e Loureiro, C. F. G. – Engenharia de Transportes – Universidade Federal do Ceará, e Meneses, H. B. – Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – **Regressão Linear Geograficamente Ponderada em Ambiente SIG**

Cavalcante, R. A. – **Estimativa das Penalidades Associadas com os Transbordos em Sistemas Integrados de Transporte Público** – Mestrado, 2002 – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

COUCLELIS, H. Cellular worlds: A framework for modelling micro-macro dynamics. *Environment and Planning*, v. 17, n. 5, p. 585-596, 1985.

Couclelis, Helen. **Space, time, geography. Geographical Information Systems: principles, techniques, management, and applications.** 2d ed., eds. Paul Longley, Michael Goodchild, David Maguire, and David Rhind Vol. 1. New York: Wiley, 29-38, 1999.

Kass, G. **An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data.** *Applied Statistics*, 29(2), pp. 119-127, 1980.

Dalmaso, R. C., **Identificação e Caracterização de Grupos de Indivíduos Segundo Padrões de Sequências de Atividades Multidimensionais** – Mestrado, 2009 –Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Deadman, P.; Brown, R. D.; Gimblett, P. Modelling rural residential settlement patterns with cellular automata. *Journal of Environmental Management*, v. 37, p. 147-160, 1993.

De Cea, J. & Fernández, E. **Comportamiento de los viajeros y modelos de asignación de equilibrio en redes de transporte público.** *Apuntes de Ingeniería*, 50, 5-20, 1993-I.

De Cea, J. & Fernández, E. **Transit Assignment for Congested Public Transport Systems: An Equilibrium Model.** *Transportation Science*, 27(2), 133-147, 1993 -II

De la Barra, T. ***Integrated Land Use and Transport Modelling Decision Chains and Hierarchies*** – *Cambridge Urban and Architectural Studies*, 1989.

Deus, L. R.; Sanches, S. P. – **Influência da Forma Urbana Sobre o Comportamento de Viagens Urbanas** – Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos - CAMINHOS DE GEOGRAFIA - revista on line, 2009.

Dial, R.B. **Transit Pathfinder Algorithm.** *Highway Research Record*, 205, 67-85, 1967.

Dial, R.B. **A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model which obviates Path Enumeration.** *Transportation Research*, 5, pp. 83-111, 1971.

Felgueiras, C. A.; Druck, S.; Monteiro, A. M. V. – **Análise Espacial de Superfícies: O Enfoque da Geoestatística por Indicação** – Livro “on line” da Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.

Ferreira, E. A.– **Um Método de Utilização de Dados de Pesquisa Embarque/Desembarque na Calibração de Modelos de Distribuição do Tipo Gravitacional** – Mestrado, 1999 – Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Flores, M. M. N. – **Modelos Integrados de Uso do Solo, Transporte e Desenvolvimento Econômico: Um Estudo Teórico Visando a Aplicação a Projetos de Transporte Empreendimento** – Mestrado, 2002 – Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade De Brasília

Gendrau, M. **Étude approfondie d’un modèle d’équilibre pour l’affectation des passagers dans les réseaux de transport en commun.** Publication 384, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, Canadá, 1984.

Guerra, C. – **Otimização Paramétrica de Estruturas Treliçadas por Algoritmos Genéticos** – Mestrado, 2008 – Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Hägerstrand, T. **What about people in regional science?** Papers of the Regional Science Association, 24, 7-21, 1970.

Hasselström, D. **Public Transportation Planning – A Mathematical Programming Approach.** Ph. D Thesis, Department of Business Administration, University of Gothenburg, Sweden, 1981.

Jammal, M. F.; Raia Junior, A. A. – **A Importância dos Requisitos de Qualidade do Transporte Coletivo Urbano na Escolha Modal** – Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos.

Kühlkamp, N. – Matemática; Ulysséa Neto, I. – Engenharia Civil – **Modelos de Oportunidades Intervenientes de Distribuição de Viagens: Um Novo Método de Calibração do Modelo de Schneider** – Universidade Federal de São Carlos – Revista Transportes vol. XI – 2003.

Lampkin, W. & Saalmans, P.D. **The Design of Routes, Service Frequencies and Schedules for a Municipal Bus Undertaking: A case study.** Operation Research Quarterly, 18, 375-397, 1967.

Larrañaga, A. M.; Nodari, C. T. – **Uso de Técnicas de Preferência Declarada na Avaliação da Substituição do Carro pelo Ônibus** – Laboratório de Sistemas de Transportes do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Lemes, D. C. S. S. – **Geração e Análise do Cenário Futuro como um Instrumento do Planejamento Urbano e de Transportes** – Mestrado, 2005 – Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia.

Lopes, D. L. – **Viabilidade do Uso de Modelos Sintéticos Integrados de Uso do Solo e Transportes: Estudo de Aplicação à Cidade de São Paulo** – Mestrado, 2003 – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Lopes, S. B. – **Efeitos da Dependência Espacial em Modelos de Previsão de Demanda por Transporte** – Mestrado, 2005 – Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

Loureiro, C. F. G. e Silva, H. N. - Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Ceará e Carvalho, L. E. X. - Brown University - **Metodologia de Análise de Regressão Geograficamente Ponderada Aplicada ao Fenômeno das Viagens Intermunicipais.**

Modelística - TRANUS: Integrated Land Use and Transport Modeling System - General Description.

Novaes, A. G. **Modelos em Planejamento Urbano, regional e de Transportes.** Edgard Blucher, Ltda, São Paulo, 1982.

Ortúzar, J. de D.; Willunsen, L. G. **Modelling Transport.** John Wiley & Sons, Chichester, 1994, 2001.

Ortúzar, J. D. **Modelos econométricos de elección discreta.** Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile, 2000. 249 p, 2000.

Pacheco, E. A.; Drohomerecki, E.; Cardoso, P. A. - **A Decisão do Modal de Transporte através da Metodologia AHP na Aplicação da Logística Enxuta: Um Estudo de Caso - Pontifícia Universidade Católica do Paraná - IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão, agosto de 2008.**

Pedrosa, B. M., Câmara G. - **Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento - Livro "on line" da Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.**

Phipps, M. Dynamical behaviour of cellular automata under constraints of neighbourhood coherence.21, pp. 197-215, 1989.

Pinto E., Fook, K. D., Monteiro A. M., Câmara G. - **Modelagem de Dinâmicas Espaciais com Autômatos Celulares - Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.**

Pitombo, C. S. - **Análise do Comportamento Subjacente ao Encadeamento de Viagens Através do Uso de Minerador de Dados - Mestrado, 2003 - Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**

Pitombo, C. S. - **Estudo de Relações entre Variáveis Socioeconômicas, de Uso do Solo, Participação em Atividades e Padrões de Viagens Encadeadas Urbanas - Doutorado, 2007 - Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.**

Pitombo, C. S., Sousa, A. J. - **Aplicação de Conceitos Geoestatísticos para Análise de Geração de Viagens Urbanas - Departamento de Engenharia de Minas, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.**

Pitombo, C. S.; Kawamoto, E. - Escola de Engenharia de São Carlos, Quintanilha, J. A. - Escola Politécnica - **Investigação da Influência do Uso do Solo e das Características Socioeconômicas na Sequência de Deslocamentos dos Industriários na Região Metropolitana de São Paulo - Universidade de São Paulo.**

Pitombo, C. S.; Kawamoto, E. - Escola de Engenharia de São Carlos; Strambi, O. - Escola Politécnica - **Relações entre Participação em Atividades, Características Socioeconômicas, Uso Do Solo e Padrões De Viagens Urbanas - Universidade de São Paulo.**

Quinlan, J. R. **Learning efficient classification procedures and their application to chess end games.** In R.S. Michalski, J.G. Carbonell, and T.M. Mitchell, eds., Machine Learning - An Artif. Intell. Approach, pp. 463- 482. Tioga, Palo Alto, CA, 1983.

- Quinlan, J. R. **C4.5: Programs for Machine Learning**. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1993.
- Sampaio, C. C. D. - **Determinação De Uma Rede Ótima De Transporte Utilizando Algoritmo Genético** - Mestrado, 2004 - Faculdade de Tecnologia, Engenharia Civil e Ambiental da Universidade De Brasília, 2004.
- Scarassatti, D. F. - **Modelagem Dinâmica na Projeção de Uso do Solo em função da Rede Viária de Transportes** - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO, 2007
- Silva, A. R., Yamashita Y. - **Análise da Matriz de Proximidades Espacial para Problemas de Transporte** - Universidade de Brasília - Programa de Pós-Graduação em Transportes.
- Spieß, H. **On optimal route choice strategies in transit networks**. Publication 286, Centre de Recherch sur les Transports, Université de Montréal, 1983.
- Spieß, H. and Florian, M. **Optimal Strategies: A New Assignment Model for Transit Networks**. Transportation Research B, Vol. 23B, No.2, 83-102, 1989
- Sucena, M. P., Silva V. L., Pereira A. L., Portugal, L. S. - **Uma Aplicação da Lógica Fuzzy para a Melhoria da Mobilidade Urbana Focada no Usuário** - XII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, 2005
- TOBLER, W. R. 'Cellular geography'. In: **Philosophy in Geography**. In: GALE, S.; OLSSON, G., (eds.) Dordrecht, Holland, D Reidel Publishing Company. . pp. 379-386, 1979.
- Tomé, P. T. F.; Bez, E. T.; Buss, T.; Carrilho, D. L.; Bessa Júnior, J.E.; Oliveira Neto, F. M.; Paula, F. S. M.; Loureiro, C. F. G. - **Modelos de Previsão de Demanda: Uma Aplicação no Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros por Ônibus na Região Sul do Brasil** - XX ANPET, 2006
- Torres, A. C. S. - **Determinação de Rotas Ótimas de Ônibus Urbano Utilizando Algoritmo Genético** - Mestrado, 2003 - Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.
- Wardrop, J.G. **Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part II, Volume I, pp. 325-362, 1952.
- Wu, J.H.; Florian, M. & Marcotte, P. **Transit equilibrium assignment: a model and solution algorithms**. Transportation Science, 28(3), 1994.
- Zadeh, L. A. **Fuzzy Sets**. Information and Control, 8, pp 338-353, 1965.
- Zignani, R. C. - **Avaliação da Escolha de Rota dos Motoristas Frente à Cobrança de Pedágio e Rodovias de Qualidades Distintas** - Mestrado, 2007 - Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.