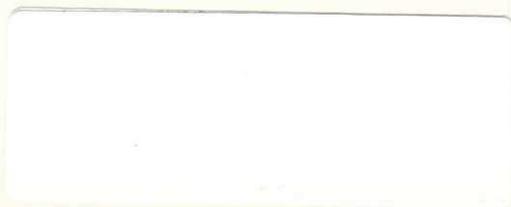


AVALIAÇÃO CRÍTICA DE ALGUNS MODELOS  
DE USO DO SOLO DO TIPO LOWRY



ADJALMIR ALVES ROCHA

+ AVALIAÇÃO CRÍTICA DE ALGUNS MODELOS  
DE USO DO SOLO DO TIPO LOWRY

Dissertação apresentada ao CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSPORTES

SOHEIL RANHEMAY RABBANI

Orientador

CAMPINA GRANDE

NOVEMBRO - 1985

## DEDICAÇÃO

Dedico este trabalho a todos os pesquisadores brasileiros que, por falta de recursos e incentivo, não lograram seus ideais.

À meus pais

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Soheil Rahnemay Rabbani, Orientador deste trabalho, de cuja colaboração, apoio, dedicação e acompanhamento dependeram os termos alcançados.

Ao professor Dr. Antonio Ildefonso de A. Melo, pela ajuda na estruturação do trabalho, pela atenção e entusiasmo tão importante no desenvolvimento deste.

À Universidade Federal da Paraíba - Campus II e à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior - CAPES pela possibilidade de realização do curso e apoio recebido através da concessão de bolsas de estudo.

À Fundação Metropolitana de Planejamento - METROPLAN, na pessoa do Sr. Leonardo S. Pellegrini, diretor de Planejamento e Programação, pelo envio de documentos relativos à aplicação do modelo de Lowry na Região metropolitana de Porto Alegre.

À Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Salvador - CONDER, na pessoa de Antonio Heliódoro Sampaio, Coordenador GT - Transporte de massa, pelo envio de material referente à aplicação do modelo de Lowry na região metropolitana de Salvador.

Aos professores e colegas do Programa de pós-graduação em transportes pelos conhecimentos transmitidos e pela agradável convivência ao longo do curso.

À Dorinha, Sara e Rinaldo pelo auxílio na tradução.

À Roberto Cardoso pela revisão gramatical e apoio cons  
tante.

Gostaria de agradecer a Constância, amiga de trabalho,  
pelo apoio e incentivo.

Aos que involuntariamente deixei de lembrar, aos que  
amo e aos que me privam da sua companhia, meu reconhecido a-  
gradecimento.

À Miriam, incentivadora permanente, os meus agrade-ci-  
mentos especiais.



R672a Rocha, Adjalmir Alves.  
Avaliação crítica de alguns modelos de uso do solo do tipo Lowry / Adjalmir Alves Rocha. - Campina Grande, 1985. 144 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1985.  
"Orientação : Prof. Dr. Soheil Rahnemay Rabbani".  
Referências.

1. Transportes Urbanos - Planejamento - Modelos Matemáticos. 2. Solo do Tipo Lowry - Transportes Urbanos. 3. Dissertação - Engenharia Civil. I. Rabbani, Soheil Rahnemay. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

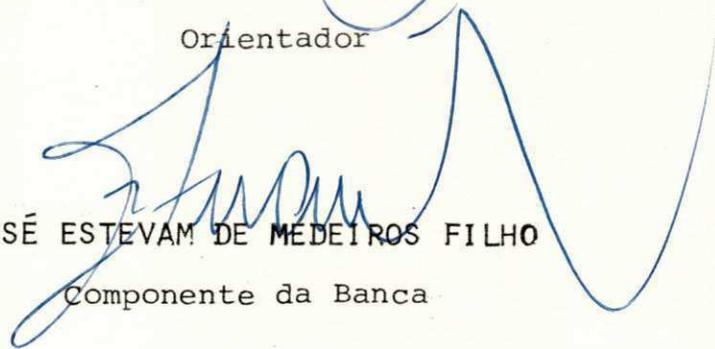
CDU 656.132:51(043)

AVALIAÇÃO CRÍTICA DE ALGUNS MODELOS  
DE USO DO SOLO DO TIPO LOWRY

ADJALMIR ALVES ROCHA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 03/12/85

  
SOHEIL RANHEMAY RABBANI  
Orientador

  
JOSÉ ESTEVAM DE MEDEIROS FILHO  
Componente da Banca

  
CLÓVIS DIAS  
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE

NOVEMBRO - 1985

## ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E APRESENTAÇÃO	01
CAPÍTULO II - MODELOS DE USO DO SOLO	05
2.1 - TEORIAS E MODELOS .....	05
2.2 - CLASSIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA..	14
2.3 - IMPORTÂNCIA PARA O PLANEJAMENTO	24
CAPÍTULO III - O MODELO DE LOWRY	40
3.1 - INTRODUÇÃO .....	40
3.2 - ESTRUTURA TEÓRICA .....	41
3.3 - ESTRUTURA MATEMÁTICA .....	44
3.4 - EXTENSÕES DO MODELO .....	52
3.5 - EXTENSÕES DESAGREGADAS .....	66
CAPÍTULO IV - SOLUÇÃO MATRICIAL DE GARIN	79
4.1 - ENFOQUE TEÓRICO .....	79
4.2 - VERSÃO DE GARIN DO MODELO DE LOWRY .....	85
4.3 - MODIFICAÇÃO DO MODELO GARIN-LOWRY	89
4.4 - POSSÍVEIS PESQUISAS .....	93
4.5 - EXEMPLO NUMÉRICO .....	99

	Página
CAPÍTULO V - ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO MODELO DE LOWRY	104
5.1 - INTRODUÇÃO .....	104
5.2 - PRESSUPOSTOS TEÓRICOS .....	106
5.3 - APLICAÇÃO NO BRASIL .....	111
CAPÍTULO VI - COMENTÁRIOS FINAIS	114
6.1 - CONSIDERAÇÃO SOBRE A CIDADE DO FUTURO .....	124
6.2 - CONCLUSÕES .....	125
6.3 - SUGESTÕES .....	131
CAPÍTULO VII - MATERIAL BIBLIOGRÁFICO	133
7.1 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
7.2 - BIBLIOGRAFIA .....	138
CAPÍTULO VIII - ANEXOS	142
8.1 - FLUXOGRAMAS .....	142
8.2 - PROGRAMA EM FORTRAN DO EXEMPLO NUMÉRICO .....	143
8.3 - EQUAÇÕES DO MODELO DE LOWRY ...	144

## RESUMO

Este trabalho faz uma revisão interpretativa de alguns modelos de uso do solo do tipo Lowry usados em planejamento urbano, regional e de transportes. Inicia-se com a conceituação e definição dos princípios que regem a construção de modelos de uso do solo, prossegue com a apresentação, formulação matemática, relato de aplicação e comentários relativos a cada tipo, desde a clássica teoria do lugar central até os modelos entrópicos atuais para distribuição de atividades urbanas. Analisa a utilização de modelos tipo Lowry na compreensão de estruturas urbanas do Brasil e propõe, ainda, a reformulação estrutural do modelo de Lowry quanto à definição das atividades urbanas para países em desenvolvimento. Finaliza, questionando os futuros padrões urbanos de uso do solo.

## ABSTRACT

The work presented in this dissertation deals with an interpretative revision of some Lowry's land use models used in urban, regional and transportation planning. It begins with a conceptual definition of principles conducting the construction of land use models. Then, mathematical formulation, application report and comments related to each type are represented from the classical central local theory to he present entropic models for the distribution of urban activities. Still, it analyses the utilization of Lowry's models to understand Brazilian urban structures and suggests a structural reformulation of Lowry's model as for the definition of urban activities to underdeveloped countries. Finally, it questions the future urban land use patterns.

## CAPÍTULO I

### I N T R O D U Ç Ã O

O modelo de uso do solo de Lowry procura tratar das interações sociais e econômicas da estrutura urbana através de uma visão sistêmica. Este modelo tem em sua estrutura procedimentos para prever e derivar atividades urbanas e meios de alocar estas atividades no espaço, como também relacionar a população, o emprego e a rede de transportes na mesma estrutura. Contudo as idéias básicas deste modelo, e, de outros deste tipo não são novas. Os modelos de uso do solo tem uma longa história:

- Modelo de Localização Agrícola de von Thunen (1826) - O modelo de uso do solo ou locação da colheta é concêntrico. Neste caso, o maior uso do solo é próximo ao centro, e o arrendamento ou valor da terra decresce à medida que nos afastamos dele.

- Modelo de Localização Industrial de Weber (1909) - Ele admite que a maximização da utilidade é igual a minimização do custo de transportes.

- Modelo de Localização de Serviços de Losch e Cristaller (1933)- Admite que a distribuição da população determina o tamanho da

área de serviços. Os centros de serviços podem ser classificados dentro de grupos hierárquicos de acordo com o tipo de serviço e tamanho da área de mercado.

- Modelo de Localização Residencial de Alonso (1964) - Ele usou o mesmo processo de von Thunen para explicar a luta pelo espaço urbano travada pelos diversos grupos residenciais de uma estrutura urbana.

As pesquisas desenvolvidas acima envolveram o campo conceitual do sistema econômico regional e os princípios de localização do mesmo. Portanto, os primeiros modelos de uso do solo trabalham com uma série restrita de variáveis do sistema urbano, tais como: investimentos em infra-estrutura viária, saneamento, zoneamento e densidade residencial.

O modelo concêntrico de von Thunen foi, no modelo Lowry, tomado para um contexto urbano, ou seja, os tipos de colheta podem ser equiparados com atividades urbanas. Todavia, a alocação dessas atividades no Modelo de Lowry, é feita com base apenas na disponibilidade de terreno. Na realidade, como já alertara von Thunen, há uma disputa econômica pelo uso do solo, em que certas atividades deslocam outras, à medida que a concentração urbana vai-se acentuando.

As disparidades sócio-econômicas provocam nos indivíduos comportamentos diversos com relação à localização espacial, uso do solo urbano, opções de transportes, etc. Existe no Modelo Lowry, implicitamente, conceitos comportamentais levantados por Alonso como, por exemplo, a premissa de que os indivíduos procuram reduzir seus custos de transportes e mora-

dia.

Por outro lado, as idéias de Losch e Cristaller de localização de serviços foram melhor absorvidas por Lowry. Existe no modelo de Lowry, implicitamente, uma situação de mercado para a localização dos equipamentos de comércio e serviços em qualquer dos níveis hierárquicos adotados. Contudo, o modelo não otimiza tal localização de forma a refletir as possíveis economias de escala. Lowry contorna o problema através de índices mínimos de concentração de demanda. Posteriormente, as funções de comércio e serviços foram agrupadas, por Lowry, em três categorias de acordo com o nível de hierarquização urbana: núcleos de vizinhanças, núcleos locais ou de bairro e núcleos centrais ou metropolitanos.

O caráter inovativo do modelo de Lowry consistiu em juntar os princípios de localização espacial acima, numa só estrutura de modelo, para compreender os principais elementos estruturais de uma área urbana.

Os desenvolvimentos seguintes após o trabalho original de Lowry (1964), consistiram principalmente na desagregação das atividades, nas técnicas de calibração e, posteriormente, na incorporação do fator tempo, tornando-o dinâmico.

O objetivo desta pesquisa, é uma análise crítica de alguns modelos de uso do solo tipo Lowry através de uma revisão interpretativa dos trabalhos existentes sobre os mesmos.

Conforme o estágio de desenvolvimento ou a teoria envolvida na modelagem, os modelos de uso do solo apresentam-se de diversas formas. Assim, no capítulo II, além de se fazer uma classificação do estado atual do conhecimento do assunto,

serão derivados os porquês da escolha do Modelo de uso do solo tipo Lowry como objeto da pesquisa.

No capítulo III são apresentados os pressupostos teóricos de Lowry, sua formulação e as extensões incorporadas a sua metodologia original, bem como relatos e comentários a respeito de suas aplicações.

A formulação matricial de Garin é mostrada no capítulo IV e suas principais modificações e questionadas os principais problemas decorrentes de suas aplicações no planejamento urbano e de transportes.

No capítulo V, as teorias de crescimento urbano são historicamente relacionadas com a teoria da base econômica e os pressupostos de Lowry. É ainda analisada a utilização de modelos do tipo Lowry e avaliados problemas decorrentes de sua aplicação no Brasil.

Finalmente, o capítulo VI faz considerações sobre o uso do solo no futuro, apresenta conclusões de todo trabalho e propõe mudanças significativas na metodologia desenvolvida por Lowry.

## CAPÍTULO II

### MODELOS DE USO DO SOLO

#### 2.1 - TEORIA E MODELOS

Em princípio, será interessante diferenciar entre uma teoria (o que é e por que) e um modelo (o que deveria ser). CHAPIN, F. S.<sup>8</sup> (1977) se refere a "teoria" como um sistema de pensamento que por meio de uma lógica verbal ou matemática explique as áreas urbanas; por que existem, como ocorrem suas trocas de crescimento e que estrutura básica e componentes normais subsistem na cena urbana. Uma teoria é, segundo NOVAES, A. G.<sup>41</sup> (1976) por sua natureza, bastante geral e abrangente.

Os modelos devem estar capacitados a descrever os aspectos relevantes das áreas urbanas, num sentido específico, constituindo a modelação "uma série de movimento de reduções e simplificações, no sentido do concreto para o abstrato, do complexo para o simples na procura última de estruturas relacionadas de um conjunto de elementos conceituais simples". (CAMARGO, A. R.<sup>10</sup>, 1976). Esta distinção nem sempre é evidente, por que o tipo de teoria na qual um modelo é baseado são explanações verbais e não formais. Teoria, num sentido formal, consiste em um sistema de pensamento utilizado para explicitar um fenômeno. Um sistema de pensamento está composto

de subsistemas, que por sua vez, estão formados de conceitos, alguns dos quais provêm de conhecimentos com relações conhecidas, e outros consistem em proposições ou relações todavia para comprovar. Por causa desta dificuldade, ECHENIQUE, M.<sup>24</sup> (1974) classifica estas áreas de "abordagens teóricas", ao invés de teoria, no sentido de que elas não são completas e formalmente estruturadas.

Tal como já foi dito neste trabalho, "teoria" se refere a um sistema de pensamento que por meio de uma lógica verbal ou matemática explique as áreas urbanas: a organização espacial das atividades e dos assentamentos. Um modelo matemático de uso do solo (tipo Lowry) não é senão a formulação precisa e em termos simbólicos de uma descrição da estrutura urbana.

O primeiro passo no processo de modelação é a conscientização sobre a estrutura teórica em que se apoiará sua análise qualitativa e as posteriores recomendações de medidas. Não é interessante mapear e analisar em detalhes as características ambientais, físicas e funcionais da cidade, antes de avançar no campo da explicação. Isso porque é muito improvável que o planejador, atuando apenas à nível de desenho urbano, consiga corresponder a estrutura social, política e econômica do meio objeto de sua intervenção. Portanto, "A conformação urbana, sua distribuição e inter-relação à nível regional, antes de mais nada devem ser consideradas de forma teórica de modo a se chegar a uma compreensão coerente". (NOVAES, A. G.<sup>41</sup> (1978); A partir daí é que deve-se começar a modelação.

Se analisarmos os modelos operacionais desenvolvidos no

mundo, pode-se verificar que apesar das diferenças em detalhes, há uma unidade nas suas bases teóricas. Sob esta constatação e de consenso geral, poder-se-ia classificar muitos desses modelos pertencentes a três classes: o primeiro pode ser chamado de micro-econômico ou comportamental: esta abordagem é muito antes da origem da economia clássica. A idéia fundamental é de um sistema de competição perfeita: os recursos são alocados e os eventos determinados através da interação competitiva dos indivíduos, que agem de forma a otimizar certos objetivos dentro de um esquema racional comportamental. Sua ligação com a teoria espacial foi feita através do conceito custo de transportes. Este conceito é considerado na adição dos fatores condicionais de produção e se faz presente na modelagem urbana. Na abordagem micro-econômica ou comportamental são significativas as contribuições sobre as relações sociais e econômicas que determinaram vários padrões urbanos; Tais contribuições são derivadas a von THUNEN (1926); WEBER (1909, cidades como centros de manufaturados), CRISTALLER (1933, cidades como centros de serviços), LOSH (1954, cidade como centro de manufatura) e ALONSO (1964, modelo comportamental de localização da habitação, fazendo dos custos de viagem para o trabalho, a variável explicativa principal). São modelos operacionais com esta abordagem, o modelo de transportes de PENN-JERSEY que inclui quatro fatores de localização-tipo de moradia, grau de amenidade, uma combinação de acessibilidade e tamanho das parcelas residenciais e o modelo de renovação urbana de São Francisco.

A segunda abordagem, macro-abordagem ou físico-social

teve início com CAREY (1958) e termina com Lowry (1964). Será analisada mais adiante com mais detalhe. Para efeito de familiarização pode-se citar dois exemplos de modelos com esta abordagem: modelo de transportes de Chicago, teoricamente não muito importante (1959) e os modelos de Lowry (Lowry, I. S<sup>39</sup>, 1964) e seus derivados. Finalmente pode-se classificar o restante dentro da abordagem de simulação: Recriação de um sistema com fins de manipulação. O melhor exemplo é o Forrester Model.

Até agora não existe uma teoria geral da estrutura urbana e os modelos urbanos acima são representações idealizadas desta realidade com simplificações de suas propriedades.

Não existe também uma teoria completa de modelo, mas algumas regras práticas podem orientar sua construção:

- a) A construção deve iniciar simples e ser passo a passo aperfeiçoada, com níveis de complexidades adaptados aos objetivos propostos. Neste nível é importante levantar duas questões básicas:
  - O que deve permanecer fora do modelo?
  - Qual deve ser a exatidão das conclusões tiradas do modelo?
- b) A modelagem depende da habilidade de analisar o problema, considerando dele os aspectos relevantes, selecionando e reciclando as hipóteses básicas que o caracterizam, e então aperfeiçoando o modelo, até se conseguir uma boa aproximação;
- c) Um modelo deve ser uma representação simples, operacional

e não necessariamente completa de um sistema. A introdução de um maior número de componentes num modelo cria a ilusão que os níveis de incerteza são eliminados pelo maior detalhamento. Contudo, em aplicações práticas, cada componente adicional pode diminuir o conhecimento ao invés de aumentá-lo, ou seja, a partir de um certo ponto, o crescimento em ganho de informação se reduz gradativamente;

- d) os resultados práticos de um modelo serão bons, na medida da boa qualidade dos dados de entrada. Assim sendo, quando os dados disponíveis são de baixa qualidade, sistemas simplificados podem produzir resultados mais apurados;
- e) A utilidade e a qualidade de um modelo serão definitivamente comprovada, quando do uso prático dos resultados da análise com o modelo;
- f) O uso adequado da modelagem matemática requer do planejador e do analista uma postura autocrítica constante, pela qual é verificada a cada passo a verossimilhança do modelo em contraposição à realidade a ser representada. (NOVAES, A. G.<sup>41</sup>)

A sequência lógica para a construção de um modelo pode ser a seguinte\*:

---

(\*) Não existe regra absoluta para construção de modelos, visto que cada sistema ou objeto planejado apresenta características peculiares e os objetivos de estudo são também diversos.

1. Propósito, ou seja, que tipo de problema deve estar apto a resolver\*. O fenômeno tratado deve ter um enfoque macro-analítico ou comportamental?
2. Definições das variáveis (variáveis influenciáveis e dos parâmetros do sistema (variáveis não influenciáveis) que são determinantes para as relações internas dos sistemas. Nesta fase, o tamanho da zona determina o nível de informação desejada.
3. O aspecto dinâmico do modelo. Para produzir resultados válidos em uma sequência evolutiva é necessário dar especial atenção aos parâmetros.
4. Construção de um modelo formal para a descrição das propriedades do sistema através de relações funcionais do tipo:  $W = f(k_i, p_j)$ , onde W representa o estado do sistema definido por uma grandeza em função das variáveis de controle "i" e dos parâmetros do sistema "j" (LEAL, J. E.<sup>40</sup>, 1982).
5. Análise do comportamento do sistema através de mudanças sistemáticas das variáveis de controle.
6. Calibração. Uma vez a base teórica estabelecida e estruturada logicamente e a existência de regularidade empíricas postuladas, o modelo deve ser ajustado (PROCIANOY, S. M. S.<sup>42</sup>, 1976).

---

(\*) Ainda em STRACK, J.<sup>45</sup>(1984) é apresentado um método para decisão sobre o uso de alguns tipos de modelos. A Figura 1 mostra esquematicamente este processo de seleção.

7. Teste do modelo. Com relação a sua capacidade de reproduzir a conformação e o comportamento de uma estrutura qualquer. E o teste apropriado depende da função do modelo.

8. Interpretação dos resultados encontrados.

Um objeto "M" é um modelo, quando ele representa um outro objeto "O" e é considerado como tal por um sujeito "S". A caracterização última do modelo é definida pela finalidade "F" com que o sujeito "S", usa o modelo "M" para representar o objeto "O". Há, portanto, uma relação (M,O,S,F). Este modelo tem que estar apto a expor os mecanismos comportamentais, ou seja, reconhecer e descrever, e de certa forma, projetar os estados alternativos do objeto-sistema. Os modelos podem ser usados para\*:

- Simular as conseqüências de determinadas ações e construir planos gerais;
- Realizar previsões em um sistema, ou seja, servem de instrumental para estudos antecipados de comportamentos e situações, podendo ser detectados muito antes de sua ocorrência.

Os modelos de uso do solo surgiram da necessidade de planejar as cidades considerando a dinâmica das inter-relações dos elementos urbanos em contraposição à visão essencialmente estética e física do desenho urbano, o qual pouco ava

---

(\*) Tentando reconhecer alguns usos comuns dos modelos, pode-se definir seu papel dentro do processo de planejamento em duas funções básicas

liou os elementos econômicos e sociais do sistema (PROCIANOY, S. M. S.<sup>42</sup>, 1976). A crença de que as condições sociais fossem um produto do meio ambiental físico conduziu o planejamento urbano, durante muito tempo, a se inclinar para o "Design" físico. A idéia básica foi a unidade planejada de toda cidade como uma obra de arte, sustentada por um plano diretor para o uso do solo e pelas normas de zoneamento para manter este plano. (CLARK, D.<sup>11</sup>, 1982). Esta aproximação favoreceu a especulação imobiliária, a excessiva concentração construtiva no centro urbano e a segregação social da população. O planejamento atual existe para alterar e dirigir o sistema urbano na conformação necessária e desejável pela sociedade. Este novo enfoque é guiado por modelos matemáticos de organização territorial. Além de um meio poderoso de análise dos sistemas urbanos, os modelos de uso do solo tem um valor prático ou aplicado da modelização dos mesmos.

Geralmente um modelo de uso do solo é um conjunto de relações quantitativas expressas em linguagem matemática, e que descrevem a interação das atividades urbanas. A expressão "atividades" tem sido sempre relacionada com o uso do espaço a nível do terreno. Nos últimos tempos, o planejamento urbano tem se preocupado cada vez mais com o conceito "uso do espaço", dentro dos edifícios. Esta informação classifica e registra os usos do solo edificado segundo as "Atividades funcionais" levadas a cabo em um centro urbano (CHAPIN, F. S.<sup>8</sup>, 1977). Consiste na relação estrutural entre operações, variáveis e parâmetros. As operações identificam a natureza das relações. As variáveis independentes são informações exógenas

e introduzidas no modelo sob a forma de dados. Influenciam o sistema mas não são por ele afetados. As variáveis dependentes têm seus valores calculados pelo próprio modelo como resultados de dados introduzidos no mesmo. Finalmente, os parâmetros são os pesos das operações, ou seja, expressões quantitativas das condições relativamente fixas dentro das quais operam os modelos.

PROCIANOY, S.M.S.<sup>42</sup>, (1976) fez uma ilustração interessante a cerca do que foi dito acima. Nela, a relação estrutural, entre variáveis, é expressa na forma matemática por:

$$R = A(x, t, r) \quad (2.1)$$

Onde: R = conjunto de resultados;

A = conjunto de funções que representam os relacionamentos entre as variáveis independentes e dependentes (resultados), e descrevem a estrutura do sistema;

x = conjunto de variáveis exógenas;

t = conjunto de variáveis instrumentais, representativas do controle do planejamento. Elas envolvem os níveis de investimento público e os mecanismos de ação política. Os impactos de x e t sobre r dependem de A.

r = influências estocásticas.

Uma enorme quantidade e variedade de modelos de uso do solo foi desenvolvida, e é usada até hoje, para preparar dados de entrada de uso do solo para os "Modelos de previsão de

demanda de viagens". Tais modelos, voltados principalmente a distribuição de viagens, partiam de uma especificação completa de atividade de uso do solo para o ano em estudo, elaborada exogenamente à modelagem. Apresentavam natureza essencialmente estatística, estruturados em relações matemáticas obtidas por análise de regressão, ou por analogia gravitacional.

A sofisticação metodológica do planejamento de transportes conduziu a elaboração de modelos de uso do solo tipo Lowry. Esse importante passo na direção da modelagem do uso e ocupação do solo foi dado por Lowry, I.S.<sup>39</sup> (1964) com "A modal of metropolis". Este modelo requer menos informação de uso do solo e admite que as alocações de uso do solo e os fluxos de transportes associados às viagens de trabalho e serviço, sejam estimados simultaneamente. Este modelo, portanto, estabelece o crescimento das atividades urbanas, determinando o uso do solo. Uma vez determinado o uso do solo urbano, as etapas seguintes correspondem as tradicionalmente usadas no planejamento de transportes: Distribuição, Divisão modal e Alocação.

## 2.2 - CLASSIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Num contexto sistêmico-urbano, cada cidade consiste em uma série de parcelas de terra com usos diversos. Esses usos são determinados pelo proprietário da terra de acordo com suas necessidades e características locais. Quanto maior for a complexidade de uso do solo, maior será a complexidade da

padronização urbana. Algumas configurações da estrutura urbana tendem a dominar outras. No sistema capitalista de uso do solo, vence aquele que paga mais. Esta tendência, de uma determinada configuração particular, predominante sobre todas as outras é conhecida como a tendência ao estado mais provável. Ela torna-se mais forte, quanto maior for o sistema urbano. É essa propriedade que constitui a base da modelização do sistema urbano.

Partindo dessa realidade observada, coerente em uma abordagem teórica, procura-se identificar os elementos e relações relevantes do sistema. Uma vez, elementos e relações estruturados, constrói-se um modelo através de uma linguagem formal para representação do sistema real.

Conforme o desenvolvimento ou mesmo a abordagem teórica envolvida no processo de modelagem, os modelos de uso do solo apresentam-se de diversas formas.

Num modelo, não se pode representar todos os elementos e relações do sistema real. Na escolha destes elementos e relações está implícita a finalidade do modelo. A aplicação de um modelo se restringe unicamente ao fim para o qual foi elaborado. De acordo com a finalidade, os modelos podem ser descritivos, preditivos e de planejamento (LOWRY, I. S.<sup>38</sup>, 1965).

Quando o objetivo do modelo é tão somente entender a estrutura do sistema, ele preenche uma função descritiva. Os modelos descritivos revelam muito sobre a estrutura urbana. Portanto, são úteis para testar teorias, contudo, ignoram o tempo, apresentando situações em equilíbrio e não há atua-

ção sobre eles. Por outro lado, quando um modelo visa descobrir através da análise paramétrica de diversos estados do modelo descritivo, outras realidades logicamente possíveis, é denominado explorativo.

Para os modelos preditivos é exigida a capacidade de simular estados futuros do sistema quando determinadas variáveis (população, renda, taxa de motorização, etc.) adotarem valores esperados no futuro.

Finalmente, quando o modelo inclui variáveis exógenas de forma que permita testar as alternativas possíveis em relação as metas e restrições estabelecidas ao nível de planejamento, temos um modelo operacional.

Outras classificações de modelos de uso do solo podem ser feitas, para isso considerando alguma característica específica. Como já salientamos antes, ECHENIQUE, M<sup>24</sup> (1974) classificou os modelos de acordo com suas bases teóricas: Modelos micro-econômicos ou comportamentais, modelos físico-sociais e modelos de simulação. É dele também (ECHENIQUE, M<sup>23</sup>, 1975) a classificação baseada em três fatores básicos:

- a) Objetivo do modelo - definido anteriormente.
  - Descritivos, Explorativos, Preditivos e Operacionais.
- b) Meio de construção do modelo - com que linguagem pe estruturado:
  - Icônicos, Analógicos, Verbais, Matemáticos.
- c) Fator tempo - Estático ou Dinâmico.

Referente a construção de modelos, NOVAES A.G.<sup>41</sup>, (1981) faz suas subdivisões básicas: os físicos e os conceituais. Os primeiros ou são icônicos, os quais diferem da original somente nas escalas de representação, ou analógicos, em que as variáveis físicas são representadas de acordo com certas regras de transformação. Nos modelos conceituais as características relevantes são representadas por linguagem ou símbolos (lógicos, matemáticos).

Finalmente, com relação ao fator tempo, têm-se os modelos estáticos, onde as iterações internas do modelo representam apenas as sequências de cálculo das equações recursivas e não a evolução do tempo; e os dinâmicos, quando um modelo envolve a análise paramétrica para diversos estados.

Uma parte importante no processo de modelagem refere-se a escolha do método cuja lógica matemática seja a mais viável com sua solução. Uma classificação baseada neste critério foi feita por WILSON, A. G. (1968) que discrimina os métodos em diferentes classes, tais como: Estatísticos, em que a estrutura das relações é fundamentada basicamente na análise estatística de dados observados; sistemas de equações que implicam no tratamento de equações de variáveis conhecidas, sendo portanto, determinísticos; simulação, quando a relação entre as variáveis não é inteiramente conhecida. Tais modelos, são ditos estocásticos e por fim, algoritmos ou processos heurísticos que estabelecem regras lógicas.

BATTY, M.<sup>21</sup>, (1974) faz uma classificação interessante alocando diversos modelos de uso do solo de acordo com caracte

terísticas comuns. Veja o quadro abaixo:

	LINEAR	NÃO LINEAR
NÃO - OTIMIZANTES	CHAPIN 7 HILL 30 LAKSHAMANAN 35	SEIDMAN 49 LOWRY 38 GARIN-LOWRY 26 LATHROP-HAMBUR 36 ROBINSON
OTIMIZANTES	HERBERT-STEVEN 31 BEN SHARAR 6 SCHLAGER 48	

QUADRO 1 - Classificação de Modelos

Fonte (21)

Os modelos lineares descrevem o fenômeno urbano de forma linear, ou seja, as variáveis que descrevem o sistema urbano são expressas por meio de equações lineares e mudam em proporção direta, umas com as outras (equações do tipo  $Y = a+bx$ ). Essa relação matemática seria a reta de regressão que permite a estimativa da variável dependente a partir de uma ou mais variáveis correlatas. Através da técnica estatística da correlação simples ou múltipla - de acordo com o número de variáveis envolvidas na modelagem - pode-se expor o grau de correspondência entre valores estimados e eventos observados.

A estrutura do modelo linear é restritiva para investigação urbana. O fato de que as variáveis explicativas de uma

equação linear não devam ser inter correlatas (coeficiente de correlação igual a zero) entra em contradição ao tratar do fenômeno urbano onde todos os elementos da estrutura urbana estão inter-relacionados. Ainda assim, é um modelo descritivo, e como tal, não pode levar em consideração as eventuais evoluções das variáveis explicativas em relação as atividades de uso do solo consideradas.

A maioria dos modelos integrados de uso do solo e transportes não é linearizada por transformações matemáticas e por isso esses modelos são chamados de modelos não lineares (Modelos tipo Lowry). O aspecto interessante destes modelos é que sua calibração\* requer o emprego de técnicas de busca, constituídas por processos de cálculos heurísticos, os quais permitem determinar os valores das variáveis de calibração dentro de um nível de precisão adequado.

Outros modelos objetivam em maximizar (otimizar) uma função que corresponda ao bem-estar social dos indivíduos, sujeita a restrição de custo, ocupação e costumes, comuns às áreas urbanizadas. Os modelos otimizantes utilizam a técnica de programação matemática, especialmente a linear. Esta técnica é linear por que todas as suas relações são expressas em equações lineares:  $(f(x) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n)$ .

---

(\*) Em estatística recebe o nome de ajuste. No entanto, o termo calibração envolve algo mais complexo do que um simples ajuste. Envolve técnicas superiores às utilizadas na análise de regressão.

As variáveis urbanas na sua maioria são de natureza discreta. A programação linear considera estas variáveis como contínuas e formula as restrições de forma linear não levados em conta que certos projetos são tipicamente não lineares.

O modelo de HERBET, J.D. & STEVENS, B.H.<sup>31</sup> (1961) utilizou a programação linear para determinar a localização ótima de residências em um estudo de uso do solo para o "Penn Jersey transportation study". A programação linear é mostrada nas equações abaixo\*:

$$\text{máx.} \quad Z = \sum_k \sum_i \sum_h x_{ih}^k (b_{ih} - c_{ih}^k) \quad (2.2)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \sum_h \sum_i s_{ih} x_{ih}^k \leq L^k \text{ para todo } k \quad (2.3)$$

$$\sum_h \sum_k (-x_{ih}^k) = -N_i \text{ para todo } i \quad (2.4)$$

$$x_{ih}^k \geq 0 \text{ para todo } k \text{ e todo } i \quad (2.5)$$

Onde: K = K-ésimo distrito

i = i-ésimo sócio-econômico familiar

h = h-ésimo lote de posição

$x_{ih}^k$  = Número de famílias em um grupo sócio-econômico i, escolhendo um lote posicional h em um distrito k durante o período de tempo em consideração.

$b_{ih}$  = Orçamento da locação anual para uma família em um grupo sócio-econômico i para um lote posicional h.

---

(\*) Ver também STOPHER, P.R. & MEYBURG, A. H.<sup>46</sup> (1975)

- $C_{ih}^k$  = Custo anual do lote posicional h em um distrito k para famílias em um grupo sócio-econômico i
- $S_{ij}$  = Área usada para locação residencial por famílias de grupo i, escolhendo lote posicional h.
- $L^k$  = Área disponível para desenvolvimento residencial num distrito k.
- $N_i$  = Número total de famílias em um grupo sócio-econômico i para ser locada na região no período de tempo especificado.

No modelo acima, o excessivo número de informações dificultou a sua aplicação operacional. Enquanto pesquisa teórica, auxiliou na elaboração de políticas de transportes e renovação urbana, indicando o efeito destas medidas sobre o valor dos aluguéis e a distribuição de habitações.

PROCIANOY, S.M.S.<sup>42</sup>(1976) agrupa os modelos segundo o emprego de métodos semelhantes. De acordo com este critério de classificação, os modelos foram agrupados em três grandes grupos:

1. Modelos Analíticos - que contêm sentenças matemáticas estruturadas logicamente, com variáveis conhecidas, passíveis de solução através de operações matemáticas padronizadas. Estão neste grupo os modelos lineares, analogias gravitacionais e os modelos tipo Lowry.
2. Modelos de Programação Matemática - Estes modelos utilizam a programação matemática como técnica, objetivando alocar as variáveis do problema apresenta

do e os recursos disponíveis na intenção de obter melhores soluções.

3. Modelos de Simulação e Jogos . - Os modelos de simulação incluem sentenças não matemáticas nas relações entre seus elementos e podem prever o comportamento de um sistema quando variam suas condições. Para obter as informações, eles são executados, em vez de serem resolvidos. Conforme a técnica utilizada, podem ser estocásticos, os quais utilizam a teoria da probabilidade em sua solução, e modelos de jogos utilizados como ferramentas educacionais.

A classificação adotada por STRACK, J.<sup>45</sup> (1984), (Ver figura 2), é ampla, considerando os diversos aspectos considerados pelos autores em forma de níveis hierárquicos.

A maioria das recentes aplicações de modelos de uso do solo tem usado alguma forma do modelo de Lowry\*. O modelo de Lowry original foi publicado em 1964 e desde então, diversas extensões importantes do modelo original foram desenvolvidas e aplicadas a problemas práticos de planejamento urbano e de transportes em todo mundo. A grande aceitação desse tipo de modelo e daí decorre o interesse dessa pesquisa, é o fato de:

- Possuir uma estrutura causal simples e de fácil compreensão, representando uma extensão relativamente direta do modelo gravitacional;

---

(\*) Tais aplicações utilizam as relações causais entre atividades urbanas, sua interação espacial e os deslocamentos de pessoas (ainda que implicitamente).

do e os recursos disponíveis na intenção de obter melhores soluções.

3. Modelos de Simulação e Jogos . - Os modelos de simulação incluem sentenças não matemáticas nas relações entre seus elementos e podem prever o comportamento de um sistema quando variam suas condições. Para obter as informações, eles são executados, em vez de serem resolvidos. Conforme a técnica utilizada, podem ser estocásticos, os quais utilizam a teoria da probabilidade em sua solução, e modelos de jogos utilizados como ferramentas educacionais.

A classificação adotada por STRACK, J.<sup>45</sup>(1984), (Ver figura 2), é ampla, considerando os diversos aspectos considerados pelos autores em forma de níveis hierárquicos.

A maioria das recentes aplicações de modelos de uso do solo tem usado alguma forma do modelo de Lowry\*. O modelo de Lowry original foi publicado em 1964 e desde então, diversas extensões importantes do modelo original foram desenvolvidas e aplicadas a problemas práticos de planejamento urbano e de transportes em todo mundo. A grande aceitação desse tipo de modelo e daí decorre o interesse dessa pesquisa, é o fato de:

- Possuir uma estrutura causal simples e de fácil compreensão, representando uma extensão relativamente direta do modelo gravitacional;

---

(\*) Tais aplicações utilizam as relações causais entre atividades urbanas, sua interação espacial e os deslocamentos de pessoas (ainda que implicitamente).

- Ao contrário dos modelos empíricos que se prestaram à situações únicas, este modelo é flexível de adaptação a um grande número de problemas reais;
- Outra vantagem é o valor prático ou aplicado da modelização. Ele foi bem sucedido nas aplicações, correspondendo a estrutura urbana considerada nos países desenvolvidos;
- Para países em desenvolvimento, onde os efeitos negativos de problemas urbanos criam usos inadequados de uso do solo, o modelo de Lowry pode ser desagregado numa forma que possa estimar as decisões de localização espacial de uma série de grupos sócio-econômicos;
- Na formulação de Lowry, uma distribuição conjunto estável de uso do solo que não contraste as restrições, é obtida por meio de um processo iterativo. A formulação matricial de GARIN evita a necessidade de um processo iterativo e permite o cálculo direto da distribuição conjunto de população e emprego. Formas dinâmicas simples do modelo podem ser desenvolvidas facilmente;
- Tais modelos requerem menos informações a serem determinadas exogenamente ao modelo (Emprego básico/zona, taxas de participação do trabalho e serviço para população). Além disso, o modelo requer dados modestos para sua calibragem;
- Para a desagregação do modelo de Lowry, onde aparece um grande número de inter-relações não calibráveis pelos métodos convencionais (Regressão múltipla e métodos estatísticos do gênero), a formulação entródica reduz sensivelmente o número de variáveis a calibrar. A formulação entrópica, além de

sua coerência, é teoricamente mais consistente, permitindo se chegar a um nível de detalhamento maior;

- Os modelos de uso do solo tipo Lowry são técnicas úteis para estimar algumas das propriedades espaciais prováveis de áreas urbanas, tais como localização industrial, residencial, serviços e componentes do sistema de transporte primário.

### 2.3 - IMPORTÂNCIA PARA O PLANEJAMENTO

Hoje, é insuficiente definir o planejamento simplesmente em termos de uso do solo e regulamentação do desenvolvimento, pois é parte de uma política urbana geral que procura regular uma ampla gama de processos sociais e econômicos e de relações na cidade .

#### Urbano

O planejamento urbano evoluiu sensivelmente através do tempo, respondendo às mudanças de natureza dos problemas urbanos. Durante muito tempo esteve voltado aos problemas de ordem físico-espaciais das cidades. No entanto, o controle do uso do solo e a disposição da forma dos assentamentos são por si mesmos insuficientes. A rede de relações interdependentes das grandes aglomerações exigiu a instituição de organismos capazes de abordar uma regulamentação básica que incluía considerações de todos os mecanismos e processos que determinam

a forma urbana. O planejamento atual representa uma abordagem globalizante mais coerente com os reais problemas urbanos do que o "Design" Urbano e envolve estratégias relacionadas com o emprego, moradia, transportes e prestações de serviços. Este novo enfoque do planejamento urbano é guiado por modelos de organização territorial tipo Lowry.

Os modelos de uso do solo tipo Lowry estão aptos para compreender o sistema que se pretende planejar, avaliar planos alternativos e estes modelos uma vez testados, podem ser manipulados para auxiliar na formulação de planos. Os modelos tipo Lowry fornecem um instrumento útil para a análise do desenvolvimento do solo e das implicações sobre o transporte de vários conjuntos de política estratégica urbana. Tais decisões políticas ou condições pressupostas constituem o elenco de dados de entrada do modelo de Lowry.

As atividades envolvidas no planejamento urbano sugerem que a especificação dos objetivos do desenvolvimento e as previsões\* de população e emprego podem ser usadas para gerar um conjunto de planos-esboços alternativos. As características desses planos-esboços devem ser formuladas como um conjunto de políticas de desenvolvimento que podem ser de alguma forma manipuladas pelos dirigentes urbanos. O modelo de Lowry estimará para cada conjunto alternativo de políticas de desenvolvimento, as matrizes de localização de emprego em serviços e domicílios, e de viagens de base residencial pen-

---

(\*) As estimativas de emprego futuro são importantes na previsão de populações, estas essenciais em qualquer dimensionamento de serviços públicos.

dulares e para serviços. (Ver Figura 4). Portanto, o principal resultado de um estudo de planejamento urbano deve ser um relatório da distribuição espacial desejada da população e emprego junto com o conjunto de políticas públicas necessárias a obtenção da estrutura espacial particular de desenvolvimento. Tais distribuições constituem o elenco de dados de saída do modelo de Lowry.

### Transportes

Os antigos estudos de planejamento de transportes urbanos se preocupam em dimensionar as exigências em termos de capacidade das redes de transporte urbano, ditados pelas projeções das tendências de uso do solo. Na maioria destes estudos, os planos alternativos foram gerados considerando-se uma alocação fixa de uso do solo urbano a zonas de análise de tráfego. Esta alocação era normalmente o resultado do Plano Diretor para a área. Na realidade, existem interações entre as distribuições espaciais das atividades urbanas e as propriedades do sistema de transportes. O modelo urbano é o resultado destas interações.

Como vimos no item anterior, o planejamento urbano fornece uma alocação espacial de população e emprego para um conjunto de políticas testadas pelo modelo de Lowry. Tais políticas incluem algumas considerações sobre o sistema de transporte\*. Contudo a análise de demanda de viagens conduzi-

---

(\*) Implícita nessa correlação entre transporte e estrutura urbana está a noção de Impactos, ou seja, o conjunto de efeitos ocorridos em um destes sistemas por ações produzidas sobre o outro e vice-versa. Veja FARRET, R.L. (1984).

da ã este nível é relativamente grosseira, insuficiente para expor os impactos prováveis das demandas futuras na estrutura urbana em estudo.

Para HUTCHINSON, B.G<sup>34</sup> .(1974), o propósito do planejamento de transportes urbanos é dimensionar as propriedades dos sistemas de transportes a um nível em que possam ser usadas como base para o planejamento e projetos funcionais e para uma programação de capital de longo prazo.

O tipo de informações sobre o uso do solo exigido pelo planejamento de transportes depende do enfoque abordado para estimar demandas de viagens urbanas. Se o processo tradicional de previsão de viagens for usado (Análise de geração, repartição modal cativa, distribuição, repartição modal escolhida e alocação), então um plano completo de uso do solo deve ser fornecido para cada uma das zonas de análise de tráfego. Este processo supõe que as diferenças nas propriedades das redes alternativas de transportes analisadas não influenciaram a distribuição do uso do solo. Um grande avanço na modelagem de transportes consistiu na conjugação do processo de uso do solo com o deslocamento de pessoas. Assim, se for usado um modelo de uso do solo tipo Lowry, então serão necessárias informações mínimas de uso do solo. Fig. 5 delinea os elementos de um processo de análise de sistemas de transportes com a abordagem desenvolvida dentro das diretrizes de planejamento estabelecidas no nível de planejamento urbano. Uma versão do modelo de Lowry desagregado por grupos socioeconômicos (Desagregação das pessoas em faixas de renda<sup>\*</sup>) po

---

(\*) As disparidades de renda provocam comportamentos diversos dos indivíduos com relação a opções de transportes, localização espacial e uso do solo.

de ser usada para testar as implicações do desenvolvimento do solo e das tendências de demanda de viagem de qualquer conjunto de políticas de desenvolvimento selecionado ao nível de planejamento urbano. As demandas de viagem estimadas por este modelo podem ser analisadas com maior segurança através de um modelo de repartição modal de dois estágios e um procedimento de alocação de tráfego.

#### 2.4 - AS BASES TEÓRICAS DO MODELO LOWRY

As idéias fundamentais com as quais os modelos tipo Lowry são baseadas não são recentes e datam muito antes da publicação do "A Model of Metropolis". Segundo ECHENIQUE, M<sup>24</sup>. (1974) a postura científica que serve de base para este modelo tem aproximações físico-sociais.

A abordagem físico-social expõe o fenômeno urbano de forma agregada. O enfoque macro-analítico, ou da física social, focaliza o comportamento de massa, ou seja, o conjunto de ações individuais observadas na realidade através de formulações probabilísticas.

Acreditava-se que as mesmas regularidades que regiam o mundo físico - a matéria - poderiam explicar o mundo social e muitos o fizeram somente como uma analogia para formular descrições precisas do fenômeno social urbano. A Aproximação físico-social é baseada principalmente em analogia o que constitui também num instrumento científico válido\*.

---

(\*) A falta de um corpo teórico capaz de explicar a dinâmica do uso do solo fez com que voltassem a analogia e a descrição de regularidade.

O termo físico-social foi usado pela primeira vez no século XVII por GEORGE BERKELEY na teoria da atração moral e da estabilidade social, na qual ele tentava explicar a atração social, usando para isso o conceito de gravitação física como analogia. Entre o século XVII e o início do século XIX muitos outros usaram a mesma idéia. Contudo, a analogia estabelecida entre o processo urbano e a gravitação universal foi exposta inicialmente por REILLY, W.J . (1931) em um estudo de comércio varejista. Mais tarde STEWART, J.Q. (1947) usou a noção de potencial demográfico em estudos de localização. Mas, a mais importante contribuição neste período foi de H. C. CAREY (1958). No seu livro "Princípios da Ciência Social", declarou que "A gravitação está na sociedade humana como em qualquer lugar do mundo material, na razão direta das massas das cidades e não razão inversão da distância". Apesar das críticas dos sociólogos contra o que eles chamam de "Escola Mecânica", os modelos de migração, transportes, residencial e localização de serviços são desenvolvidos com esta idéia: Gravitação universal.

Pode-se tomar quase que intuitivamente as bases desta analogia. Suponha-se uma área, objeto de estudo, dividida em zonas. O modelo gravitacional indica que o total de interações entre duas zonas "i" e "j" é diretamente proporcional a uma medida de fricção entre ambas. Por exemplo o tráfego entre duas cidades:

$$T_{ij} = K \frac{P_i P_j}{d_{ij}^2} \quad (2.6)$$

Onde:  $T_{ij}$  = Tráfego entre cidades "i" e "j"

K = Constante

$p_i p_j$  = população dos lugares "i" e "j"

$d_{ij}^2$  = Distância entre "i" e "j"

Na formulação acima, está explícita apenas uma interação. Contudo, uma vez conhecida a localização dos serviços, pode-se prever a localização da população, baseado nos conceitos de distância e atração. Os conceitos básicos do modelo gravitacional concentram-se nos termos de massa (fluxo total de interação de uma zona ou um fator de atração: população, empregados, serviços, etc), na medida de fricção (resistência ao deslocamento expressa em distância, tempo de percurso ou pelo custo de deslocamento) e nos fatores de balanceamento.

#### Modelos de Migração

A migração de um local "i" para um lugar "j" é uma função do destino da população (tamanho da massa) e inversamente proporcional a distância entre "i" e "j". Esta era a idéia que tinha REVENSTEIN (1885), quando formulou o primeiro modelo de migração segundo a analogia desenvolvida por G. W. CAREY. Contudo, a mais completa analogia foi feita por ZIPF, G. F.\* (1946):

$$M_{ij} = K \frac{p_i p_j}{d_{ij}^2} \quad (2.7)$$

Onde:  $M_{ij}$  = Migração entre "i" e "j"

---

(\*) ZIPF analisou, mais tarde, a distribuição dos núcleos urbanos segundo a ordem do tamanho.

$K$  = Constante

$P_i P_j$  = População do lugar "i" e "j"

$d_{ij}$  = Distância entre "i" e "j"

Muitos outros desenvolveram variações do mesmo conceito fundamental, e entre eles, Lowry (1966) desenvolveu um modelo de migração, no qual inclui taxas de desemprego e níveis de salários na ponderação das origens e destinos.

#### Modelos de Localização de Varejo

O segundo ponto de análise de localização urbana dentro da abordagem físico-social, inclui modelos de localização de varejo. Muitos dos modelos usados para expor, e ocasionalmente, prever localização de varejo são do tipo "Acessibilidade", como por exemplo os modelos de CARROL (1955), HUFF (1966), e LAKSHAMANAN E HANSEN (1965). Contudo, foi REILLY (1931) quem desenvolveu o primeiro modelo de localização de varejo usando uma analogia gravitacional: dois centros atraem emprego de um lugar intermediário, aproximadamente na proporção direta do tamanho do centro e na proporção inversa ao quadrado da distância dos centros. Seu interesse foi na delimitação das áreas de mercado. No entanto, sob este prisma, é muito abstrato para prever o potencial de localização de uma atividade de varejo. Portanto, os modelos gravitacionais referem-se à interações entre atividades urbanas ou geração de viagens enquanto modelos potenciais referem-se à localização de atividades.

HUFF, D.<sup>32</sup> (1964) estendeu a formalização de REILLY à for

mulação para considerar muitos centros. E incentivou a descentralização urbana como forma de minimizar os custos e tempo de viagem do consumidor.

HANSEN, W.G.<sup>33</sup> (1959) argumentou que quanto maior a acessibilidade de uma área a várias atividades urbanas maior seu crescimento potencial. No seu "accessibility model" é feito um estudo pioneiro de localização de atividades urbanas.

LAKSHMANAN e HANSEN<sup>35</sup> (1965) expõe um modelo potencial de mercado, tentando explicar o fluxo de dinheiro entre uma origem e a destinação:

$$S_{ij} = P_i G_i \frac{A_j^\alpha d_{ij}^{-\beta}}{\sum_j A_j^\alpha d_{ij}^{-\beta}} \quad (2.8)$$

Onde:  $S_{ij}$  = Fluxo de dinheiro entre o lugar i e o centro j

$P_i$  = População do lugar i

$G_i$  = Principal despesa por pessoa no lugar i

$A_j$  = Atração do lugar j

$d_{ij}$  = Distância entre i e j

$\alpha, \beta$  = Parâmetros

Este modelo é excelente no prognóstico de controle de venda em "Shopping Center". E partindo da mesma idéia acima pode-se desenvolver uma analogia voltada a localização de emprego em serviços.

Os modelos de oportunidades intervenientes constituem

um segundo estágio de desenvolvimento dos modelos de interação e consideram o comportamento lógico do indivíduo, o qual quando da procura de seu domicílio considera todas as possibilidades de moradia a partir do lugar de trabalho. STOUFFER, S.A. (1947) idealizou, inicialmente, um modelo de localização residencial. Contudo, no modelo de STOUFFER, os processos de distribuição espacial são regidos pela competição entre as oportunidades existentes num determinado destino, em confronto com as oportunidades mais acessíveis.

WILSON, A.G. (1967) derivou o modelo gravitação a partir de técnicas de maximização da entropia. A entropia é uma medida do grau de ordem em um sistema, no caso, o sistema urbano, e as técnicas de maximização identificam o estado mais ordenado, ou mais provável. As equações do modelo envolvem cálculos com multiplicadores lagrangianos e métodos combinatórios. O modelo se baseia na hipótese mais provável de distribuição de pessoas, sujeito a restrições sistêmicas. A formulação abaixo foi tirada da referência (1) e é formalmente similar à gravitacional:

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j \exp(-\beta c_{ij}) \quad (2.9)$$

$$A_i = 1 / \sum_j B_j D_j \exp(-\beta c_{ij}) \quad (2.10)$$

$$B_j = 1 / \sum_i A_i O_i \exp(-\beta c_{ij}) \quad (2.11)$$

Sujeita às restrições:

$$\sum_j t_{ij} = O_i$$

$$\sum_i t_{ij} = D_j$$

$$\sum_i \sum_j t_{ij} C_{ij} = C$$

- Onde:  $T_{ij}$  = número de viagens entre  $i$  e  $j$   
 $O_i$  = número de viagens geradas em  $i$   
 $D_j$  = número de viagens atraídas por  $j$   
 $C_{ij}$  = custo generalizado entre  $i$  e  $j$   
 $C$  = custo total do sistema

A importância maior da abordagem desse modelo é metodológica e reside no fato de que a estimativa urbana em estudo pode ser descrita sem a necessidade de detalhar suas propriedades e características. Portanto, são excelentes para expor o comportamento de grandes assentamentos populacionais.

#### Modelos de Localização Residencial

A importância dada às decisões de localização residencial não podem ser postas em dúvida. Habitação é de longe a maior utilização do solo urbano e sua distribuição no espaço urbano tem profundas implicações no valor do solo.

Alguns teóricos abordaram a localização residencial sob um prisma da agregação espacial de distribuição de residências na área urbana total (HERBERT E STEVENS, 1961; LOWRY, 1964; CHAPIN, 1965; ARTHUR D. LITTLE INC., 1966; SWERDLOFF E STOWERS, 1966; WILSON, 1968). Outros abordam a família individual e explicam sua localização em termos de suas escolhas e preferências. Sob essa aproximação comportamental, existem dois grupos. O primeiro tipo faz dos custos de viagem para o trabalho (medidos em dinheiro e/ou tempo) a variável explica

tiva principal. Modelos deste tipo foram desenvolvidos por SCHNORE (1965), KAIN (1962), WINGO (1961) e ALONSO (1964).

O modelo de WINGO, L., Jr.<sup>52</sup> (1961) analisa o sistema urbano através de um enfoque micro-econômico, envolvendo localização, renda de terra e custo de transporte, tomando o indivíduo ou unidade familiar típica como referência elementar, para o qual se atribuem algumas curvas de utilidade. Ele dirige sua atenção principalmente no desenvolvimento residencial, elaborando primeiro um conceito de demanda de transporte, ao considerar a relação entre residência e trabalho.

ALONSO, W. (1964) expõe um modelo em que as atividades podem compensar uma renda decrescente e maiores custos de operação (incluindo transporte) por menores aluguéis em localizações mais distantes do centro da cidade. Ele usa o mecanismo de mercado de forma diferente para distribuir os usuários do espaço no solo urbano. Ao invés de conceituar uma função de demanda, usa "Curvas de oferta de preços" que, unidas a estrutura de preços do solo, são utilizadas como base para distribuir os usuários residenciais, nos terrenos destinados à edificação.

A segunda alternativa consiste em teorias que incluem a escolha da casa e preferências ambientais como determinante na localização de residência; O custo/tempo de viagens para trabalho é secundário.

Todavia, o primeiro modelo para predizer o desenvolvimento residencial foi o modelo de HANSEN (1959). Ele expõe que a acessibilidade no ponto 1 para um tipo particular de atividade na área 2 (emprego), é diretamente proporcional ao tama

nho da atividade na área 2 e inversamente proporcional à função da distância que separa o ponto 1 da área 2.

O mesmo conceito foi usado por LOWRY (1964) em seu "A model of metropolis". A localização da população residencial é distribuída em volta de um lugar de emprego na proporção da acessibilidade para emprego.

$$P_j = K_u \sum_i E_i d_{ij}^{-\beta} \quad (2.12)$$

- Onde:  $P_j$  = População morando no lugar  $j$   
 $K$  = Constante de normalização  
 $u$  = Taxa de participação no trabalho  
 $E_i$  = Emprego no local  $i$   
 $d_{ij}$  = Distância entre  $i$  e  $j$   
 $\beta$  = Parâmetro.

Outras extensões tem sido feitas por BATTY (1969) tratando viagens atuais entre trabalho e residência e uma desagregação feita por WILSON (1970) envolvendo a distinção da população em grupos de renda e espaço por tipo residencial e aluguel.

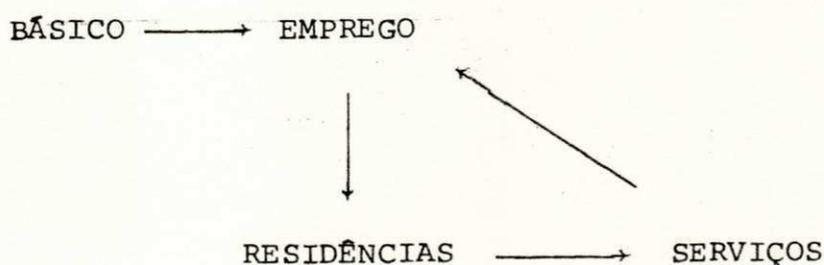
#### Modelo de Localização de Atividades de Lowry

Antes de abordar o modelo de Lowry, o presente trabalho pretende expor algumas considerações sobre o CATS-CHICAGO ÁREA TRANSPORTATION STUDY, modelo de estudo da área de Chicago. O ponto interessante à respeito deste modelo é que foi o primeiro modelo operacional de um sistema urbano para prever os fluxos de transportes. Foi uma tentativa para analisar

as exigências da área quanto ao tráfego em 1980. Ele tinha uma estrutura imperfeita e critérios AD HOC\* são introduzidos no processo que são denominados de critérios "STAFF". Como modelo, o enfoque de Chicago diz pouco acerca de como atua realmente o processo distributivo no esquema urbano. Sua maior importância reside na sua apresentação em linguagem matemática do conceito de como variam os modelos urbanos em condições de crescimento.

O modelo de Lowry foi desenvolvido em PITTSBURGH por I. R. LOWRY em 1962-1963 (Na verdade Lowry iniciou suas pesquisas sobre modelagem urbana em 1960, dentro do estudo de transporte da área de PITTSBURGH) mas ele foi publicado depois que Lowry mudou-se para a Rand Corporation. Este modelo, "a Model of Metropolis", tem uma influência enorme em todo estudo de modelação urbana.

A estrutura do modelo de Lowry - a única coisa que ainda sobrevive do original - está inserida nas relações geradas pelo emprego do setor básico. Ver esquema abaixo:



Esquema da estrutura de Lowry.

---

(\*) Esta técnica exige que se defina a capacidade de assentamento para um grande número de pequenas áreas.

A teoria da base econômica para a exportação admite que o crescimento do setor básico é o principal requisito para geração de empregos e, portanto, da atração e localização espaciais da população. Admite, também, que a população ao requerer serviços, é também um fator de geração de empregos e assim sucessivamente. Em um sentido mais simples a economia urbana pode ser reduzida a dois setores interdependentes, o básico e o não básico (Ver Fig. 6). O setor básico consiste em todas aquelas atividades e empregos relacionados com a produção de bens e serviços para venda fora da cidade. O setor não-básico consiste em todas as atividades que proporcionam bens e serviços para a própria cidade. Portanto, os setores básicos e não básicos são responsáveis por todas as atividades e empregos na cidade.

A teoria da base econômica para exportação constitui a base teórica do modelo de Lowry. No entanto, pode-se afirmar que esta teoria serviu apenas como instrumentalização para a formulação de hipóteses técnicas necessárias ao norteamento da concepção dos modelos\*. Abandonada a teoria da base econômica para exportação nas suas consequências finais Lowry se apoia em importante princípio de interação espacial - a lei da gravitação universal. Para Lowry, I.S<sup>39</sup> (1964) o modelo gravitacional promete ser muito mais fácil de construir e mais barato para operar. O modelo de gravidade explica uma relação decrescente de um fenômeno com relação a distância a partir de um ponto focal dado e portanto usado por Lowry para expor

---

(\*) Ver o trabalho de ANDRADE, M.R (1983).

alguns fenômenos sócio-econômicos da área urbana.

Como o planejamento objetiva situações no futuro, a composição provável do emprego futuro é um importante insumo para o desenvolvimento de planos estratégicos urbanos. Pela teoria da base econômica, o problema de estimação de emprego total é reduzido ao da estimação da magnitude do emprego básico.

HUTCHINSON, B.G.<sup>34</sup> (1974) expõe formalmente essa idéia:

$$e = e^b + e^s \quad (2.13)$$

Onde:  $e$  = Emprego total

$e^b$  = Emprego Básico

$e^s$  = Emprego em serviços.

E a equação (2.13) pode ser reescrita; como:

$$e = \frac{e^b}{1 - (e^s/e)} \quad (2.14)$$

Onde a equação (2.14) é a expressão clássica da teoria da base econômica. Esta equação é baseada na noção constante da razão  $e^s/e$ . Se a tendência dessa razão é regular, a firma ainda HUTCHINSON, o problema de estimativa do emprego total é reduzido ao emprego básico. No modelo Lowry, a estimativa do emprego básico constitui-se em elemento condicional para predição de todas as atividades urbanas.

## CAPÍTULO III

### O MODELO DE LOWRY

#### 3.1 - INTRODUÇÃO

Lowry, I. S.<sup>39</sup>(1964), integrante do Pittsburgh CRP (Programa Compreensivo de Renovação), propôs um modelo de uso do solo relacionado com transportes no qual trata das interações sociais e econômicas da estrutura urbana através de uma visão sistêmica (este modelo incorporou em sua estrutura interna procedimentos de prever e derivar atividades urbanas, e de alocar estas atividades ao solo urbano, como também, relacioná-las à rede de transportes na mesma estrutura).

Enquanto a maioria dos modelos tradicionais de previsão de demanda requer como insumo uma especificação completa de atividades de uso do solo para o ano em estudo, o modelo de Lowry pode ser usado para estimar uma alocação de uso do solo e as demandas de viagens associadas simultaneamente. Este modelo exige que uma distribuição de empregos básicos seja especificada junto com as políticas globais de transportes e desenvolvimento urbano escolhidas para o futuro. Uma distribuição conjunta estável de emprego e população que não contrarie as restrições de área, densidade e fatores de escala para atividades comerciais, é obtida por meio de um pro-

cesso iterativo, assim como os fluxos necessários.

A partir desse trabalho, foram desenvolvidos, em todo mundo, modelos avançados de uso do solo e transportes, mas praticamente todos conservaram a estrutura básica criada originalmente por Lowry. Ele tem uma estrutura causal simples que representa uma extensão aproximada do modelo gravitacional. Além disso, o modelo Lowry, requer dados simples, fáceis de encontrar para sua calibração e uso de dados futuros.

Os desenvolvimentos que se seguiram após o trabalho original consistiram principalmente nas extensões desagregadas das atividades, nas técnicas de calibração e na introdução do fator tempo na estrutura do modelo tornando-o dinâmico.

Além da aplicação a Pittsburgh, que serviu de base ao desenvolvimento do modelo de Lowry na sua forma original, inúmeros casos de utilização desse tipo de modelagem são relatados na literatura, incluindo três no Brasil (Porto Alegre<sup>29</sup>, Salvador<sup>15</sup> e Recife<sup>25</sup>).

### 3.2 - ESTRUTURA TEÓRICA

O modelo de Lowry, organiza o espaço econômico urbano em atividades de um lado e uso do solo, de outro. Aos elementos população, emprego em serviços e emprego básico correspondem os usos do solo residencial, de serviço e industrial. Os principais modelos de operação, são executados a nível de atividades e essas atividades são traduzidas em usos do solo adequados por meio de coeficientes uso de solo/atividade. A

divisão do emprego\* em setores básico e não-básico é requerido porque o modelo usa a forma analítica da teoria da base econômica\*\* para gerar emprego em serviço e população do emprego básico. Portanto, no modelo de Lowry, a estrutura urbana de uma cidade pode ser verificada sob a forma de três setores globais de atividades:

- 1º) um setor básico
- 2º) um setor de serviço e comércio
- 3º) um setor residencial.

O setor básico, inclui atividades industriais e administrativas cuja localização depende das economias de aglomeração, matéria-prima e vias de transportes e cuja demanda é, essencialmente, exôgena à área estudada. Os níveis de emprego correspondentes ao setor básico e respectiva distribuição pelas zonas diversas, são fornecidos ao modelo, constituindo assim uma categoria de informações exôgenas. A importante consideração relativa ao emprego básico, contudo, é que sua localização dentro de uma área é independente da distribuição populacional e do emprego em serviços daquela região.

O setor de serviços e comércio cobre as atividades que dependem da população e de seu poder aquisitivo. A distribuição dos níveis de emprego deste setor depende da distribuição da população e é calculado dentro do modelo. As ativi-

---

(\*) Esse procedimento analítico é imperfeito. O mais amplamente usado é a "abordagem das necessidades mínimas" (Ver referencial<sup>11</sup>)

(\*\*) Em seu nível mais simples, a economia urbana pode ser reduzida a estes dois setores independentes (Ver Fig. 6).

des deste setor são subdivididas de acordo com sua hierarquização na estrutura funcional urbana. Lowry engloba estas atividades em três categorias:

- 1º) núcleos de vizinhanças,
- 2º) núcleos de bairros ou locais, e
- 3º) núcleos centrais ou metropolitanos.

Finalmente, o setor residencial constituído pela população nas diversas zonas e sua distribuição populacional é função do emprego total (básico e não-básico) e calculado internamente pelo modelo. As regras de alocação zonal são regidas por uma ordem implícita de alocação de atividades ao solo urbano: a localização das atividades no modelo é feita apenas com base na disponibilidade de terreno. Em primeiro lugar nota-se que o emprego básico e logo a seguir, os assentamentos habitacionais, são alocados inicialmente à área disponível na zona. Os empregos do setor de comércio e serviços ocupam a área restante após a alocação dos dois tipos de atividades mencionadas. Na prática, essa ordem é alterada em decorrência do poder econômico.

O modelo não simula o processo da disputa do solo urbano considerando as leis de oferta e procura. Contudo, os condicionantes deste processo existem potencialmente em cada zona para cada tipo de atividade urbana.

A função de alocação populacional reflete tanto as propriedades do tempo de viagem como as atratividades relativas de zonas residenciais. Os tempos de viagens são incorporados na função de alocação através da função fator tempo de via-

gem, e as atratividades residenciais são geralmente expressas por capacidades de concentração populacional. As funções de alocação do emprego que atende a população, também refletem as propriedades do tempo de viagem da área assim como as atratividades relativas dos centros de serviços alternativos. As alocações de população e emprego que atendem a população são sujeitas a restrições de densidade, área disponível e fatores de escala mínimos respectivamente.

A estrutura funcional do modelo de Lowry está inserida nas relações geradas pelos empregos do setor básico - uma atividade residencial formada por seus dependentes e desempregados, que por sua vez geram uma demanda de empregos em serviços.

Este novo emprego induz a mais residentes, que por sua vez demandam novamente por serviços, e assim por diante. Uma distribuição conjunta estável de população e emprego que não contraria as restrições, é obtida por meio de um processo iterativo. Os estados futuros previstos pelo modelo não refletem o desenvolvimento histórico do sistema urbano em estudo - o modelo gera uma estrutura urbana instantânea.

O modelo consiste num conjunto de sete equações instantâneas e três inequações que exprimem as restrições.

### 3.3 - ESTRUTURA MATEMÁTICA

Para fixar a estrutura teórica do modelo e dar ênfase a solução adotada por Lowry, o modelo será descrito como um sistema formal de equações. Esta interpretação do modelo ado

ta uma notação diferente da que usada no original para que os diversos modelos de uso do solo apresentados neste trabalho, possam ser compreendidos.

Antes de operacionalizar o modelo, o espaço urbano em estudo é zoneado com características de área, restrições\* de ocupação do solo e emprego indicados, bem como coeficientes e parâmetros definidos exogenamente no modelo.

Já no início da operacionalização do modelo,  $m=1$  e  $n=1$  e é importante verificar que  $z = z_1$ , e ainda, que  $z_2, z_3, z_4, cz_1$ . Também, emprego total na zona  $i$ ,  $E_i(1)$ , é igual ao emprego básico, e o total de solo para uso de serviço  $L_j(1)$  é igual a zero. Os índices inferiores "i" e "j" decrescem no intervalo  $i, j = 1, 2, \dots, I$  e os índices superiores  $k$  no intervalo  $k = 1, 2, \dots, K$ . O índice  $m$  refere-se as iterações internas do modelo necessárias para assegurar as restrições locais, enquanto que o índice  $n$  refere-se as iterações externas do modelo e asseguram a co-distribuição estável de variáveis de entrada e saída.

Nas aplicações do modelo de Lowry é conveniente calcular a população total  $P$  de forma direta logo no início do processo iterativo, possibilitando assim a verificação do grau de convergência a cada passo. A população total é calculada

---

(\*) O modelo divide o espaço em quatro séries de zonas que diferem entre si em relação às restrições impostas:

- $z_1$  = série de zonas onde não existe restrição locacional;
- $z_2$  = existe restrição residencial;
- $z_3$  = somente restrição de serviços;
- $z_4$  = restrição residencial e de serviços.

usando os conceitos da teoria da base econômica definidos no capítulo 2 e expressa apenas no número total de empregos básicos e coeficientes definidos de forma exógena ao modelo. Sua dedução, segundo Novaes, A. G.<sup>41</sup>(1981) é a seguinte:

O número total de empregos é dado pela soma dos empregados básicos e de comércio e serviço:

$$E = E^b + \sum_k S_i^k(m,n), i \in Z \quad (3.1)$$

Ou seja:

$$E = \sum_i E_i^b + \sum_k S_i^k(m,n), i \in Z \quad (3.2)$$

Substituindo (3.2) na relação  $P(m) = \alpha E$ : (3.3)

$$P(m) = \alpha \left[ \sum_i E_i^b + \sum_k S_i^k(m,n) \right], i \in Z \quad (3.4)$$

Substituindo agora  $S_i^k(m,n)$  pela expressão  $S_i^k(m,n) = \beta^k P(m)$  na relação (3.4), obtendo-se:

$$P(m) = \alpha \left[ \sum_i E_i^b + \sum_k \beta^k P(m) \right], i \in Z \quad (3.5)$$

Explicitando  $P(m)$  na expressão (3.5), chega-se a

$$P(m) = \alpha \sum_i E_i^b (1 - \alpha \sum_k \beta^k)^{-1}, i \in Z \quad (3.6)$$

$P$  é a população total (número de domicílios facilmente conversível em pessoas residentes),  $\alpha$  é a taxa média representando a relação entre o número total de unidades residenciais pelo número total de empregados (inverso do índice de indivíduos economicamente ativos por unidade habitacional),  $\beta^k$  é o coeficiente que relaciona o número de empregados no nível de atividade  $k$  com a população por eles atendida.

Passa-se agora às iterações do modelo de Lowry para distribuir os empregos do setor não básico e a população pelas zonas em que for dividido o espaço urbano\*.

Para iniciar a primeira iteração se faz  $S^k=0$ , isto é, considerando-se apenas os empregos básicos.

O balanceamento das áreas (expressos em hectare) de terreno pelas diversas categorias de atividades é efetuado considerando-se os índices unitários médios  $e^k$ :

$L_j$  = área total disponível (informação exógena)

$L_j^b$  = área utilizada pelo emprego básico:

$$L_j^b = e^k \cdot E_i^b \quad (j = 1, 2 \dots n) \quad (3.7)$$

$L_j^r(n)$  = área utilizada pelo emprego não básico = 0.

$L_j^r$  = terreno não utilizável pelas atividades envolvidas no modelo: vias urbanas, praças, reservas, parques, etc.

$L_j^h(n)$  = área disponível para utilização residencial\*\*.

$$L_j^h(n) = L_j - [L_j^u + L_j^b + L_j^r(n)] \quad , \quad j \in Z \quad (3.8)$$

Os valores obtidos para o assentamento residencial serão posteriormente comparados com as necessidades de área, confrontando-se, assim, a oferta com a demanda de solo, início de um processo de alocação de atividades baseado na disponibilidade do solo.

(\*) Hutchinson, B.C.<sup>34</sup>(1974) analisa o tamanho das zonas de análise como "inputs" da estratégia de planejamento urbano.

(\*\*) CHAAPIN, F. S., Jr.<sup>8</sup>(1977) faz um estudo completo sobre necessidades de espaço.

Agora é calculado o número de domicílios gerados pelo emprego básico:

$$P(m) = \alpha E = \alpha \sum_i E_i^b, \quad i \in Z \quad (3.9)$$

Na expressão acima,  $P(m)$  representa o total de domicílios referentes à primeira iteração. Como os empregos não básicos não são considerados nesta iteração, o valor obtido corresponde, portanto, aos domicílios daqueles que trabalham no setor básico.

As unidades habitacionais são distribuídas pelas diversas zonas por meio da expressão abaixo, entrando com  $E_i = E_i^B$  e uma função\* de custo generalizado de viagem  $f^1(e_{is})$  calculados para as relações espaciais residência-trabalho:

$$P_j(m,n) = P(m) \frac{\sum_i E_i(m) f^1(c_{ij})}{\sum_i \sum_j E_i(m) f^1(c_{ij})}, \quad i \in Z, \quad j \in Z_1 \text{ e } Z_3 \quad (3.10)$$

Neste ponto, verifica-se se a densidade residencial média em cada zona não excede os limites máximos estabelecidos antes das iterações. Dessa forma se

$$P_j(m,n) \geq \delta_j L_j^h(n), \quad j \in Z_1 \text{ e } Z_3 \quad (3.11)$$

Então:

$$P_j(m,n) \in Z_2, Z_4 \quad (3.12)$$

Onde  $\delta_j$  é um coeficiente de densidade que converge  $L_j^h(n)$  em população. Nas séries restritas  $Z_2$  e  $Z_4$ , a população

---

(\*) NOVAES, A. G.<sup>41</sup>(1981) propõe uma formulação entrópica para o cálculo das funções de distribuição.

é tomada igual a população máxima adotada. O índice  $m$  é aumentado para  $m + 1$ . Sempre que a população não esteja de acordo com a restrição locacional, o processo será retomado até que a condição abaixo seja satisfeita em cada zona:

$$P_j(m,n) \leq \delta_j L_j^h(n), \quad j \in Z. \quad (3.13)$$

Na segunda iteração é calculado o número de empregos em comércio e serviço (não-básico), gerados pelos residentes, e a distribuição espacial pelas diversas zonas. Para isso é utilizado, inicialmente, a relação abaixo que fornece o número total de empregados por nível de hierarquização  $k$  das atividades:

$$S^k = \beta^k \sum_j P_j(m,n), \quad j \in Z \quad (3.14)$$

onde  $\beta^k$  pode ter valor variado conforme o nível de hierarquização adotado. O valor de  $P_j$  é extraído da iteração anterior.

O emprego em serviço é agora alocado em cada zona  $i$ , aplicando para isso, a relação abaixo:

$$S_i^k(m,n) = S^k \frac{\sum_j g^k P_j(m,n-1) f^2(c_{ij}) + q^k E_i(n)}{\sum_i \sum_j g^k P_j(m,n-1) f^2(c_{ij}) + \sum_i q^k E_i(n)}, \quad i, j \in Z \quad (3.15)$$

Na primeira iteração completa do modelo ( $n=1$ ),  $P_j(m,n-1)$  é igual a população observada.  $g^k$  e  $q^k$ , são coeficientes determinados empiricamente, mostrando a importância relativa da população e emprego no índice de valor potencial.  $f^2(c_{ij})$  é uma função de custo generalizado de viagem. Os valores  $P_j$ , por sua vez, são derivados da iteração anterior e os valores de empregos  $E_i$  (empregos básicos) são fornecidos ao modelo.

Efetuados os cálculos para os diversos níveis de hierarquização adotado, deve-se observar os fatores de escala mínimos para que as atividades de comércio e serviços possam subsistir. Dessa forma, sempre que os empregos do tipo  $S^k$  não atingem um determinado patamar mínimo para qualquer uma das zonas  $i$ , serão anulados naquela zona. Assim se faz:

$$S_i^k = 0 \text{ sempre que } S_i^k < Z^k \text{ (i, 1, 2, \dots, n).} \quad (3.16)$$

Em decorrência, é necessário redistribuir os empregos pelas zonas com maiores contingentes.

Através da expressão (3.15) o processo é retomado na ordem crescente de empregos até que todas as zonas satisfaçam as restrições. Em outras palavras:

$$S_i^{k(m+1, n)} \geq \min S_1^k, \quad i \in Z \quad (3.17)$$

O coeficiente  $b^k$  é um fator de normalização que impõe a igualdade entre a soma dos empregos  $S_i^k$  calculados para todas as zonas ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) e o número total de empregos  $S^k$  do universo (expressão 3.15):

$$S^k = b^k \sum S_i^k \quad (3.18)$$

Neste ponto do modelo, todas as atividades tem sido alocadas. O índice  $n$  é aumentado para  $n+1$ . O emprego em serviço é convertido em uso do solo, usando para isso os índices unitários  $e^k$  ( $m^2$  de terreno/empregados):

$$L_i^r(n+1) = \sum_k e^k S_i^k(m, n), \quad i \in Z \quad (3.19)$$

O coeficiente  $e^k$  é o inverso da densidade média de emprega-

dos por área de terreno ocupado e é estimado exogenamente modelo.

É estabelecida a restrição de área disponível para atividade de comércio e serviço em cada zona:

$$\text{Se } L_i^k(n+1) \geq L_i - (L_i^u + L_i^b), \quad i \in Z \quad (3.20)$$

$$\text{Então: } L_i^r(n+1) = L_i - (L_i^u + L_i^b), \quad i \in Z. \quad (3.21)$$

O total de empregos é agora calculado como

$$E_i(n+1) = E_i^b + \sum_k S_i^k(m,n), \quad i \in Z.$$

O número total de empregos, por zona, são apresentados. Além dos empregos básicos, aparecem agora os empregos em comércio e serviços, calculados na primeira iteração. Faz a seguir o balanceamento das áreas ocupadas:

$L_j$  = área total disponível (dado de entrada)

$L_j^B$  = área utilizada pelo emprego básico (calculada na primeira iteração);

$L_j^r$  = área utilizada pelo emprego não básico (calculada na segunda iteração)

$L_j^u$  = área não utilizável (fornecida ao modelo na primeira iteração);

$L_j^h(n+1)$  = área disponível para assentamento residencial:

$$L_j^h(n+1) = L_j - (L_j^B + L_j^r(n+1) + L_j^u) \quad (3.22)$$

O número total de habitações geradas pelo número total de empregados é dado pela expressão 39. Este total, comparado com o valor limite já calculado antes de iniciar as iterações,

pode fornecer o índice de convergência do modelo.

As residências são novamente distribuídas através da expressão 3.10 e verifica-se novamente a densidade residencial. Em todo o processo iterativo as restrições locacionais são respeitadas. Em resumo, o sistema de equações é então repetido para produzir uma distribuição de área, população e emprego.

Os resultados finais do modelo de Lowry, a exceção dos empregos básicos, podem ser corrigidos de forma a totalizar o valor limite pré-calculado de  $P_j(m,n)$ . Se a distribuição prevista está dentro de um certo limite  $\xi_p$  da distribuição de entrada, as duas distribuições analisadas estão consistentes e a relação abaixo torna-se satisfeita:

$$P_j(m,n) = P_j(m,n-1) \quad \xi_p, J \in Z. \quad (3.23)$$

Uma interpretação diagramática desta sequência de operações é apresentada na figura 7. O modelo, ainda, foi apresentado seguindo uma metodologia de compreensão e resolução do sistema de equações. A listagem das equações estruturais do modelo de Lowry num total de sete, é apresentada no quadro 2.

#### 3.4 - EXTENSÕES DO MODELO

A estrutura do modelo desenvolvido por Lowry ganhou uma série de adeptos que adicionaram certas extensões à forma primitiva. Contudo, os principais desenvolvimentos após seu trabalho original consistiram, principalmente, da desagregação

das atividades, nas técnicas de calibração e na incorporação do fator tempo na estrutura do modelo. GOLDNER, W. (1971), documentou os modelos operacionais e teóricos desenvolvidos a partir da idéia original de Lowry, I. S. (1964). BATTY, M<sup>1</sup>. (1972) também fez uma revisão compreensiva desses modelos. O primeiro desenvolvimento do modelo de Lowry foi feito pela CONSAD RESEARCH Corporation, como parte do programa de renovação urbana de Pittsburgh (CRECINE<sup>12</sup>, 1964). Esse modelo, chamado Time Oriented Metropolitan Model (TOMM), sugeriu uma série de extensões dinâmicas e desagregadas ao modelo de Lowry, sem contudo modificar sua metodologia: o modelo foi derivado para incorporar o fator tempo e a população foi desagregada em diferentes grupos sócio-econômicos dando, portanto, maior poder de explanação ao modelo.

Na realidade, existem três versões do Time Oriented Metropolitan Model. Seguindo a versão de 1.964, CRECINE<sup>13</sup> J. P. (1968) tem sugerido um maior aprimoramento. Embora, a estrutura do modelo revisado ser a mesma do modelo original, os mecanismos de alocação foram repensados de forma analítica: foi sugerido que os cálculos potenciais de população e emprego fossem substituídos por equações lineares referindo-se a aluguéis locais, custo de transportes e outras modalidades. A última versão do modelo foi calibrada para dados de East Lansing, Michigan (CRECINE, 1969), e este modelo foi também usado como exercícios de simulação na universidade de Michigan.

expondo as consequências de decisões na distribuição espacial .

O modelo de Lowry estimulado ao mesmo tempo por GOLDNER, W. & GRAUBEAL, P. S.<sup>28</sup>(1965) cujo objetivo era a previsão do crescimento econômico de S. Francisco, Califórnia, ficou conhecido como BASS, Bay Área Simulation Model, e foi projetado para testar a sensibilidade do assentamento residencial e comercial, relativa a implantação de indústrias. Contudo, foi somente um estudo piloto, sem muita importância.

Um outro desenvolvimento do modelo de Lowry foi sugerido por GOLDNER, W.<sup>27</sup>(1968), originando o Projective Land Use Model (PLUM). O PLUM foi designado para a Bay Area Transportation Study Commission, com o objetivo de alocar serviços e população usando modelos de oportunidades intervenientes . Em vez de extensões desagregadas de população e emprego em serviços, Goldner desagrega os parâmetros para cada uma das nove regiões na Bay Área.

O mecanismo abrangente que impele o modelo PLUM é uma alocação espacial exógena do emprego básico, que por sua vez, faz um sumário do subconjunto de projeções com extensão regional de empregos classificados numa lista de 54 indústrias. Dependendo de suas localizações, os assentamentos residenciais e por sua vez, definem as áreas para as atividades da população que se dedica as prestações de serviços.

No modelo original de Lowry, uma distribuição conjunta estável de população e emprego é obtida por meio de um pro-

cesso iterativo. GARIN, R. A.<sup>26</sup> (1966) desenvolveu uma abordagem matricial para resolver as equações do modelo de Lowry. Esta formulação evita a necessidade de uma solução iterativa e permite que a distribuição conjunta de população e emprego seja calculada diretamente. Apesar de o modelo analisar com maior clareza as características e propriedades do modelo original, ele representa, no entanto, em "cross section", a evolução de um determinado sistema urbano num certo momento.

"A matriz de Garin para o modelo de Lowry indica que o modelo é estático para um corte no tempo, e é calculado para um sistema de equilíbrio" (PROCIANOY, S. M.<sup>42</sup>, 1976, ).

Talvez o desenvolvimento mais importante do modelo de Garin-Lowry\* tenha caráter teórico. Garin interpretou o modelo de Lowry de duas maneiras. Primeiramente, modelos gravitacionais de produção restrita substituíram os modelos potenciais e segundo, a forma ampla da teoria da base econômica foi substituída pela forma analítica numa versão estrutural que incorpora restrições na alocação espacial. Pela importância que tem o modelo Garin-Lowry na modelística urbana, o mesmo passa a ser discutido com mais detalhes no próximo capítulo desse trabalho.

ROGERS, A<sup>44</sup>. (1966) apresentou uma extensão à formulação matricial de Garin considerando generalizações do fator tempo nas projeções de empregos e assentamento residencial. Os vetores representativos das distribuições espaciais da po

---

(\*) Quando se fala em "Modelo de Lowry", está-se referindo apenas ao modelo de 1964: A Model of de Metropolis.

pulação e emprego são formados pelo crescimento repetitivo e constante desses vetores no decorrer do tempo. Este modelo é, portanto, estático-comparativo.

BATTY, M.<sup>2</sup> (1971) expõe uma formulação bastante eficaz para resolver numericamente as equações\* do modelo de Lowry, incorporando os diversos tipos de restrições existentes. A figura 8 ilustra a sequência de atividades envolvidas neste enfoque. Nesse modelo, as zonas são classificadas em quatro conjuntos distintos:

- $Z_1$  = série de zonas sem restrições locacionais;
- $Z_2$  = série de zonas com restrições residenciais;
- $Z_3$  = série de zonas com restrições de serviços;
- $Z_4$  = série de zonas com restrições residenciais e de serviços.

No mecanismo estrutural do modelo, o índice  $m$  refere-se as iterações internas cuja função é assegurar o atendimento às restrições zonais. A distribuição conjunta estável de população e emprego, é assegurada pelo índice  $n$  de iterações externas.

No início da operacionalização do modelo  $m = 1$ ,  $n = 1$ , e  $z = z_1$ , onde  $z$  = total de zonas, e o emprego total da zona  $E_i(1,n)$  é tomado igual ao emprego básico  $E_i^b$ . Primeiramente, o emprego básico  $E_i(1,n)$  é distribuído às zonas por:

$$T_{ij}(m,n) = A_i(n) B_j(n) E_i(m,n) f^1(F_j, C_{ij}), i, j \in Z \quad (3.24)$$

---

(\*) O enfoque iterativo de BATTY propõe e resolve as equações representativas das distribuições espaciais de emprego e população do modelo de Lowry.

$$A_i = 1/\sum_j B_j(n) f^1(F_j, C_{ij}), i, j \in Z \quad (3.25)$$

Onde  $T_{ij}$  é o número de trabalhadores empregados em  $i$  e vivendo em  $j$ .  $f^1(F_j, c_{ij})$  é uma função relacionando a atração da área  $j$ ,  $F_j$ , com o custo generalizado,  $c_{ij}$ , entre  $i$  e  $j$ . A população que vive na zona  $j$  é obtida pelo somatório das equações (3.24) para todas as zonas de emprego  $i$ :

$$P(m,n) = \alpha \sum_i T_{ij}(m,n), i, j \in Z \quad (3.26)$$

O número de empregados em serviços demandados  $D_j(m,n)$  pela população da zona  $j$  é dado por:

$$D_j(m,n) = \beta p_j(m,n), j \in Z \quad (3.27)$$

onde  $\beta$  é um coeficiente que relaciona população e demanda de serviços. Em termos de modelo original de Lowry,  $\beta = \sum_k \beta^k$ .

Os empregados em serviços demandados pela população da zona  $j$  podem ser distribuídos aos locais de trabalho por:

$$S_{ij}(m,n) = R_j(n) D_j(m,n) K_i(n) f^2(F_i, C_{ij}), i, j \in Z \quad (3.28)$$

$$R_j(n) = 1/\sum_i K_i(n) f^2(F_i, C_{ij}), i, j \in Z \quad (3.29)$$

onde  $f^2(f_i, c_{ij})$  é uma função relacionando a atração dos centros de serviços com o custo generalizado de viagem.

O emprego em serviços na zona  $i$  pode ser calculado a partir de (3.28):

$$E_i(m+1,n) = \sum_j S_{ij}(m,n), i, j \in Z \quad (3.30)$$

Neste ponto, os primeiros incrementos de população e emprego em serviços foram calculados, e os empregados em ser

viços podem ser alocados às zonas residenciais. Através da substituição de  $E_j(m+1, n)$  por  $E_i(m, n)$  na relação (3.24), as equações (3.24) a (3.30) são retomadas até:

$$\sum_i E_i(m+1, n) \leq l_e, \quad i \in Z \quad (3.31)$$

e,

$$\sum_j P_j(m, n) \leq l_p, \quad j \in Z \quad (3.32)$$

onde  $l_e, l_p$  são os limites abaixo dos quais, posteriores incrementos de emprego em serviços e população, são pequenos o bastante para serem ignorados. A população e emprego totais previstos pelo modelo podem ser calculados a partir de:

$$P_j(n) = \sum_m P_j(m, n), \quad j \in Z \quad (3.33)$$

$$E_i(n) = \sum_m E_i(m, n), \quad i \in Z \quad (3.34)$$

Os somatórios das equações 3.20 e 3.24 em relação a  $m$  fornecerão as matrizes de viagens para viagens pendulares de base residencial e viagens de serviços de base residencial, respectivamente.

Neste ponto, as restrições de densidade e tamanho mínimo de serviços são testados. Se

$$P_j(n) > \delta_j L_j^h, \quad j \in Z \quad (3.35)$$

Então:

$$P_j(n) \in Z_2, Z_4 \quad (3.36)$$

e se:

$$\left[ E_i(n) - m_i \right] < \min S, \quad i \in Z \quad (3.37)$$

Então:

$$\left[ E_i(n) - m_i \right] \in Z_3, Z_4 \quad (3.38)$$

Se as restrições relativas a população e emprego em serviços não são satisfeitas, então, se coloca os seguintes fatores de balanceamento:

$$B_j(n+1) = \begin{cases} B_j(n) \delta_j L_j^h / P_j(n), & j \in Z_2, Z_4 \\ 1, & j \in Z_1, Z_3 \end{cases} \quad (3.39)$$

e,

$$K_i(n+1) = \begin{cases} 0, & i \in Z_3, Z_4 \\ 1, & i \in Z_1, Z_2 \end{cases} \quad (3.40)$$

As novas estimativas dos fatores de balanceamento obti das a partir das relações (3.39) e (3.40), são então substitui das em 3.24 e 3.28 até que todo processo reiterativo . . . satisfaça 3.35 e 3.37.

Segundo Batty , existem três importantes diferenças en tre o seu modelo e o modelo original de Lowry. Primeiro, es te modelo usa iterações do tipo gravitacional para aloca r atividades, ao passo que Lowry usa funções potenciais. Segun do, o método que assegura consistência entre a distribuição de entrada e saída usada por Lowry, não existe aqui. Final mente, existe mais ênfase às atividades do que ao uso do solo.

BATTY, M.<sup>3</sup> (1969) aplicou o processo matricial de Garin nas prioridades de Lancashire. O objetivo de tal implementa ção foi testar as potencialidades de localização de uma "new town"\* na área e suas implicações de ordem físico-especiais. A ausência das restrições locacionais é justificável porque a área de estudo consistia de uma região pouco desenvolvida.

---

(\*) Experiência inglesa no planejamento de cidades

Posteriormente, BATTY, M.<sup>4</sup> (1970) aplicou o modelo na região de Nottinghamshire-Derbyshire, da Inglaterra, onde a população é muito maior, e exigiu tratamentos diferenciados. O modelo foi calibrado com e sem restrições relativas a população e serviços, fato que diferenciou os parâmetros para ambas as considerações. Portanto, o estudo de Nottinghamshire-Derbyshire foi um estudo pioneiro, seguido por estudos para as áreas de Berkshire, Cheshire, Reanding e Cambridge, South Hampshire, Tyner-wear (BATTY, M.<sup>1</sup> (1972)).

Algumas das mais importantes generalizações dos modelos de Lowry, foram desenvolvidas no Institute of National and Local Planning do Swiss Federal Institute of Technology, em Zurique. STRADAL, O. e SORGO, H.<sup>50</sup> (1970), desenvolvem uma formulação do modelo de Garin-Lowry, chamada ORL-MOD-1, o qual incorpora inter-relacionamento entre as quatro variáveis utilizadas para expor uma zona: emprego básico, população, emprego em serviços e emprego total (Ver fig.9 do fluxograma de atividades envolvidas neste modelo). Este modelo, foi aplicado à região de Zurique com o objetivo de analisar alguns dos prováveis impactos de uma série de propostas de desenvolvimento regional. Além de fornecer uma distribuição conjunta estável de variáveis de entrada e saída para cada zona, o modelo também calcula para uma os custos relevantes, o uso do solo, a geração de viagens, os tempos de viagens e a acessibilidade.

Wilson, A. G. (1968), no Center of Environmental, em Londres, fez uma avaliação do sub-modelo de localização residencial proposto por Lowry e desenvolveu soluções analíticas

incorporando a atratividade dos locais de residência e o conceito de oportunidade, através do conceito de entropia. Operacionalmente, ficou provada a sua habilidade em expor a estrutura urbana em termos comportamentais e locacionais. Todavia, o processo de crescimento e desenvolvimento é muito abstrato, devido principalmente às hipóteses bastante rudimentares em que se baseia o comportamento locacional.

Em decorrência deste fato, WILSON, A. G.<sup>34</sup> (1970), desenvolveu um modelo de localização residencial do tipo Lowry, e cujo esquema de desagregação é formalizado de acordo com diferentes grupos de renda domiciliar, diferentes níveis salariais por local de emprego, diferentes tipos de domicílio e variações nos preços das habitações com a localização. O modelo de Wilson emprega uma formulação baseada na maximização da entropia\* para derivar um modelo de alocação residencial do tipo seguinte:

$$T_{ij}^{kw} = A_i^k B_j^w H_i^k E_j^w \exp(-\beta^w C_{ij}) \exp\{-\mu^w [P_i^k - q^w (w - C_{ij})]^2\} \quad (3.41)$$

Onde:  $T_{ij}^{kw}$  = o número de trabalhadores que vivem na zona i em casas do tipo k e que trabalham na zona j, recebendo um salário w.

$H_i^k$  = O número de casas do tipo k na zona i

$E_j^w$  = número de empregos na zona j oferecendo um salário w

$P_i^k$  = O preço das casas do tipo k, na zona i

---

(\*) A entropia é uma medida do grau de ordem em um sistema e as técnicas de maximização identificam o estado mais ordenado ou mais provável.

$q^w$  = a percentagem média de renda (após a redução dos custos de transporte) que um empregado do grupo de renda  $w$  gasta em habitação.

$C'_{ij}$  = aquele componente do custo generalizado da jornada de trabalho  $C_{ij}$  que é o dinheiro realmente pago.

$$A_i^k = \frac{1}{\sum_j \sum_w B_j^w E_j^w \exp(-\beta^w C_{ij}) \exp\left\{-p^w \left[p_i^k - q^w (w - C'_{ij})\right]^2\right\}} \quad (3.42)$$

$$B_j^k = \frac{1}{\sum_i \sum_w A_i^k H_i^k \exp(-\beta^w C_{ij}) \exp\left\{-p^w \left[p_i^k - q^w (w - C'_{ij})\right]^2\right\}} \quad (3.43)$$

Como as equações são amplas, e há muitos valores desconhecidos, os cálculos envolvem o uso de métodos combinatórios e multiplicadores Lagrangianos\*.

CRIPPS, E. L. e FOOT, D.H.S.<sup>14</sup>(1969) operacionalizaram a versão de Wilson, aplicando o modelo na sub-região de Bedfordshire, Inglaterra. Neste caso, onde existe concentração locacional, o uso do conceito de oportunidade, utilizado por Wilson na sua proposta inicial, parece mais viável que o tempo-custo de viagem. Contudo, tratamento especial foi dado as viagens intrazonais cujas proporções, na área, eram elevadas, o

(\*) Suponha que  $f(x,y)$  e  $g(x,y)$ , funções cujas derivadas de primeira ordem existam. Para encontrar o máximo e o mínimo relativo de  $f(x,y)$ , com a função sujeita a restrição  $g(x,y)=k$  para alguma constante  $k$ , introduza uma nova variável  $\lambda$  (denominada multiplicador de Lagrange) e resolva simultaneamente as três equações seguintes:

$$f_x(x,y) = \lambda g_x(x,y) \quad f_y(x,y) = \lambda g_y(x,y) \quad g(x,y) = K$$

O extremo relativo desejado será encontrado entre os pontos  $(x,y)$  resultantes.

que, de certa forma, atuou como elemento restritivo da densidade habitacional. O modelo apresentou bons resultados. Ele foi igualmente utilizado para testar os impactos nas áreas adjacentes de duas novas localizações para mais um aeroporto na região metropolitana de Londres.

Modelos operacionais, tipo Garin-Lowry, foram desenvolvidos por ECHERRIQUE, et alii<sup>18</sup> (1969) nas cidades de Rading, Cambridge e Stenvenage, bem como às "new towns" projetadas de Hook e Milton Keynes. Os resultados desses modelos foram mais interessantes a nível regional.

STUBBS, J. R. e BARBER, B.<sup>51</sup>(1970), utilizaram um modelo de uso do solo para a cidade de Ljubljana, Iugoslávia, mais próximo das propostas originais de Lowry. Três políticas de desenvolvimento foram testadas, incluindo rede de transporte, o esquema de distribuição das indústrias e as densidades de uso do solo.

ROGER, A.<sup>44</sup> (1966), CRECINE, J. P. (1969) e ECHENIQUE, M.<sup>19</sup> (1969), sugeriram uma série de extensões dinâmicas e desagregadas do modelo de Lowry. Como se sabe, os modelos de uso do solo tipo Lowry relacionam população e emprego a um horizonte de tempo particular. A formulação matemática mais adiante baseada no trabalho desenvolvido por Echenique, representa uma extensão do modelo de Garin-Lowry. O modelo foi mantido estruturalmente, no entanto "as matrizes de acessibilidade com relação ao tempo foram variadas, produzindo ajustamentos locacionais, assim como variando a distribuição do emprego básico em relação ao tempo" (HUTCHINSON, B.G.<sup>34</sup>, 1974).

As fontes potenciais de variação na estrutura espacial

urbana do modelo de Garin-Lowry são:

- a. Variação no vetor de emprego básico devido ao crescimento, redução ou migração.
- b. Variação nas propriedades do sistema de transportes.
- c. Variação na taxa de participação do trabalho devido a variações nas taxas de fertilidade, desemprego, ou participação de mulheres na força de trabalho.
- d. Variação nas restrições da densidade populacional de zonas residenciais.
- e. Variação da razão do emprego que atende à população devido ao aumento de rendas, variações de produtividades de empregados, etc.
- f. Variações nas restrições de tamanho mínimo dos vetores do emprego que atende à população por zona.

A variação do vetor de emprego básico durante o intervalo,  $t$  a  $t+1$ , pode ser representado por:

$$E^b(t+1) = E^b(t)G \quad (3.44)$$

onde,  $E^b(t+1)$  = o vetor do emprego básico no novo horizonte de tempo

$E^b(t)$  = o vetor de emprego básico no ano-base.

$G$  = Uma matriz de crescimento que projeta o vetor de emprego básico através de um período de tempo.

ECHENIQUE, M.<sup>19</sup>(1969) considera a matriz  $G$  de crescimento como:

$$G = (f-g+m) \quad (3.45)$$

Onde:  $f$  = uma matriz diagonal cujos elementos representam o aumento no emprego básico de uma zona.

$g$  = uma matriz diagonal cujos elementos representam o declínio no emprego básico de uma zona.

$m$  = uma matriz quadrada cujos elementos representam as proporções de emprego da zona  $i$  no período  $t$  que estão na zona  $j$  no período  $t + 1$

Dadas as equações abaixo da formulação de Garin\*:

$$E = E^b (I - AB)^{-1} \quad (3.46)$$

$$P = E^b (I - AB)^{-1} A \quad (3.47)$$

Onde:  $I$  = matriz identidade.

As versões dinâmicas são:

$$E(t+1) = E^b(t+1) [I - A(t+1) B(t+1)]^{-1} \quad (3.48)$$

$$P(t+1) = E^b(t+1) [I - A(t+1) B(t+1)]^{-1} A(t+1) \quad (3.49)$$

Onde:  $A(t+1)$  = matriz de acessibilidade do local de trabalho para casa para o ano  $t + 1$ ;

Os elementos  $[a_{ij}^!(t+1)]$  e  $[a_j(t+1)]$  da matriz  $A(t+1)$  refletem as características da rede de transporte, as características da densidade populacional e a taxa de participação do trabalho aproximada para o ano  $t + 1$ . Uma interpretação análoga pode ser feita para a matriz de acessibilidade  $B(t+1)$ .

---

(\*) Ver significado de cada variável na formulação do modelo no próximo capítulo.

### 3.4 - EXTENSÕES DESAGREGADAS

As aplicações de modelos tipo Lowry descritas até agora representam análises relativamente macroscópicas de planos do tipo ano-horizonte. Nestas análises, a distribuição espacial de atividade no ano-horizonte atingiu uma condição de equilíbrio e, segundo se supõe, não existem defasagens na realocação de atividades dentro da área em estudo. E mais, os indivíduos são tratados de forma agregada, não se fazendo distinções entre os diversos níveis sócio-econômicos, de modo que todos tenham oportunidades iguais de emprego, habitação e transportes.

As disparidades de renda provocam, no entanto, comportamentos diversos nos indivíduos relacionados com a localização espacial, uso do solo e opções de transportes, etc. E o processo de assentamento urbano se realiza gradativamente ao longo do tempo.

A desagregação do modelo de Lowry surgiu, portanto, da necessidade de melhor expor o fenômeno urbano, levando em conta as características comportamentais dos indivíduos, atividades urbanas, formas de ocupação do solo, meios de transportes. O detalhamento dos elementos e relações do modelo de Lowry só se tornou viável através da formulação entrópica\* para os diversos sub-modelos generalizados que passaram a compor o modelo geral.

---

(\*) O grande número de inter-relações que aparecem nos modelos desagregados não permite a calibração pelos métodos convencionais (regressão múltipla e métodos estatísticos do gênero).

A partir desse instrumental mais flexível, importantes extensões desagregadas do modelo Lowry, podem aperfeiçoar sua generalidade.

#### DESAGREGAÇÃO DA POPULAÇÃO

A desagregação da população, segundo suas características sócio-econômicas, pode ser feita segundo os tipos de emprego e as faixas de renda.

No modelo original de Lowry os níveis e distribuição dos empregos do setor básico são fornecidos de forma agregadas e os empregos de serviços são subdivididos de acordo com sua hierarquização na estrutura funcional urbana:

1. núcleos de vizinhos, constituídos por estabelecimentos comerciais de produtos alimentícios, postos-de-gasolina, salões-de-beleza, etc;

2. núcleos de bairros ou locais, contêm uma faixa mais ampla de estabelecimentos comerciais, oficinas de consertos, serviços profissionais, igrejas, órgãos locais de administração municipal, etc.;

3. núcleos locais ou metropolitanos, constituídos pelas instituições financeiras, órgãos do governo, serviços especializados, etc.\*

Nos modelos desagregados, os empregos são geralmente sub

---

(\*) Equipamentos mínimos dos diversos escalões urbanos são tratados por FERRARI, C. (1979).

divididos de acordo com os principais setores que constituem a força do trabalho na estrutura sócio-econômica em estudo, os quais podem ser: agricultura, indústria, governo, serviços, comércio e educação.

Na desagregação por faixa de renda, a população é dividida em classes, cujo número é função da precisão que se pretende com o estudo e do nível de disparidade sócio-econômica dos indivíduos. A desagregação dos empregos pode ser feita, também, em dois estágios: o detalhamento sócio-econômico pode ser seguido de uma classificação em faixas de renda.

Os grupos sócio-econômicos são, de modo geral, estruturados em função do grau de instrução e dos papéis sociais exercidos pelos indivíduos na sociedade: executivos, profissionais de nível superior, técnicos, empregados diversos, etc. A formulação abaixo, bem como as idéias principais encontram-se em NOVAES, A. C.<sup>41</sup> (1976).

Seja  $E^{(x)}$  o número de empregos correspondentes ao sub-setor  $x$  num estágio qualquer de processamento do modelo. A desagregação dos empregos  $E^{(x)}$ , segundo os diversos grupos sócio-econômicos  $y$ , é efetuada através de uma relação do tipo:

$$E^{(y)} = E^{(x)} \cdot q^{(xy)} \quad (3.50)$$

Onde,  $E^{(x)}$  = número de empregos existentes no sub-setor  $x$

$E^{(x,y)}$  = número de empregos do sub-setor  $x$  que se enquadram na categoria sócio-econômica  $y$ .

$q^{(x,y)}$  = coeficiente de desagregação, dado usualmente em forma matricial.

Os elementos de uma linha representam as frações de de

sagregação / do subsetor de emprego respectivo dos diversos grupos sócio-econômicos. Efetuada a multiplicação de  $E^{(x)}$  .  $q^{(x,y)}$ , a desagregação prossegue agora, convertendo-se os grupos sócio-econômicos de  $E^{(x,y)}$  em faixas de renda. Seja  $E^{(x,y)}$  o número de empregados da classe de renda  $z$ , pertencente ao grupo sócio-econômico  $y$ . A desagregação é feita como:

$$E^{(z)} = E^{(y)} \cdot p^{(y \cdot z)} \quad (3.51)$$

Onde,  $p^{(y,z)}$  = coeficiente ou probabilidade de desagregação sócio-econômica em classe de renda.

De forma idêntica à primeira desagregação, obtêm-se o vetor  $E^{(yz)}$  através da multiplicação de  $E^{(y)}$  pela matriz  $p^{(yz)}$ . Ou então, a desagregação dos indivíduos em classes de renda pode ser feita diretamente, aplicando-se para isso, a relação:

$$E^{(z)} = E^{(y)} \cdot p^{(yz)} = E^{(x)} \cdot q^{(xy)} \cdot p^{(xz)} = E^{(x)} \cdot r^{(xz)} \quad (3.52)$$

Onde,  $r^{(xz)} = q^{(xy)} \cdot p^{(yz)}$

Uma interessante aplicação foi o modelo de Caracas - A disaggregated Model of a Metropolitan Area: Caracas - (1973). Nesse modelo, a desagregação de grupos sócio-econômicos em classes de renda foi feita através de uma formulação entrópica.

#### DESAGREGAÇÃO POR TIPO DE MORADIA

A tipologia habitacional de um empregado de um determinado setor de atividade vai depender essencialmente da sua renda. Contudo, não existe uma relação determinística entre

a classe de renda (renda baixa, média e alta) e a tipologia habitacional (ou padrão construtivo). Segundo NOVAES, A. G.<sup>41</sup> (1976), é comum estabelecer-se um sub-modelo, entrópico ou não, que permita determinar a probabilidade  $p^{(zh)}$  de um empregado, da classe de renda  $z$ , viver numa habitação do tipo  $h$ .

Uma formulação entrópica foi utilizada no modelo de Caracas num estudo de desagregação por tipo de habitação, considerando-se os níveis de renda dos indivíduos. Nas cidades brasileiras e em demais contextos urbanos do terceiro mundo, observa-se grandes variações nos níveis de renda sendo que, para a maioria da população urbana, a menos favorecida, a parcela referente à moradia pesa relativamente mais no orçamento familiar. Assim, uma descrição mais real desta realidade sócio-econômica pode ser obtida considerando-se a parcela do orçamento doméstico alocada à habitação. Assim, se  $\alpha^{(z)}$  for a parcela média gasta em moradia para família da classe de renda  $z$ , uma expressão do tipo abaixo pode ser usada para calcular a probabilidade  $p^{(zh)}$  de um empregado, da classe de renda  $z$ , viver numa habitação do tipo  $h$ .

$$p^{(zh)} = \frac{\exp \left[ -\lambda_1^{(h)} \alpha^{(z)} I^{(z)} \right]}{\sum_h \exp \left[ -\lambda_1^{(h)} \alpha^{(z)} I^{(z)} \right]} \quad (3.53)$$

Onde,  $I^{(z)}$  é a renda mensal média dos indivíduos da classe de renda  $z$  e os parâmetros  $\lambda_1^{(h)}$  ( $n=1,2,\dots$ ) são obtidos por calibração.

## TRANSPORTES

O deslocamento de pessoas no modelo de Lowry é considerado de forma indireta. Na distribuição espacial das atividades urbanas aparecem funções impedâncias\* que traduzem a resistência (ou fricção) do deslocamento, de forma implícita, uma vez que a única variável explicativa dessa resistência é a distância em linha reta entre pares de zonas origem-destino. Na prática, o processo de deslocamento de pessoas é complexo e depende de uma gama enorme de fatores além daqueles considerados por Lowry.

As atividades urbanas são o resultado de uma sequência lógica de um processo sócio-econômico que inicia com a divisão social do trabalho e a definição de papéis sociais para cada indivíduo dentro da sociedade. Cada indivíduo está alocado espacialmente no meio urbano através de sua moradia e tem necessidade de exercer uma série de atividades correspondentes ao seu papel social. O exercício dessas atividades demanda o uso específico de equipamentos urbanos. A causa básica do transporte urbano é a necessidade da população exercer uma sequência de atividades em equipamentos separados espacialmente, com a conseqüente necessidade de deslocamento.

Sendo o transporte físico de pessoas um elemento importante no processo de planejamento urbano pelas conseqüências imediatas provocadas no desenvolvimento do solo, no ambiente

---

(\*) Impedância é um termo proveniente da engenharia elétrica, que representa para corrente alternada, a generalização do conceito de resistência.

e nos usuários, torna-se necessária a incorporação de variáveis de decisão que permitam avaliar soluções alternativas e, depois, dimensioná-las (NOVAES, A.G.<sup>41</sup> (1976)).

Os tradicionais modelos de tráfego e de transportes, desenvolvidos especificamente para analisar soluções alternativas neste setor, são detalhados o suficiente para que possam absorver as variações da demanda e assim partir para comparações. Todavia, o planejamento de transportes conduzido a esse nível é falho, com relação a um grande número de impactos de ordem ambiental, de investimento, acessibilidade, etc. Portanto, a desagregação das variáveis e atividades ligadas aos transportes, surge da necessidade de analisar com maior clareza as implicações do desenvolvimento do solo e nas tendências da demanda de viagens de qualquer conjunto de políticas.

Uma parte importante da metodologia do planejamento de transportes é o processo de previsão de demanda de viagens. Esse processo consiste em quatro partes: análise de geração de viagens, análise de repartição modal, análise de distribuição de viagens, análise de alocação de tráfego. Esse processo supõe a existência de um relacionamento estável entre a demanda de transporte e o sistema urbano de atividades. Todavia, o sub-modelo desagregado de transportes é dividido, também, à maneira acima.

#### GERAÇÃO DE VIAGENS

O objetivo desta fase é desenvolver equações que permi

tam relacionar a procura por transportes a variáveis explicativas desta demanda. Nesse caso, deve-se relacionar o número de viagens geradas ou atraídas a atividades urbanas definidas na estrutura original do modelo Lowry.

De um modo formal\*:

$$G_i^{(f)} = a^{(f)} + \sum_n a^{(nf)} \cdot W_i^{(n)} \quad (3.54)$$

Onde,  $G_i^{(f)}$  = número de viagens geradas pelo indivíduos com opção  $f$  de transportes na zona  $i$ . (transporte coletivo ou individual)

$W_i^{(n)}$  = nível quantitativo da atividade  $n$  localizada na zona  $i$  (emprego básico, de serviço, atividade residencial, etc.)

$a^{(f)}$  e  $a^{(nf)}$  = constantes a calibrar pela técnica de regressão múltipla.

Sendo  $P_i$  a população da zona  $i$ , subdividida em duas parcelas  $P_i^{(2)}$  e  $P_i^{(1)}$ , correspondendo aos possuidores e não possuidores de transporte individual respectivamente, a relação acima (3.54) pode ser relacionada para origens e destinos:

a. viagens originadas em cada zona:

$$O_i^{(1)} = a_o^{(1)} + a_o^{(b1)} E_i^{(b)} + a_o^{(s1)} E_i^s + a_o^{(p1)} \cdot P_i^{(1)} \quad (3.55)$$

Onde  $O_i^{(1)}$  = viagens originadas na zona  $i$  para indivíduos que não possuem meio de transporte individual). Neste caso,  $f=1$ .

---

(\*) A formulação acima, bem como as demais do sub-modelo de transportes, foram derivadas do capítulo 8 da ref.41.

- $E_i^{(b)}$  = número de empregos básicos existentes na zona  $i$   
 $E_i^{(s)}$  = número de empregos de serviços existentes na zona  $i$ .  
 $P_i^{(1)}$  = população na zona  $i$  que não dispõe de transporte individual  
 $a_o^{(1)}, a_o^{(b1)}, a_o^{(s1)}, a_o^{(p1)}$  = coeficientes a calibrar por meio da regressão múltipla.

Para os possuidores de transporte individual ( $f=2$ ) tem-se por meio análogo:

$$O_i^{(2)} = a_o^{(2)} + a_o^{(b2)} E_i^{(b)} + a_o^{(s2)} E_i^{(s)} + a_o^{(p2)} P_i^{(2)} \quad (3.55)$$

b. viagens destinadas a cada zona:

$$D_j = a_D + a_D^{(b)} E_j^{(b)} + a_D^{(s)} E_j^{(s)} + a_D^{(p)} P_j$$

Onde:  $D_j$  = viagens destinadas à zona  $j$ .

$E_j^{(b)}$  e  $E_j^{(s)}$  = emprego básico e não básicos, respectivamente.

$P_j$  = população da zona  $j$ .

$a_D, a_D^{(b)}, a_D^{(s)}$  e  $a_D^{(p)}$  = coeficiente a calibrar por meio de regressão múltipla.

Sendo assim, o número total de viagens produzidas num período deve ser igual ao número de viagens atraídas, ou seja:

$$\sum_i \left[ O_i^{(1)} + O_i^{(2)} \right] = \sum_j D_j. \quad (3.56)$$

## DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS E DIVISÃO MODAL

Nos modelos tradicionais de transporte, é comum proceder-se primeiro a distribuição de viagens para, depois, efetuar-se a repartição modal. Contudo, pode-se realizar a divisão modal conjuntamente com a distribuição. Sendo assim, é possível relacionar as origens com os destinos, determinando o número de viagens entre um par de zonas  $i, j$ . Formalmente, tem-se:

$$T_{ij}^{(kf)} = O_i^{(f)} D_j \exp \left[ -\beta^{(f)} C_{ij}^{(k)} \right] A_i^{(f)} B_j \quad (3.57)$$

Onde,  $T_{ij}^{(kf)}$  = viagens entre zonas  $i$  e  $j$ , utilizando o modo de transporte  $k$ , para indivíduos com opção  $f$  de transporte ( $f = 1, 2$ ).

$O_i^f$  = viagens originadas na zona  $i$ , para nível de opção de transporte  $f$ .

$D_j$  = viagens destinadas à zona  $j$ .

$C_{ij}^{(k)}$  = custo generalizado de transporte, para modo de transporte  $k$  entre  $i$  e  $j$ .

$\beta^{(f)}$  = parâmetro a ser calibrado, que depende do tipo de indivíduo classificado segundo a opção  $f$  de transporte.

$A_i^{(f)}$  = fator de normalização da relação (3.57) que garante a igualdade entre a soma das viagens  $T_{ij}^{(k1)}$  originadas na zona  $i$  e o total de viagens  $O_i^{(f)}$  produzidas por aquela zona:

$$A_i^{(f)} = \left[ \sum_j \sum_{k \in f} D_j B_i \exp \left( -\beta^{(f)} C_{ij}^{(k)} \right) \right]^{-1} \quad (3.58)$$

$B_j$  = fator de normalização da relação (3.58) que garante a igualdade entre a soma de viagens  $T_{ij}^{(kf)}$  destinadas à zona  $i$  e o total de viagens  $D_j$  atraídas por aquela zona:

$$B_j = \left[ \sum_i \sum_j \sum_{k \in f} O_i^{(f)} A_i^{(f)} \exp(-\beta^{(f)} \cdot C_{ij}^{(k)}) \right]^{-1} \quad (3.59)$$

A indicação  $k \in f$  que aparece em (3.59) e (3.58) sob as somatórias significa que a expressão se aplica apenas para os modos disponíveis para a população com opção tipo  $f$ . Com a utilização dos fatores de normalização descritos acima, as seguintes relações têm validade:

$$\sum_j \sum_{k \in f} T_{ij}^{(kf)} = O_i^{(f)} \quad (3.60)$$

e

$$\sum_i \sum_f \sum_{k \in f} T_{ij}^{(kf)} = D_j \quad (3.61)$$

#### ALOCAÇÃO DE VIAGENS

Esta fase consiste em desagregar as viagens  $T_{ij}^{(kf)}$  segundo as novas alternativas que ligam as zonas  $i$  e  $j$ . Existem várias técnicas de alocação de viagens à rede de transportes. Contudo, uma formulação utilizada em aplicação mais recente, considera a capacidade das novas alternativas e as impedâncias efetuando a alocação de forma probabilística. Formalmente a alocação das viagens  $T_{ij}^{(kf)}$  às rotas alternativas ( $r = 1, 2, \dots$ ) pode ser de acordo com a relação abaixo:

$$T_{ij}^{(rkf)} = T_{ij}^{(kf)} \cdot Q_{ij}^{(kr)} \cdot A_{ij}^k \exp \left[ -\beta^{(k)} C_{ij}^{(kr)} \right] \quad (3.62)$$

Onde,  $T_{ij}^{(rkf)}$  = número de viagens alocadas à rota  $r$ , ligando as zonas  $i$  e  $j$ , para indivíduos com opção  $f$ , utilizando o modo de transporte  $k$ ;

$Q_{ij}^{(kr)}$  = capacidade da rota  $r$ , ligando as zonas  $i$  e  $j$ , modo  $k$ ;

$C_{ij}^{(kr)}$  = custo generalizado de transporte entre as zonas  $i$  e  $j$ , para o modo  $k$ , rota  $r$ ;

$k_{\beta}$  = coeficiente obtido por calibração, variando para cada  $k$ ;

$A_{ij}^{(k)}$  = fator de normalização, dado por:

$$A_{ij}^{(k)} = \left[ \sum_r Q_{ij}^{(kr)} \exp(-\beta^{(k)} C_{ij}^{(kr)}) \right]^{-1} \quad (3.63)$$

O fator de normalização acima garante que a soma dos fluxos desagregados por rota entre  $i$  e  $j$  seja igual ao fluxo total:

$$T_{ij}^{(kf)} = \sum_r T_{ij}^{(rkf)} \quad (3.64)$$

Uma vez alocados os fluxos de pessoas às redes modais, os procedimentos posteriores são análogos aos usados na metodologia clássica.

#### DESAGREGAÇÃO TEMPORAL

O modelo de Lowry representa uma estrutura urbana de forma "instantânea". Os estados futuros previstos pelo modelo de Lowry devem ser considerados como condições de quase equilíbrio, já que não refletem o desenvolvimento histórico do sistema urbano em estudo. Contudo, o processo de assenta-

mento e uso do solo, correlacionado ao sistema de transportes, incorpora características dinâmicas\* ao longo do tempo. Deste modo, a desagregação temporal do modelo de Lowry pode representar melhor essa característica dinâmica do processo de evolução urbana.

Os impactos ambientais causados pelo sistema de transportes no uso do solo e assentamento urbanos, se processam com uma certa defasagem no tempo. Assim, a localização espacial das atividades urbanas em uma data de referência  $t_k$ , está relacionada às características do sistema de transportes observadas no período  $t_{k-1}$ . A operacionalidade de um modelo, com esta característica, reflete as defasagens existentes na realocação de atividades e ligações entre as mesmas. Isto permite que um modelo calibrado para dados de ano-base possa ser usado na estimativa dos estados em "Cross-Section" de um sistema urbano em períodos intermediários.

---

(\*) Um estudo interessante sobre modelagem urbana, tratando as cidades como sistemas dinâmicos foi feito por BATTY, M. (1971) - Ver Bibliografia.

## CAPÍTULO IV

### SOLUÇÃO MATRICIAL DE GARIN

#### 4.1 - ENFOQUE TEÓRICO

No modelo original de Lowry, uma distribuição conjunta estável de população e emprego que satisfaça restrições, é obtida por meio de um procedimento iterativo. A versão de GARIN, R.A.<sup>26</sup> (1966) do modelo de Lowry evita a necessidade de uma solução iterativa e permite que a distribuição conjunta de população e emprego seja calculada diretamente, além de permitir analisar com maior clareza as características e propriedades do modelo original.

Para a distribuição do emprego básico, o modelo primeiro aloca estes empregos básicos nas zonas residenciais usando um modelo de interação espacial. A população associada com estes empregados é encontrada aplicando uma taxa de atividade. Esta população demanda por serviços feitos por empregados do setor não-básico e esta demanda é encontrada aplicando a relação população-serviços.

Os empregados do setor não-básico são então localizados em centros de serviços usando outro modelo de interação espacial. Por sua vez, estes empregados do setor não-básico moram em áreas residenciais e requerem serviços. Todos os

incrementos de população e emprego não-básico são derivados e alocados. É evidente que este processo convergirá para um limite no qual incrementos de população e emprego são pequenos bastante para se ignorar (esta extensão está ilustrada na fig. 10 que mostra o fluxograma do método de solução para este modelo). Portanto, a solução final é obtida através de um método iterativo, convergente, que representa as relações causais entre as principais atividades existentes no sistema urbano. Contudo, é um modelo estático, representando também, em "cross section", a evolução de um determinado sistema urbano num certo momento de sua evolução.

ROGERS, A.<sup>44</sup>(1966) formalizou uma extensão à versão de Garin que permite considerar o fator tempo para projeções de emprego e assentamento residencial, ou seja, uma vez conhecida a matriz G de expansão do emprego básico, é possível determinar, através da relação abaixo, a matriz teórica de crescimento populacional.

$$S = Q^{-1} G \cdot Q \quad (4.1)$$

Onde, Q é uma matriz definida por:

$$Q = (I - ABCD)^{-1} AB, \text{ e onde cada variável}$$

é explicada e formalizada mais adiante.

Outra dificuldade da utilização do modelo Garin - Lowry é que os níveis e distribuições do emprego em serviços podem ser apenas de um tipo e dependentes de uma função mais ampla do tempo de viagem do domicílio para o serviço. Isto vai de

encontro a proposta do modelo original de Lowry, que permite um grande número de tipos de emprego em serviços cujas distribuições espaciais são dependentes das diferentes funções de fator tempo de viagem do domicílio para o serviço. Contudo, Garin estendeu sua formulação inicial ao caso em que parte dos empregos não-básicos são gerados por outros empregos. A formulação abaixo foi tirada de NOVAES, A.G.<sup>41</sup> (1981) e recicla da sua notação para melhor integrar-se a este trabalho:

Foi admitido inicialmente uma matriz de distribuição dos empregos de serviços gerados na zona  $j$  pelos empregos existentes na zona  $i$ :

$$\zeta_{es} = \begin{vmatrix} \zeta_{11}^{es} & \zeta_{12}^{es} & \dots & \zeta_{1n}^{es} \\ \zeta_{21}^{es} & \zeta_{22}^{es} & \dots & \zeta_{2n}^{es} \\ \vdots & & & \\ \zeta_{n1}^{es} & & & \zeta_{nn}^{es} \end{vmatrix} \quad (4.2)$$

Os empregos não-básicos foram expressos em função das relações e dos demais empregos através da relação abaixo:

$$S(z) = P(z-1) \cdot a \cdot \zeta^S + S(z-1) \cdot d \cdot \zeta^{eS} \quad (4.3)$$

Onde  $a$  é um multiplicador;

$\zeta^S$  é a matriz de distribuição espacial de empregos não básicos;

$d$  é a matriz diagonal que fornece os índices de proporcionalidade de emprego não-básico/empregos:

$$d = \begin{vmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & & \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & & & d_n \end{vmatrix} \quad (4.4)$$

Tomou-se  $M = d \zeta^{es}$  e efetuando as substituições e operações necessárias para se chegar às relações abaixo:

$$S^{(z)} = W (ABCD + M)^z \quad (4.5)$$

$$P^{(z)} = W (ABCD+M)^z \cdot AB \quad (4.6)$$

no limite obteve-se:

$$S = W (I - (ABCD+M))^{-1} \quad (4.7)$$

$$P = W (I - (ABCD+M))^{-1} AB \quad (4.8)$$

Deve-se ter  $f_i \cdot a_i + d_i < 1$  para qualquer  $i=(1,2,\dots,n)$  para que a série geométrica de matrizes seja convergente. Informações sobre demais variáveis serão fornecidas mais adiante como parte da formulação do modelo de Garin-Lowry.

Outra desvantagem na formulação matricial do modelo de Lowry é que o mesmo não incorpora as restrições de limites máximos de densidade residencial e de número mínimo de emprego em comércio e serviços. A versão proposta por Garin admite implicitamente uma solução sem restrições. Diversos métodos para incorporar tais restrições tem sido desenvolvidos e servidos na construção de modelos operacionais principalmente na Inglaterra.

O modelo assumiu, também, que todas as viagens cujo destino são compras ou serviços, tem sua origem em casa, em ou-

tras palavras, uma população  $P_i$  que se localiza na zona  $i$  necessita de  $p_i \times \beta_i$  empregos de serviços, e estes se localizam em todas as zonas  $j$ .  $|\beta|$  sendo a matriz diagonal da taxa de serviços para população.

O modelo de Alocação de Atividades (Activity Allocation Model) é uma versão do modelo de Garin que incorpora restrições. A sequência de ordenação nesse modelo está apresentada na fig. 11 no capítulo VIII. Há, contudo, três importantes diferenciações entre este modelo e o de Lowry. Primeiro, este modelo usa modelos de interações de um tipo gravitacional para distribuir atividades, em contraposição às funções potenciais usadas por Lowry. Isto significa que viagens entre casa e trabalho e entre casa e centro de serviços são explicitamente calculadas. Além destas vantagens óbvias, significa que métodos de calibração usados em estudos de distribuição de viagens podem ser empregados. Segundo, o método de consistência seguro entre as distribuições de entrada e saída usados por Lowry não está incluído na estrutura matemática deste modelo. Terceiro, há maior ênfase nas atividades que no uso do solo. Embora o modelo considere o uso do solo através de densidade máxima da população não há prioridade para áreas alocadas do emprego em serviço como no modelo de Lowry.

Uma característica marcante do trabalho de Garin é aquela que envolve demonstração das propriedades de convergência do modelo de Lowry. Ao mesmo tempo, HARRIS, B. em um importante trabalho, comparando as características de equilíbrio procurado para os modelos urbanos, formulou, também o

modelo de Lowry em termos matriciais, revelando a natureza simultânea da estrutura do modelo. Diversas pesquisas têm favorecido a formulação matricial deste modelo (ECHERNIQUE, CROWTHER And Lindsay, 1969, GOLDNER, Strabal and Songo, 1971) e este modelo matricial já tem formulado as bases de um eficiente programa de uso operacional (BATTY, 1969).

O modelo Stocks-Activities é baseado em uma modificação do modelo de Garin e desenvolvido por uma equipe do Centre For Land Use And Built Form da University of Cambridge.

Ao contrário do modelo de localização de atividades, este modelo é designado para operar a nível urbano. Neste caso, o modelo de Garin foi ampliado em duas formas: primeiro, um submodelo é usado para alocar reservas em termos de área disponível para zonas, e se supõe que o modelo simula, de forma aproximada, a oferta de solo do mercado urbano. Segundo, o modelo usa esses estoques de espaço disponível como restrições na demanda por espaço, por diferentes atividades. Quando as atividades iniciam o processo de ocupação de uma área, a quantidade de espaço é reduzida e qualquer excesso de atividades é redistribuído para outras áreas. A quantidade de espaço disponível é usada como medida de atração em cada iteração do modelo e, portanto, medida de atração locacional.

Esse modelo é mais eficaz do que alguns dos modelos apresentados no decorrer deste trabalho. Ele diferencia-se do modelo de Lowry e do modelo de alocação de atividades para as respostas do modelo: são completamente distintas das entradas. Neste aspecto, um procedimento tal como usado por Lowry para obter consistência entre entrada e saída

não é requerida. Unicamente o sólo disponível é usado para indicar o processo de geração de medidas de atração locacional. Dessa forma, a circularidade proposta e exposta na estrutura dos modelos de Lowry e de alocação de atividades, é deixada de lado através das medidas de atração locacional. Os resultados deste modelo (ver fig. 12) foram transformados em índices, avaliando o desempenho relativo de certos aspectos na estrutura urbana, baseados principalmente sobre conceitos de acessibilidade. E tais índices têm sido manipulados para fornecer um guia de avaliação dos méritos relativos de diferentes formas urbanas.

Modelos tem sido desenvolvidos com base em ambos os modelos de alocação de atividades e modelos Stock-Activities. Em geral, o primeiro tem sido usado na escala sub-regional-metropolitana enquanto que o modelo Stocks-Activities tem sua aplicação na escala da cidade.

#### 4.2 - VERSÃO DE GARIN DO MODELO LOWRY

Para fixar a estrutura do modelo original de Lowry, o sistema de equações gerais usado será resumido. Primeiro, emprego total (E) é derivado do emprego básico (W) usando a relação da base econômica:

$$E = W(1 - \alpha \sum_k \beta^k)^{-1} \quad (4.9)$$

A população (P) é calculada a partir do emprego total como segue:

$$P = \alpha E \quad (4.10)$$

onde  $\alpha$  é uma taxa de atividade definida como  $P/E$ , e  $\beta^k$  é a razão de população servida definida como  $S^k/P$  onde  $S^k$  é o emprego não-básico na categoria  $k$ . A população é alocada em cada zona usando um modelo potencial da forma seguinte:

$$P_j = P \frac{\sum_i E_i f^1(C_{ij})}{\sum_i \sum_j E_i f^1(C_{ij})} \quad (4.11)$$

onde  $f^1(C_{ij})$  é uma função de custo generalizado de viagem; os outros termos foram definidos anteriormente. O emprego não-básico em cada categoria  $k$  é derivado agora da população total:

$$S^k = \beta^k \cdot P \quad (4.12)$$

Um modelo, de forma similar ao modelo de alocação residencial determinado para (4.11) é usado para localizar o emprego não-básico em cada zona:

$$S_i^k = \frac{S^k \left[ \sum_j g^k P_j f^2(C_{ij}) + q^k E_i \right]}{\left[ \sum_i \sum_j g^k P_j f^2(C_{ij}) + q^k E_i \right]} \quad (4.13)$$

Onde  $S_i^k$  é emprego em serviço na categoria  $k$  alocado na zona  $i$ , e  $g^k$  e  $q^k$  são pesos determinados empiricamente.  $f^2(C_{ij})$  é outra função de custo generalizado de viagem.

A estrutura do modelo de Lowry formalizado acima pode ser expressa em termos do seguinte sistema de equações:

$$p = eAB \quad (4.14)$$

$$s^k = pCD \quad (4.15)$$

$$e = \bar{w} \bar{s}^k \quad (4.16)$$

onde  $p$  = um vetor linha da população ou domicílio.

- $e$  = um vetor linha do emprego total em cada zona;  
 $s^k$  = um vetor linha do emprego que atende à população em cada zona;  
 $s$  = um vetor linha do emprego básico em cada zona;  
 $AB$  = uma matriz  $n \times n$  das acessibilidades do domicílio ao trabalho  
 $CD$  = uma matriz  $n \times n$  das acessibilidades do domicílio ao centro de serviços.

A matriz acessibilidade  $AB$  pode ser formalmente expandida em uma matriz  $A$ , quadrada  $n \times n$  das probabilidades de um empregado trabalhar em  $i$  e viver em  $j$ . Formalmente:

$$\alpha_{ij} = \frac{P_j f^1(C_{ij})}{\sum_j P_j f^1(C_{ij})} \quad (4.17)$$

$$0 \leq \alpha_{ij} \leq 1, \sum_j \alpha_{ij} = 1$$

E ainda numa matriz  $B$ , diagonal  $n \times n$  dos inversos das taxas de participação do trabalho, expressas como habitantes por empregado ou domicílio por empregado.

A matriz de acessibilidade  $CD$  pode ser também formalmente expandida em uma matriz  $C$ , diagonal  $n \times n$  das razões entre emprego que atende a população e população. E ainda uma matriz  $D$ , quadrada  $n \times n$  das probabilidades de que os habitantes de  $j$  serão servidos pelo emprego que atende à população em  $i$ . Formalmente:

$$\delta_{ij} = \frac{S_{ij} f^2(C_{ij})}{\sum_j S_j f^2(C_{ij})}, \quad (4.18)$$

$$0 \leq \delta \leq 1, \quad \sum_j \delta_{ij} = 1$$

Usando a notação matricial exposta acima, a seguinte sequência de equações vista acima pode ser reescrita:

$$p^W = wAB \quad (4.19)$$

$$S^{k(1)} = p^W CD = W(AB CD) \quad (4.20)$$

A relação (4.20) fornece o emprego que atende a população suficiente para atender aos domicílios sustentados pelo emprego básico, e o (1) indica que este é o incremento inicial do emprego em serviços.

$$p^{S(1)} = S^{k(1)} AB = W(AB CD)AB \quad (4.21)$$

$$S^{k(2)} = p^{S(1)} B = S^{k(1)} (AB) = W(ABCD) (ABCD) = W(ABCD)^2$$

E sucessivas iterações produzirão o emprego adicional e a população na z-ésima iteração de:

$$S^{k(z)} = W(ABCD)^z \quad (4.22)$$

$$p^{S(z)} = W(ABCD)^z AB \quad (4.23)$$

os vetores  $1 \times n$  do emprego total e população total podem ser encontrados deixando  $x \rightarrow \infty$  e somando-se as séries apropriadas de incrementos:

$$\begin{aligned} e &= W + S^{k(1)} + \dots + S^{k(z)} + \dots \\ &= W \left[ I + ABCD + (ABCD)^2 + \dots + (ABCD)^z + \dots \right] \quad (4.24) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= p^W + p^{S(1)} + \dots + p^{S(z)} + \dots \\ &= W \left[ I + ABCD + (ABCD)^2 + \dots + (ABCD)^z + \dots \right] AB \quad (4.25) \end{aligned}$$

As equações (4.24) e (4.25) representam a forma expandida do modelo Garin-Lowry. Observe que como  $W = e(1)$  por uma de finição prévia,

$$e = W \sum_{z=0}^{\infty} (ABCD)^z \quad (4.26)$$

$$p = W \sum_{z=0}^{\infty} (ABCD)^z AB \quad (4.27)$$

onde  $(ABCD)^0 = I$ . Tem sido mostrada por Garin que, sob certas condições relacionadas à matriz produto ABCD, as séries matriciais convergirão para a inversa da matriz  $(I - ABCD)$ , que conduzirá às seguintes expressões:

$$e = w(I - ABCD)^{-1} \quad (4.28)$$

$$p = w(I - ABCD)^{-1}AB \quad (4.29)$$

onde I é uma matriz identidade.

A condição relativa à matriz produto ABCD é que  $(ABCD)^z \rightarrow 0$  quando  $z \rightarrow \infty$ , o que ocorrerá se a soma dos elementos de cada linha de ABCD forem menores do que a unidade. Se isso não for observado, então uma quantidade infinita de empregos que atendem a população seria gerada por uma quantidade finita de empregos-básicos, fato não observado empiricamente.

#### 4.3 - MODIFICAÇÕES DO MODELO GARIN-LOWRY

Na versão de Garin do modelo de Lowry, os problemas de restrições locacionais foram enfrentados de duas maneiras. O primeiro método, apresentado formalmente mais adiante, é baseado no trabalho de WILSON, A.G. (1969) sobre modelos de localização residencial no qual mostra que é possível manipular restrições locacionais de uma forma consistente com o modelo gravitacional. Uma vez que o modelo Garin-Lowry usa pro

babilidades de modelos de interação espacial, é conveniente, segundo BATTY, M.<sup>1</sup>(1971) usar um método compatível com estes modelos. Para restrições locacionais em uso residencial, o método é definido da seguinte forma: define-se uma matriz  $A(m)$  onde  $m$  é um índice relacionado com o valor de  $A$  em uma iteração qualquer;  $A(m)$  é uma matriz de distribuição de probabilidade, com a mesma característica de  $A$ , formulada no modelo Garin-Lowry. Então:

$$a_{ij}(m) = \frac{B_j(m) P_j f^1(C_{ij})}{\sum_j B_j(m) P_j f^1(C_{ij})} \quad (4.30)$$

$B_j(m)$  pode ser considerado como uma ponderação em  $P_j$  e a aplicação de restrições locacionais no modelo é efetuado através de um processo que considera na primeira iteração ( $m=1$ ),  $B_j(1)=1$  para todo  $j$ ; em outras palavras, o modelo é neste instante, locacionalmente sem restrições:

$$p(m) = w \left[ I - A(m) BCD \right]^{-1} A(m)B. \quad (4.31)$$

Neste nível, a população estimada deve ser testada com relação a violação da capacidade de  $z_j$ . Se

$$P_j(m) > Z_j \quad (4.32)$$

Então:

$$B_j(m+1) = B_j(m) Z_j/P_j(m) \quad (4.33)$$

$B_j(m+1)$  é substituído na equação 4.30 e surge uma nova matriz  $A(m+1)$ . Essa matriz é então substituída por  $A(m)$  na equação (4.31) e equações (4.30) a (4.33) são retomadas até:

$$P_j(m) \leq z_j \quad (4.34)$$

Na verdade, uma iteração externa foi incorporada ao modelo para examinar as restrições em cada iteração interna, ou seja, uma vez violadas as restrições, valores são aplicados para probabilidades de interação, de modo que se obtenha uma convergência neste procedimento. Várias considerações podem ser feitas a respeito deste modelo\* (Ver fig. 13). Ele pode ser estendido para o cálculo de outras restrições como, por exemplo, índices mínimos para atividades de comércio e serviços. Mesmo assim, nem todos os estudos incorporam restrições locais, fato que leva alguns fatores de  $B_j$  definidos anteriormente a terem valores iguais a 1. E ainda, as restrições de uso do solo podem ser concebidas no processo de modelagem como igualdades ou desigualdades, dependendo do objetivo do estudo urbano.

Este método é equivalente ao modelo de Wilson, A. (1970): uma nova versão do modelo de gravidade baseado no conceito de entropia, transformou as bases de uma estrutura geral para modelos de interação espacial. O modelo é baseado sob a mais provável distribuição de movimentos de pessoas sujeitas a algumas restrições. Esta metodologia foi demonstrada por BATTY, M. relacionada com o modelo de distribuição de tráfego convencional.

Wilson tem demonstrado que o número de situações associadas com alguma distribuição de um tipo qualquer pode ser interpretado como a entropia de um sistema e que tais modelos podem ser derivados usando diferentes formas de um pro-

---

(\*) BATTY, M.<sup>1</sup> (1971). Refere-se a este modelo como modificação I.

blema. A mais importante contribuição deste método é, portanto, o envolvimento de equações de restrições. Em termos de modelagem de uso do solo, tais equações significam o número de informações conhecidas do sistema. Em termos de uso residencial, o modelo determina a localização residencial da população trabalhadora, dadas informações a respeito de localização do trabalho, custo de viagens, atração local das áreas residenciais, etc.

A metodologia proposta por Wilson e reforçada por CORDEY-HAYES, M. (1971) criaram as bases para uma família de modelos de interação espacial. Uma vez que a aplicação se restringia ao campo de transportes, Wilson estendeu o método em duas direções, essenciais na modelística de uso do solo:

- 1 - Investigação de modelos de interação em profundidade: modelos desagregados em grupos sócio-econômicos foram concebidos com bases teóricas em economia urbana;
- 2 - Investigação da estrutura ampla dentro da qual modelos de interações podem ser ajustados: o uso da metodologia da máxima entropia para derivar modelos que são consistentes dentro de algumas estruturas globais.

A metodologia acima é ideal para o desenvolvimento de sub-modelos em uma estrutura global, fato presente em alguns modelos de uso do solo estudados nessa pesquisa.

Um segundo método, referido por BATTY, considerado como modificação II do modelo de Garin-Lowry, difere da pri-

meira modificação com relação ao processo de incorporação de restrições locacionais. Para visualizar este método (Ver Fig. 14) con-  
vem retomar a formalização de Garin-Lowry, em sua estrutura mais ampla, conforme feito no início deste capítulo. Sendo assim, os incrementos de emprego não-básico e população gerados do emprego básico são calculados explicitamente. Quando cada incremento de atividade é produzido, ele é adicionado para a atividade total em cada área obtida até agora, e essa quantidade é examinada com relação à restrição imposta. Em outras palavras: se a locação residencial viola a restrição de densidade, a população excedente (não alocada) é reconvertida em emprego, devolvida para seu local de trabalho através de um outro modelo de interação, e redistribuída junto com o próximo incremento. Uma vez distribuídos os incrementos, serão excluídas do processo todas as áreas que alcançaram sua capacidade.

#### 4.4 - POSSÍVEIS PESQUISAS

A modelística de uso do solo fez surgir diversos problemas passíveis de mais estudos e pesquisas. Segundo BAITTY, M. esses problemas podem ser discriminados e organizados em quatro categorias:

- Problemas relacionados com bases teóricas dos modelos;

- 2 - Problemas relacionados com a formulação;
- 3 - Dificuldades em medir e estimar os valores de certas variáveis;
- 4 - Problemas surgidos fora da aplicação prática dos modelos;

O mais importante problema teórico dos modelos de uso do solo tipo Lowry diz respeito a condição de equilíbrio estático em que se encontram tais modelos. Uma suposição fundamental nesses modelos é que a distribuição espacial de atividades no ano-horizonte atinja uma condição de equilíbrio e que não existem defasagens na realocação de atividades dentro da área em estudo. Esta condição de equilíbrio no modelo Lowry é determinada pelas acessibilidades entre atividades.

Lowry, I.S. (1965) aborda este problema da forma seguinte: ele argumenta que modelos em equilíbrio estático podem ser usados para projeções condicionais, ou seja, não existe tempo especificado no equilíbrio que se faz emergir. Modelos desse tipo são úteis, portanto, para análises de impactos.

Com relação a formulação técnica dos modelos tipo Lowry existem dois problemas que merecem destaque. O primeiro, sempre tratado de forma abstrata, diz respeito a relação entre diferentes setores de atividades inseridas na estrutura do modelo. Como já exposto antes, a suposição fundamental nesses modelos é que a população e emprego não-básico são dependentes do emprego básico, e que este independe de outras atividades do sistema urbano-regional. No entanto, as ativida-

des geradas pelo emprego básico podem, também, influenciar a locação dessa atividade . No modelo original de Lowry, a relação (emprego básico x emprego não-básico) foi levada em consideração indiretamente para assegurar consistência entre variáveis de entrada e saída, mas nas variações tipo Lowry este procedimento não foi levado em conta. Já o segundo problema técnico envolve os procedimentos usados para satisfazer as restrições locacionais. No modelo original de Lowry e na modificação II do modelo Garin-Lowry, o método de aplicação de restrições locacionais é extremamente artificial e não inserido em uma teoria de locação de modelos. No entanto, o método torna-se eficiente quando operado rapidamente. Ao contrário deste, o procedimento usado na modificação I é mais completo e mais consistente com modelos de interação espacial . Contudo, a convergência é muito vagarosa, o que torna sua aplicação dificultada pelo método de calibração. Para contornar esse problema, o método pode ser acelerado antecipando valores de certas variáveis com base em experiência anteriores ou obter aproximações para as unidades locacionais usando métodos analíticos.

Dificuldades em medição e estimação dizem respeito a definições de variáveis e parâmetros do modelo. Dividir os sistemas espaciais em emprego básico e não-básico é individualizar as atividades sócio-econômicas das estruturas urbanas . Convém, portanto, alterar a estrutura teórica do modelo atra

vês de métodos coerentes. Neste sentido, ver o trabalho de ULLMAN, E.L. e DACEY, M.F. (1962) sobre economia urbana. Outro problema envolve a medida de atração locacional nos modelos de interação espacial. Em diversos modelos expostos neste estudo, o valor previsto de uma variável tem sido usado como uma medida de atração locacional. O uso de uma variável com esta característica não afeta os valores do parâmetro. Mesmo assim, tais variáveis só devem ser usadas para medir as atrações locacionais. Muitas das variáveis usadas como medidas de atração locacional são correlatas e, portanto, significam pouco no processo de escolha. O procedimento usado por Lowry para assegurar consistência entre entrada e saída de variáveis pode ser usado para resolver este impasse.

Alguns problemas de calibração de modelos já foram abordados no decorrer desta pesquisa. No entanto, convém expor as dificuldades envolvidas na calibragem\* de modelos com dois ou mais parâmetros. Torna-se necessário desenvolver pesquisa com a finalidade de derivar métodos de calibração mais eficientes e mais rápidos, sem perda de precisão. Além disso, melhores testes estatísticos são requeridos de modo que o modelador possa definir uma única série dos melhores valores para os parâmetros. Tradicionalmente os métodos de calibração envolvem os parâmetros fora da estrutura do modelo pela aproximação gráfica ou numérica para examinar os dados. Tal metodologia é insuficiente uma vez que ignora as interdepen-

---

(\*) Mais uma vez entende-se por calibração o processo de estimar os parâmetros presentes no modelo.

cias entre os valores dos parâmetros dos modelos. Contudo, ainda é viável o uso de método numérico sistêmico em que diferentes combinações de valores de parâmetros são testados.

Grande parte dos modelos revistos neste trabalho tem sido calibrados por uma seleção de possíveis valores para cada parâmetro e pelo teste de todas as combinações de valores desta série, para um melhor ajuste. Por outro lado, o tempo de computação cresce com o número de parâmetros, ou seja, onde há  $x$ -valores para cada parâmetro e  $y$ -parâmetros, o modelo deve ser executado  $x^y$  vezes.

Para modelos operacionais na escala sub-regional (modelo cuja estrutura se baseia na modificação I), o método exposto acima é inviável. Contudo, procedimentos alternativos foram propostos para contornar o problema. Através de um método iterativo, aproximações para os valores dos parâmetros são obtidas para cada modelo sem restrição na locação residencial. Em seguida, as restrições são aplicadas e parâmetros alternados e fixados depois quando de um melhor ajuste.

A escolha do teste estatístico para medir o ajuste desses modelos para situação real é tão confuso quanto a escolha do método de calibração (BATTY, M<sup>l</sup>.(1971)). Na escala sub-regional, dados estatísticos tais como coeficiente de determinação ( $R^2$ ) são insensíveis as variações dos valores dos parâmetros quando aplicados às distribuições de atividades previstas e observadas. Muitos dos modelos sub-regionais citados no decorrer deste trabalho tem sido calibrados contra erros estatísticos, muito embora a única vantagem para uma comparação objetiva do desempenho de cada modelo tem sido os  $R^2$

de população e emprego.

Em contraste com os modelos sub-regionais, a calibragem dos modelos baseados na modificação II (escala urbana) tem sido mais difícil por causa de um grande número de parâmetros usados. Os valores dos parâmetros tem sido estimados fora dos modelos por aproximações gráficas (para as curvas de distribuição de erros) e por estimação de métodos numéricos.

O mesmo teste estatístico usado nos modelos sub-regionais tem sido usado na escala urbana. O  $R^2$  descrito acima é uma medida objetiva para assegurar a qualidade destes modelos, uma vez que as distribuições de população e emprego são mais sensíveis a variações nos valores dos parâmetros. No entanto, a qualidade desses modelos é inferior aos sub-regionais. Isso se deve a vários fatores, entre os quais, o fato que a nível urbano o mercado do solo é mais complexo do que a nível regional.

O desempenho desses modelos tipo Lowry, de um modo geral, é favorável à análises estatística. No entanto, tais testes refletem muito mais um bom ajuste a nível de construção do que uma avaliação fundamental da estrutura do modelo.

## APÊNDICE

### EXEMPLO NUMÉRICO

Com o objetivo de entender a metodologia desenvolvida por GARIN, será mostrado abaixo um exemplo numérico\*.

Uma cidade é dividida em quatro zonas, sendo dado o vetor de empregos básicos num determinado instante de tempo  $t$ :

$$e^b = [100, 140, 60, 200] \quad (4.35)$$

A função jornada para casa é a seguinte:

$$[a'_{ij}] = \begin{bmatrix} 0,20 & 0,35 & 0,30 & 0,15 \\ 0,15 & 0,10 & 0,35 & 0,40 \\ 0,10 & 0,25 & 0,20 & 0,45 \\ 0,20 & 0,20 & 0,35 & 0,25 \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

A função jornada para compras é a seguinte:

$$[b'_{ij}] = \begin{bmatrix} 0,15 & 0,10 & 0,25 & 0,50 \\ 0,10 & 0,15 & 0,45 & 0,30 \\ 0,20 & 0,35 & 0,25 & 0,20 \\ 0,25 & 0,20 & 0,40 & 0,15 \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

---

(\*) Ver em anexo, um programa em Fortran deste exemplo.

A taxa de participação do trabalho (domicílios/empregado) é dada pela matriz diagonal\* abaixo:

$$[a_j] = \begin{bmatrix} 0,85 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,95 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,80 \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

A matriz que exprime as relações emprego em serviço/domicílio é dada por:

$$[b_i] = \begin{bmatrix} 0,20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,33 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,55 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,25 \end{bmatrix} \quad (4.39)$$

Dessa forma, a matriz de acessibilidade  $A$  pode ser calculada da seguinte forma:

$$A = [a'_{ij}] [a_j] \quad (4.40)$$

$$\text{Assim, } A = \begin{bmatrix} 0,20 & 0,35 & 0,30 & 0,15 \\ 0,15 & 0,10 & 0,35 & 0,40 \\ 0,10 & 0,25 & 0,20 & 0,45 \\ 0,20 & 0,20 & 0,35 & 0,25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,85 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,90 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,95 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,80 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0,17 & 0,31 & 0,28 & 0,12 \\ 0,13 & 0,09 & 0,33 & 0,32 \\ 0,08 & 0,22 & 0,19 & 0,36 \\ 0,17 & 0,18 & 0,33 & 0,20 \end{bmatrix}$$

(\*) Não havendo desagregação sócio-econômica do modelo de Lowry, não há sentido em se considerar valores diferentes.

Multiplicando-se as matrizes  $\begin{bmatrix} b'_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_i \end{bmatrix}$ , obtém-se a matriz de acessibilidade B:

$$B = \begin{bmatrix} b'_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_i \end{bmatrix}, \text{ ou seja:} \quad (4.41)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0,15 & 0,10 & 0,25 & 0,50 \\ 0,10 & 0,15 & 0,45 & 0,30 \\ 0,20 & 0,35 & 0,25 & 0,20 \\ 0,25 & 0,20 & 0,40 & 0,15 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,33 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,55 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,25 \end{bmatrix} =$$

$$B = \begin{bmatrix} 0,03 & 0,03 & 0,14 & 0,12 \\ 0,02 & 0,05 & 0,25 & 0,07 \\ 0,04 & 0,11 & 0,14 & 0,05 \\ 0,05 & 0,07 & 0,22 & 0,04 \end{bmatrix}$$

A matriz produto AB pode ser conseguida a partir das matrizes A e B, calculadas anteriormente:

$$AB = \begin{bmatrix} 0,0288 & 0,0630 & 0,1669 & 0,0636 \\ 0,0349 & 0,0682 & 0,1559 & 0,0513 \\ 0,0326 & 0,0596 & 0,1727 & 0,0505 \\ 0,0320 & 0,0661 & 0,1576 & 0,0589 \end{bmatrix} \quad (4.42)$$

Que conduz a

$$(I-AB) = \begin{bmatrix} 0,9712 & -0,0630 & -0,1669 & -0,0636 \\ -0,0349 & 0,9318 & -0,1559 & -0,0513 \\ -0,0326 & -0,0596 & 0,8273 & -0,0505 \\ -0,0320 & -0,0661 & -0,1576 & 0,9411 \end{bmatrix} \quad (4.43)$$

e a matriz:

$$(I-AB)^{-1} = \begin{bmatrix} 1,0441 & 0,0915 & 0,2448 & 0,0887 \\ 0,0497 & 1,0966 & 0,2311 & 0,0756 \\ 0,0477 & 0,0885 & 1,2493 & 0,0751 \\ 0,0470 & 0,0950 & 0,2338 & 1,0835 \end{bmatrix} \quad (4.44)$$

A equação abaixo pode ser usada para obtenção do vetor de emprego total a partir do vetor de emprego básico, especificado no início:

$$e = e^b (I-AB)^{-1}, \text{ ou seja:} \quad (4.45)$$

$$e = \begin{bmatrix} 124 & 187 & 179 & 241 \end{bmatrix}$$

O vetor de empregos em serviços pode ser obtido a partir de  $e^s = e - e^b$ , distribuído abaixo:

$$e^s = \begin{bmatrix} 24 & 47 & 119 & 41 \end{bmatrix} \quad (4.46)$$

O número de domicílios por zona é calculado pela equação abaixo:

$$p = e^b (I-AB)^{-1} A, \text{ fornecendo o vetor de população:}$$

$$p = \begin{bmatrix} 101 & 139 & 211 & 187 \end{bmatrix} \quad (4.47)$$

Admitindo-se um índice de ocupação média por residência, a população por zona pode ser obtida através da multiplicação do vetor  $p$  por aquele índice. Os resultados do exemplo do modelo de Lowry, formulação de Garin, são expostos a seguir no Quadro 3.

QUADRO 3 - Distribuição de Atividades Urbanas

ZONA	EMPREGOS BÁSICOS	EMPREGOS NÃO-BÁSICOS	EMPREGOS TOTAIS	Nº DE RESIDENCIAS	POPULAÇÃO (RESIDENCIAS x 5)
1	100	24	124	101	505
2	140	47	187	139	695
3	60	119	179	211	1055
4	200	41	241	187	935
TOTAL	500	231	731	638	3190

## CAPÍTULO V

### ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO MODELO DE LOWRY

#### 5.1 - INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a distribuição das atividades urbanas era explicada através da análise de sítio, uma metodologia detalhada das posições, mas pouco respaldo quanto aos princípios de localização envolvidos. Hoje, a importância maior está na modelagem das relações e processos sociais e econômicos que determinam o padrão urbano de uso do solo.

A construção de modelos urbanos tem suas origens na clássica teoria de localização de von Thunen (1826) e Weber é reforçada pelas contribuições mais recentes de Hoover (1948), Lösch (1954), Greenhut (1956) e Isard (1956), todas voltadas ao estudo da distribuição das atividades manufatureiras. Contudo, o impulso maior na compreensão dessas abordagens foi dado por Cristaller (1933), cujo trabalho abrangia o tamanho, o espaçamento e funções dos centros de serviços.

O modelo clássico do lugar central, baseado no enunciado de Cristaller, contém considerações sobre o tamanho, função e distribuição dos centros de mercado. Formada por um conjunto de pressupostos, inclusive, com restrições simplificadoras, esta teoria prever o arranjo físico-espacial para

os propósitos administrativos, de mercado e de transportes de forma otimizada. A teoria do lugar central tenta, portanto, explicar a distribuição das cidades como centros de serviços.

Um trabalho semelhante ao de Cristaller foi desenvolvido por Lösch (1954) sobre localizações urbanas. Em um conjunto mais completo, Lösch considera, não apenas um princípio organizacional, mas a operacionalidade simultânea de efeitos combinados de princípio de organização.

A teoria do lugar central, apesar de limitada, explica satisfatoriamente muitas das características funcionais e de distribuição dos centros de serviços através de suposições físicas e comportamentais.

Os modelos de distribuição de atividades básicas têm suas origens com o trabalho de Weber (1909) e do seu conceito de localização de menor custo. Da mesma forma que Cristaller, Weber propõe um conjunto de princípios simplificados sobre espaço físico, considerando os custos de transportes e matérias primas como fatores na localização. Historicamente, os princípios de localização de menor custo foram usados para explicar a distribuição das atividades industriais e, assim, do desenvolvimento urbano.

Na prática, a decisão locacional da indústria envolve um processo complexo de compromissos sócio-econômicos entre matérias-primas, mão-de-obra, acesso ao mercado e transporte relacionados a um processo de produção particular. Tais compromissos envolvem decisões, na maioria das vezes, sob conhecimentos insuficientes, o que significa que essa abordagem se

ja feita numa perspectiva probabilística de localização industrial e, conseqüentemente, do padrão urbano.

Considerados como um todo, os conceitos locacionais de finidos acima, de certa forma, contribuem para uma visão geral sobre a evolução e estrutura urbanas. É claro que tais abordagens são falhas quanto a inviabilidade de se tratar isoladamente componentes de um sistema urbano complexo e diluir considerações numa perspectiva geral. É por essa razão que muitos pesquisadores urbanos lançaram mão de modelos teóricos que tratam tais estruturas numa escala agregada de entendimento.

A teoria da base econômica expõe a estrutura urbana como uma entidade finita no espaço físico, que existe pela exportação de bens. Admite que o crescimento do setor de exportação básica é o principal elemento responsável pelo crescimento urbano e que sua expansão induz ao crescimento das atividades do setor não-básico - serviço e comércio - e, por extensão, de toda a economia urbana. Essa teoria serviu como instrumento para a formulação das hipóteses teóricas necessárias à concepção do modelo de Lowry.

A utilização geral das abordagens de maximização da entropia, para as análises dos processos e padrões distributivos e locacionais no nível agregado, teve sua origem no trabalho de Wilson (1977). Isso estimulou extensões e aplicações no modelismo urbano e regional.

## 5.2 - PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

Dois pressupostos são fundamentais na definição e na

lógica de interação dos elementos constituintes do modelo de Lowry. O primeiro diz respeito as atividades econômicas quanto aos exigências locais: básicas e não-básicas. As atividades básicas se localizam independentemente da distribuição da população, enquanto a localização das atividades não-básicas é feita em função da distribuição da população.

PINHO, J.A.<sup>43</sup> (1978) mostra que a classificação das atividades econômicas em básicas e não-básicas pode ser feita de acordo com dois critérios: locacional e funcional. O critério locacional é como está exposto acima. Já o critério funcional estrutura as atividades econômicas de acordo com sua função no sistema econômico. Esse critério está explícito na teoria da base econômica, na qual as atividades básicas são responsáveis pelo desenvolvimento econômico de uma cidade ou região, e as atividades não-básicas decorrem do nível de desenvolvimento das atividades de exportação.

Lowry considera estas atividades econômicas segundo o critério locacional e tem como ponto de partida para distribuí-las espacialmente, a definição das atividades básicas. Segundo este critério, pode-se dividir as atividades básicas em dois grupos:

1 - as atividades inseridas fora da malha urbana e que independem da distribuição da população: proximidade de eixos de transportes regionais de carga e baixo preço do solo, são critérios de localização;

2 - Atividades que devido a requisitos locais específicos ou a expansão urbana estão localizadas na malha

urbana. Neste caso, recorre-se ao auxílio do critério funcional. Aparentemente as atividades econômicas são fáceis e inquestionavelmente classificadas, principalmente, para o setor não-básico. No entanto, a dificuldade aumenta para atividades industriais e ainda para determinados setores de comércio e serviços, uma vez que estas, tanto produzem para o exterior como para o mercado local. Pode-se dizer que, com algumas exceções, não existem atividades essencialmente básicas. Recorre-se neste caso à predominância do destino da produção\* que se torna mais difícil a nível dos grandes aglomerados urbanos devido à importância da participação dos mercados locais. Portanto, as dificuldades existem para categorizar as atividades segundo o critério locacional.

Um critério bastante interessante está inserido na abordagem das "necessidades mínimas", definida por FRED, A. R. (1977) em uma análise de sistemas de cidades em economia avançada. Tais necessidades são equacionadas com a população não básica e o número de trabalhadores sobre esse mínimo foi tomado para expor a força de trabalho básico. Para a teoria de crescimento urbano são feitas duas considerações: quanto maior for a cidade, menor será sua dependência das atividades básicas e maiores centros crescem mais rápidos. Contudo, não é interesse neste trabalho analisar qual o setor que articula o processo de crescimento de uma região. Para qualquer processo prevalecente, pode-se afirmar que as atividades econômi-

---

(\*) As atividades de turismo representam um caso especial: sua produção é consumida localmente por população exógena à região. Sendo assim, classificadas básicas.

cas, sejam a nível urbano e regional, são interdependentes em termos funcionais e, portanto, locais.

As atividades básicas ao eleger localizações tiram partido dos benefícios e vantagens oriundos do processo de urbanização: ofertas de serviços para assegurar seu desenvolvimento e distribuição de população, fonte disponível de mão de obra. A alocação de atividades básicas em áreas que não apresentam tais vantagens, implicam em altas inversões de capital para implantação de infraestrutura, dependência de serviços e transportes para deslocamento de trabalhadores. Constatada a interdependência locacional entre as atividades urbanas, pode-se negar o pressuposto de Lowry que estabelece a independência entre a localização das atividades básicas e a distribuição da população.

O segundo ponto na lógica do modelo de Lowry estabelece que a escolha individual da localização residencial é fortemente influenciada pela localização do emprego, tanto para atividade básica como para a não-básica. A alocação da população feita pelo modelo de Lowry em função unicamente da distribuição do emprego é extremamente simplificada. Outros fatores tais como valor do solo, conforto ambiental, divisão social do espaço habitado, proximidade de serviços urbanos, podem ter influência tão importante na decisão da escolha de morar quanto a proximidade do emprego.

O elevado custo do solo urbano pode ser explicado como o resultado de um intenso processo de especulação imobiliária onde o solo urbano é transformado em um investimento rentável e seguro. Tal processo se realiza através de uma polí-

tica de urbanização comprometida com a classe dominante, e tem como resultado o crescimento extensivo urbano, comprometendo o solo urbano em níveis superiores ao efetivo uso e, criando, conseqüentemente, vazios na malha urbana. Tais áreas vazias encontram-se envolvidas por assentamentos urbanos e são manipuladas de dois modos; mantidas à margem do mercado, funcionando como um capital que se valoriza ou quando colocados no mercado, atingem preços altíssimos tornando seu uso, impraticável para maioria da população.

Para este trabalho interessa os aspectos de assentamento desta população. Salvo os vetores de ocupação de população de alta renda e/ou atuação de especulação imobiliária, em geral, a ocupação clandestina\* tende a ocorrer na periferia urbana, onde o valor do solo é menor devido, principalmente, a grande distância aos locais de trabalho e a carência em infraestrutura e equipamentos urbanos.

As invasões de população de baixa renda em áreas urbanizadas tem possibilitado localizações favoráveis, próximas as facilidades criadas pelo adensamento urbano, principalmente ao mercado de trabalho. No caso anterior, são importantes as invasões em áreas ocupadas por população de alta renda, passíveis de absorção de mão-de-obra do denominado setor informal da economia. Neste nível, a proximidade aos locais em emprego pode ser tomado como critério de maior peso na escolha do local de morar. No entanto, é provável que tal proces

---

\* O lote urbano representa a forma institucionalizada mais comum de uso do solo.

so não perdure muito tempo, devido a crescente valorização do solo urbano. Desta forma, o segundo pressuposto de Lowry tem validade apenas para uma minoria da população de baixa renda por um período de ocupação suficiente para consolidar o investimento do solo. Como a localização do emprego para o setor informal muda frequentemente, não se pode afirmar que a população ao determinar a localização da residência tenha considerado o local de emprego.

### 5.3 - APLICAÇÕES NO BRASIL

No Brasil, o modelo de Lowry foi empregado nas regiões metropolitanas de Porto Alegre, Salvador e Recife.

#### - Porto Alegre

Em Porto Alegre, o GERM - Grupo Executivo da Região Metropolitana, hoje METROPLAN, com o apoio técnico do Deutsche Projekt Union da Alemanha Ocidental, realizou um trabalho de uso do solo e transportes, baseado nos pressupostos de Lowry, para a região metropolitana. O modelo utilizado corresponde ao modelo publicado por Jan Masser em Possible Applications of the Lowry Model, em Liverpool, 1970, aplicado por H. J. Karpe e R. W. Ernst em 1970 para Dortmund. A aplicação deste modelo em Porto Alegre implicou na consideração das seguintes características:

- A distribuição espacial das atividades urbanas na região metropolitana caracteriza-se principalmente pela concentração de população e emprego. Em Porto Alegre tal distribui

ção diferenciada dificulta em princípio, a utilização do modelo. Para o modelo reproduzir tal desequilíbrio, tomou-se como Input a distribuição desigual dos empregos no setor básico, da oferta de residências e da hierarquização dos serviços urbanos.

- As funções de transportes foram determinadas por meio de análises comparativas de aplicações anteriores, uma vez que não existiam dados sobre o comportamento dos transportes.

- Um levantamento de uso do solo foi feito para avaliar a distribuição espacial de emprego, já que os dados censitários existentes sobre sua distribuição eram a nível municipal.

- A distribuição de migrações internas foi considerada mínima uma vez que é bastante elevada a participação das pessoas que residem em casas próprias, em terrenos próprios.

- Considerou-se ainda um fator especial de densidade para as zonas densas de Porto Alegre, uma vez que a atual distribuição da população se caracteriza por importantes diferenças de densidade.

A área em estudo, abrangendo 14 municípios foi dividida em 38 zonas considerando os seguintes critérios:

- As zonas deveriam conter, sempre que possível, número igual de habitantes;

- O formato das zonas deveria, se possível, aproximar-se do quadrado;

- Cada zona considerada deveria possuir um núcleo iden

tificável;

- O sistema zonal deveria viabilizar o desenvolvimento das mais diversas alternativas;

- Cada zona deveria ser formada por um agregado de UET (Unidade Espacial de Tráfego) ou UEP (Unidade Espacial de Planejamento);

- O número máximo de zonas, por exigências técnicas do modelo, é de 50.

Antes de desenvolver as alternativas de distribuição espacial, foi necessário determinar para quais população e emprego deveriam ser elaboradas tais alternativas.

Com base em análise de 1970, utilizou-se um prognóstico de população e emprego entre 1990 e 1995 como ponto de partida para a distribuição espacial.

A etapa seguinte foi a definição numérica dos empregos nos setores básico e não básico. Determinou-se que todos os empregos do setor primário (exclusivamente por empregos na agricultura) e secundário (constituído pelas indústrias), assim como os empregos na administração central (constituída por órgãos público de nível superior, municipal ou metropolitano), do setor portuário, do aeroporto e das escolas superiores seriam considerados como pertencentes ao setor básico. Os empregos não básicos foram agrupados numa única categoria e correspondem, numericamente aos empregos do setor terciário menos aqueles considerados para o setor básico.

Finalmente foi feita a determinação de todos os elementos comuns para as alternativas. Tais elementos são a soma dos elementos existentes no ano base mais aqueles novos ("Co

nantemente internas, podendo assumir, todavia, também funções de abastecimento da região contígua a região metropolitana de Porto Alegre.

- 3 Centro Sub-Regional, com funções de serviços predominantemente internas, com menor influência que do tipo acima.
- 4 Centro Local, com influência local e complementar dos tipos 1, 2, e 3.

Aqui, foram desenvolvidas e analisadas nove diretrizes alternativas de distribuição espacial, as quais foram geradas com base projeções de população e emprego, uso atual do solo e projetos existentes. A alternativa 1 somente apenas dois polos regionais (Porto Alegre, Novo Hamburgo) ligados por uma via expressa de alta velocidade, ao longo da BR 116. Tal alternativa diz respeito a contenção da expansão territorial, através da densificação do uso do solo e a concentração de atividades, reduzindo custos em infra-estrutura e transportes. A alternativa 2 admite que o crescimento metropolitano deve concentrar-se sobre o eixo Porto Alegre - Novo Hamburgo (BR 116). A alternativa 3 contrapõe ao atual eixo Norte-Sul, formado pela BR 116, com um eixo Leste-Oeste (BR 290), cujo objetivo é minimizar as pressões sobre o eixo existente. A alternativa 4 objetiva uma urbanização uniforme de todas as áreas. A alternativa 5 propõe um novo eixo Norte-Sul paralelo à BR 116 no setor Leste, permitindo uma ampliação do espaço urbanizado, tanto em localidades existentes como através de implantação de novas, aliviando parte das pressões sobre

Common Change") que vão surgir independentemente da intervenção do planejamento. Os elementos comuns (Common Elements) foram determinados com base em análises de projetos existentes e das atuais características de distribuição espacial.

Os elementos alternativos são então, os dados projetados menos os elementos comuns, os quais são distribuídos livre e alternadamente nas alternativas.

Uma vez fixados os elementos alternativos foi possível desenvolver e definir numericamente as alternativas de diretrizes espaciais. Para isso foi necessário desenvolver diferentes concepções, na base de configurações formais de distribuição espacial, viabilizando diversas particularidades.

Antes de elaborar de forma significativa as alternativas, foram definidas as características que serão usadas para expô-las. Uma vez que as alternativas são utilizadas como input do modelo Lowry, tais características dizem respeito a distribuição espacial da atividade residencial, emprego, número e tipos de centros de prestação de serviços e a densidade média residencial. A densidade média foi fixada diferentemente para as diversas cidades e definidos quatro tipos de centros de prestação de serviços:

<u>Tipo</u>	<u>Descrição</u>
1	<u>Centro Regional</u> , constituído pelo polo central da região metropolitana. A exceção da primeira alternativa, somente Porto Alegre é admitida como centro regional.
2	<u>Centro Sub-Regional</u> , tem funções de serviços predomi

o eixo atual. A alternativa 6 envolve uma dispersão urbana , reciclando a utilização de áreas agrícolas através de novas vias em semi-círculo: primeiro, ao longo da RS-18, ligando entre si as localidades de Canoas, Cachoeirinha, Gravataí, Alvorada, Viamão e o sul de Porto Alegre e segundo, interligando os principais acessos a RMPA (RS-1, BR-290, RS-19 e RS-2), implicando na implantação de três novas localidades. A alternativa 7 propõe novas cidades (uma a Oeste de Canoas e outras duas em Guaíba e Estância Velha) e densificação de algumas existente, interligadas por um novo eixo viário a oeste, paralelo a BR-116. A alternativa 8 mantém a hierarquia urbana existente, descentralizando, no entanto, a densificação populacional ao longo da BR-116 através da implantação de dois eixos paralelos, um a Leste e outro a Oeste daquela rodovia. Finalmente, a alternativa 9 pretende descentralizar o eixo Norte-Sul (BR-116) e seus pontos extremos (Porto Alegre e Novo Hamburgo), redistribuindo população e atividades por todas as localidades da região metropolitana.

Para a transformação destas concepções em informações numéricas, foram consideradas três etapas de trabalho:

- 1 - Através de um modelo de balanço de áreas, considerou-se as restrições físicas e/ou institucionais quanto a assentamento de indústrias e habitações.
- 2 - Estes dados de áreas foram transferidos para mapa na escala 1:200.000.
- 3 - Para cada alternativa projetou-se um esquema de rede, transformado em matriz de distância através de um modelo específico.

Apesar de não ter sido calibrado, o modelo foi utilizado em análise de impacto (consequências) do conjunto de alternativas urbanas descritas acima. Concluído o teste, a distribuição espacial das atividades calculadas pelo modelo, assim como as relações intrazonais podem ser tomadas como consequências das alternativas, as quais foram avaliadas segundo seus benefícios nos diversos setores de atividades urbanas considerados (setor básico, serviços e comércio, residencial) e de transportes, e seus custos referentes às medidas de tráfego, à infra-estrutura e ao uso administrativo da região (Ver Fig. 15).

- Salvador

Na Bahia, um estudo de uso do solo e de transportes foi elaborado pela Planave e Colin Buchanan para CONDER - Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Salvador e objetiva um modelo de crescimento para a região. Uma metodologia, baseada nos pressupostos de Lowry foi abandonada, devido a inadequação deste instrumento para expor a estrutura urbana local. Uma outra metodologia para geração de alternativas de estrutura urbana foi usada a partir da distribuição da população, renda e emprego, sem utilização de funções matemáticas e técnicas computacionais. Tal metodologia foi desenvolvida a partir das características estruturais da região metropolitana de Salvador adequados a conceitos de teoria urbana, resultando num quadro de alternativas de desenvolvimento para o ano 2000. Foram consideradas como "possibilidades teóricas" de ocupação do solo:

- 1 - Crescimento espontâneo da RMS.
- 2 - Expansão e adensamento de Salvador.
- 3 - Desenvolvimento polinuclear em dois pontos (Camaçari e Simões Filho), com contenção acentuada dos demais núcleos urbanos.
- 4 - Desenvolvimento polinuclear em dois pontos.
- 5 - Criação e implantação de uma nova área urbana, apoiada em núcleos existentes e/ou em áreas de fácil ocupação.
- 6 - Desenvolvimento urbano ao longo de vias de circulação rápida.

Uma vez devinido o comportamento estimado para as variáveis básicas (população, renda e emprego) para o ano 2000, o processo de distribuição destas variáveis foi feito de forma diferenciada para cada tipo de alternativa. Para tanto, o zoneamento da região (57 zonas) foi feito em função da ocupação e uso existentes. O setor industrial pode ser tomado como elemento gerador do crescimento econômico e demográfico da região: a implantação da refinaria Landulfo Alves (RLAM) em São Francisco do Conde pode ser considerado como elemento germinador da região metropolitana e as implantações do CIA (Centro Industrial de Aratu) e do COPEC (Centro Petroquímico de Camaçari) promoveram as desigualdades regionais.

Apesar do crescimento intensivo em algumas áreas como Candeias, Simões Filho e Camaçari, Salvador detém 87% da população da região metropolitana, população esta, acumulada às custas de um processo intensivo de migrações.

A atividade econômica que mais absorve mão de obra é o comércio e serviços, realizada, na maioria em Salvador. Os serviços domiciliares (Setor Informal), gera 12,1% dos empregos totais, enquanto que a construção civil absorve 11,0% dos empregados numa hierarquia em que a atividade industrial abriga 10,9% dos empregos, localizados principalmente, nos municípios de Simões Filho, Camaçari, São Francisco do Conde e Candéias. Vale salientar ainda que o setor público gera 8,7% do total de empregos, localizados principalmente em Salvador.

Quanto aos transportes verifica-se que um grande número de viagens (31%) são realizadas a pé, na grande maioria com percursos acima de 2 Km, indicando a péssima qualidade de vida da maioria da população. Quanto a ocupação do solo, a maioria da população recorre a loteamentos clandestinos e invasões, nos quais a tipologia habitacional não corresponde a orientação técnica nem a requisitos de legislação urbana. A ocupação da população de alta renda é feita de forma extensiva, originando vazios urbanos, passíveis de especulação imobiliária.

Para o ano 2000 o modelo previu 3,7 milhões de habitantes, dos quais 36,3% economicamente ativos. Para um total de 1.306,000 empregos, cerca de 270.000 seriam básicos, o que corresponde cerca de 21% do total. O estudo identificou ainda um déficit de 59.000 unidades habitacionais. Quanto aos transportes, espera-se um considerável aumento no índice de motorização (0,12 automóveis/hab.) no ano 2000. As viagens a pé cairão para cerca de 20% e os transportes coletivos serão responsáveis por 45% do deslocamentos.

Um processo contínuo e aprofundado de avaliação, reduziu o número de alternativas urbanas a serem testadas pelo modelo:

- 1 - Expansão e adensamento de Salvador.
- 2 - Criação de um núcleo urbano periférico na zona Norte de Salvador.
- 3 - Criação de um núcleo urbano em Lauro de Freitas.
- 4 - Crescimento em corredores de Salvador.

Mais adiante, o estudo partiu para um novo enfoque, onde o processo de avaliação foi substituído por um processo de compatibilização fundado em quatro elementos:

- 1 - Os resultados da avaliação.
- 2 - O exame dos elementos comuns às 4 alternativas.
- 3 - A procura de uma base conceitual ou estrutural que caracterizasse a nova alternativa.
- 4 - O uso de um modelo de alocação de atividades.

O estudo analítico dos resultados dos quatro elementos gerou a compatibilização da estratégia de desenvolvimento da região metropolitana, com recomendações específicas quanto a evolução urbana delineiada como objetivo maior do modelo (Ver Fig. 16).

#### - Recife

Em 1978, um modelo tipo Lowry foi testado sobre a região metropolitana do Recife, objetivando sua aplicação na previsão da futura distribuição da população e dos empregos

de comércio na região, uma vez conhecidas as condições de localização dos empregos básico e do sistema viário.

A versão modificada do modelo Lowry, utilizada no teste aplicado sobre a região metropolitana do Recife é uma versão aperfeiçoada pelos professores Britton Harris e Stephen H. Puttman visando dar ao modelo condições generalizadas de uso.

Para cada sub-modelo foram realizados diversos testes, utilizando a cada vez diferentes parâmetros. Inicialmente foi determinada a população em função da distribuição dos empregos e calculados os empregos não-básicos em função da distribuição da população. Posteriormente, foram distribuídos população e emprego em função da distribuição dos empregos básico e de outros elementos da dinâmica urbana considerados.

Para viabilizar a realização do teste, a região em estudo foi definida em 167 zonas de 10.000 habitantes aproximadamente e os empregos foram classificados segundo os setores básico e não-básico. Foi também montada a base de dados para cada zona e calibrados parâmetros de viagens ao trabalho, segundo dados do plano de transportes da região feita em 1972.

Para fazer a comparação dos dados observados na região metropolitana com os resultados emitidos pelo modelo, foi feita uma análise tomando como indicadores as distribuições espaciais da população residente e empregos existentes.

Com sua localização no litoral, a estrutura urbana da região se desenvolveu radialmente, partindo do porto e interligada por perimetrais, tendo ao Norte um grande núcleo conurbado e pequenos satélites, e ao Sul um pequeno núcleo conurbado e grandes satélites. Tal assimetria não se dá apenas com

relação à distribuição espacial da população alocada, mas também com relação ao nível sócio-econômico da mesma. Está fixada no quadrante Norte mais da metade de toda população da região metropolitana residindo em habitações subnormais.

Os elementos em atividades não básicas estão de forma explícita no centro principal da região metropolitana e ao longo dos principais acessos e interseções viárias. Identificou-se ainda, os "Corredores de atividades múltiplas" e sub-centros de serviços com considerável equidistância espacial.

O modelo aplicado na região metropolitana do Recife emitiu resultados diferentes da estrutura urbana observada. Há duas discrepâncias importantes entre a distribuição real da população e a operada pelo modelo:

- 1 - A distribuição da população foi feita em excesso ao longo dos eixos viários e próxima aos centros e sub-centros de serviços.
- 2 - O modelo alocou excesso de população nos municípios satélites do Sul e a Oeste da região metropolitana em detrimento da parte Norte conurbada.

O sub-modelo de distribuição de empregos não-básicos emitiu três tipos de discrepâncias:

- 1 - Os empregos em atividades de negócio foram deslocados para zonas residenciais mais próximas.
- 2 - Os empregos em atividades não-básicas foram transferidos para locais distantes dos eixos viários principais da região.

3 - Os empregos foram sub-dimensionados nas cidades sa  
télites do Norte.

Por causa de tanta heterogeneidade foi proposto para o modelo um novo estudo objetivando a incorporação de variáveis explicativas da região considerada. Diversas adaptações foram realizadas em 79/80, e utilizadas no plano de organização territorial da região POT/RMR (1982). Tal plano visava dotar a região de um instrumento de planejamento capaz de di  
recionar e estruturar a evolução e expansão urbano-metropoli-  
tana, possibilitando um adequado relacionamento entre os di-  
versos elementos da estrutura, viabilizando um ótimo desen-  
volvimento das funções urbanas.

O estudo identificou para o ano 2000, tendo no ano de 1985 um horizonte intermediário, uma estrutura multipolar, as  
sentada em quatro macrozonas: Norte, Sul, Leste e Oeste. Tais estruturas compreende ainda de três tipos de espaço: Nuclea-  
ção (atividades não-básicas e uso residencial intensivo), In  
terstício (uso residencial exclusivo) e Áreas rurais. A meto-  
dologia empregada no POT/RMR inicia com a análise da estrutu  
ra urbano-metropolitana e finaliza com a discriminação de  
prioridades, estratégias, medidas e instrumentos para a ope-  
racionalização das propostas pretendidas, fornecendo ainda ,  
elementos importantes ao processo de controle e avaliação con  
tinua a etapa de implementação. (Ver Fig. 17).

## CAPÍTULO VI

### COMENTÁRIOS FINAIS

#### 6.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A CIDADE DO FUTURO

Os processos de assentamento de atividades econômicas que originaram o atual padrão urbano continuarão a definir o uso futuro do solo urbano? Diversas razões para essa preocupação podem ser questionadas\*, entre elas, o deslocamento no emprego de atividades, locacionalmente fixas (setores primário e secundário), para atividades de serviços e de informações, espacialmente flexíveis; a importância crescente dos serviços de telecomunicações como meio de intercâmbio sócio-econômico e o rápido deterioramento de muitos ambientes urbanos.

Diversas tentativas para incorporar tais considerações têm sido feitas de forma especulativa, dado ao atraso atual das ciências de previsão. Por essa razão, tem-se usado, com frequência, modelos sinóticos, como meio de expressar tais especulações. Essas estruturas, conhecidas como cenários, geram conjuntos complexos de futuros alternativos, sob processos contraditórios de desenvolvimento.

Existem, atualmente, dois tipos gerais de cenários. Enquanto um supõe a concentração da população e crescimento ur

(\*) Ver CIUDADES Y ESPACIO, Lowdon, W.<sup>53</sup>(1976)

bano, o outro conduz a descentralização e dispersão da população. O primeiro, reproduzindo o atual padrão urbano em escala diferente, o segundo, transformando radicalmente a situação urbana contemporânea. As mudanças nas oportunidades de emprego aliadas a menor impedância do espaço e atração ambiental poderão criar um novo padrão disperso de ocupação de solo.

Importante para tais especulações são as funções os impactos das tecnologias de transporte e telecomunicações. As tecnologias de transportes têm ampliado sucessivamente as influências urbanas, de modo que as cidades influenciam estruturas regionais de forma crescente e se combinam dentro de um processo megalopolitano multimodal. Embora os sistemas futuros de transportes possam simplificar os efeitos produzidos pela distância, a telecomunicação está removendo a necessidade de acesso contínuo às atividades urbanas ou para qualquer outra localização a nível regional. Segundo Clark, D<sup>11</sup>. (1985), os novos serviços de telecomunicações eliminam o tempo e superam o espaço, de modo que tomam uma civilização urbana sem cidades.

## 6.2 - CONCLUSÕES

Os modelos foram vistos, inicialmente, como sendo expo<sub>s</sub>itores profundos do sistema urbano e sua construção se justificava inicialmente na compreensão dos fatores que influen<sub>c</sub>iam o desenvolvimento urbano e na formação de uma teoria ur<sub>b</sub>ana. Sob esse prisma, diversas funções foram atribuídas aos

mesmos, entre as quais, de previsores do futuro, controladores e direcionadores do crescimento urbano. No entanto, os modelos se limitaram a efetuar previsões condicionais, como consequências de políticas alternativas e de projeções sócio-econômicas e fazer análises de impactos.

Passadas as dúvidas iniciais, seus objetivos são reciclados em formulações mais simples e os esforços se direcionaram a uma maior racionalidade no processo de tomada de decisão.

Diversos fatores impediram que os modelos de uso do solo e de transportes atingissem melhores níveis no campo operacional, entre eles, a institucionalização rápida da modelagem e o uso indiscriminado e não criterioso da tecnologia da computação, resultando na criação de modelos complexos sem análises profundas de suas hipóteses, em outras palavras, com pouco respaldo teórico.

As teorias de crescimento urbano procuraram identificar as forças que mantêm em equilíbrio a estrutura urbana em dois pontos de vista de interpretação: um enfatiza imperativos econômicos e outro enfatiza a função dos laços sociais.

As interpretações econômicas do crescimento urbano manipulam com os benefícios criados com a produção e custos de distribuição, que podem ser usufruídos pela concentração.

Os modelos de uso do solo e transportes levam em conta que as variáveis do solo urbano e transportes estão inter-relacionadas e a interação entre eles descreve um processo cujo resultado é a estrutura urbana. Esses modelos são usados de duas formas. De um lado, são simuladores de estrutura ur-

ba futura, refletindo um determinado quadro de objetivos. De outro lado, são utilizados, especificamente, em estudo de demandas de transportes, considerando para isto que tais demandas são definidas a partir de considerações de uso do solo.

Os modelos de uso do solo tipo Lowry, tratam a estrutura urbana de forma integrada, identificando os padrões de uso do solo com as respectivas demandas de transportes.

Sendo a estrutura urbana um sistema ao nível físico-espacial, os elementos constituintes de um modelo que expõe este sistema, devem ser considerados a nível espacial, ou seja, como se comportam a nível urbano: localização e intensidade de uso do solo. Lowry determina os elementos participantes e definidores de seu modelo, estabelecendo o pressuposto que as atividades urbanas podem ser divididas de duas formas, conforme seus requerimentos locais: básicos e não-básicos.

Os efeitos da estrutura econômica para o crescimento urbano são determinados pelo tamanho e distribuição dos dois setores de emprego dentro da economia urbana. Inúmeras são as dificuldades para dividir o emprego urbano em básico e não-básico. Os procedimentos analíticos produzem apenas análises imperfeitas, principalmente para nossos contextos urbanos, onde o setor informal da economia se faz presente de forma considerável.

É possível que a intenção de Lowry ao fazer a distinção entre atividades básicas e não-básicas e ao estabelecer comportamentos locais destas atividades, tenha sido lan

çar mão de uma forma operacional de expor a estrutura urbana. No entanto, a forma simplificada para reproduzir as atividades básicas, compromete os resultados da aplicação do modelo. Assim, uma estrutura urbana, entendida como sendo diferentes atividades urbanas e suas relações espaciais, deve ser vista como o resultado dessas relações, sendo que uma dada distribuição de população influencia e condiciona a distribuição espacial da nova população - das novas atividades econômicas, sejam elas, básicas ou não-básicas.

Dois pontos importantes da metodologia original de Lowry devem ser questionados. O primeiro se refere ao pressuposto do equilíbrio entre população e emprego existente na lógica do modelo e não verificada na realidade. A utilização da formulação original pode conduzir a equívocos consideráveis na alocação de atividades em estrutura subdesenvolvida. Outro ponto é a importância dada às atividades básicas para a criação da estrutura urbana, fato não observado nas metrópoles brasileiras. Isto vem comprometer sensivelmente sua lógica e conseqüentemente, sua utilização. Nesse ponto, tem importância significativa a participação do setor informal, que distorce a distribuição da população quando feito em função da localização do emprego.

Apesar do contexto diverso, alguns modelos de uso do solo tipo Lowry já foram utilizados no planejamento de regiões metropolitanas brasileiras. O modelo de Lowry numa versão feita pelos professores Britton Harris e Stephen H. Puttman da Universidade de Pensilvânia, EUA, foi testado sobre a região metropolitana do Recife (PMR), emitindo resultados

discrepantes com relação à distribuição da população e na distribuição dos empregos não-básicos. A partir desses resultados discrepantes, foram apresentadas sugestões para uma melhor adequação do modelo no contexto urbano da região metropolitana brasileira. Feitas as adaptações necessárias, o modelo foi utilizado no plano de organização territorial da RMR, cuja primeira fase foi concluída em 1982.

Em Salvador, a metodologia de Lowry para a geração de alternativas de estrutura urbana foi abandonada, sendo utilizado então o método tradicional, segundo o qual as alternativas são obtidas através da distribuição manual das variáveis básicas. O modelo desenvolvido para região metropolitana de Salvador (RMS), derivado do modelo de Lowry, não foi usado para geração de alternativas de estrutura urbana. Ele entra apenas em uma fase do processo de avaliação junto com outros elementos.

Já em Porto Alegre, o modelo serviu para testar as consequências de diversas alternativas de distribuição, as quais foram avaliadas segundo os seus benefícios nos diversos setores de atividades urbanas e transportes de massa e, seus custos quanto às medidas de infraestrutura e uso do solo. Foi utilizado um modelo publicado por Jan Masser em "Possible Applications of the Lowry Model, em Liverpool, 1970, aplicado por H. J. Harpe e R. W. Ernest em 1970 para Dortmund.

A utilização de modelos de uso do solo tipo Lowry no contexto brasileiro fica condicionada as características definidas a nível nacional, como: a especulação imobiliária, a política salarial e de distribuição de renda, que marginali-

zam grande parte da população. É de se esperar que os mesmos problemas urbanos existentes em Salvador, Recife e Porto Alegre podem ser verificados no resto do país, dificultando para o modelo um cálculo aproximado, uma vez que o modelo Lowry foi concebido para uma sociedade de composição e comportamento homogêneos. Embora a urbanização seja um processo mundial, o modelo de urbanização dos países desenvolvidos não pode ser transposto para economias dependentes. Isto porque a organização espacial é o reflexo do processo sócio-econômico e, apesar dos componentes do espaço serem os mesmos em todo mundo, ele varia qualitativamente e quantitativamente segundo o lugar.

Mesmo sendo representações simplificadas da realidade, os modelos que consideram unicamente a relação entre os elementos, residência e emprego, ignoram relações tão importantes quanto as que serviram para conceber tais modelos.

Apesar das limitações, o caráter inovativo de Lowry foi confirmado pela série de extensões a partir de seu trabalho original. Os trabalhos desenvolvidos envolveram tanto o campo teórico como o operacional, onde se constata uma série de contribuições: da solução matricial de Garin à utilização da entropia proposta por Wilson. No entanto, são os princípios de localização regional que mais se aproximaram das proposições teóricas do modelo. Embora tais extensões sejam relativamente simples a partir de um ponto de vista teórico, a maior dificuldade está em reunir informações suficientes para calibrar estas extensões. Portanto, modelos mais simples, expondo melhor as variáveis sócio-econômicas de nosso meio, podem

ser instrumentos úteis no estabelecimento de políticas coerentes de uso do solo e oferta de infra-estrutura urbana.

### 6.3 - SUGESTÕES

Considerando que o modelo de uso do solo de Lowry foi concebido para uma estrutura urbana com características sócio-econômicas totalmente diferentes das cidades brasileiras e que, sua utilização, resulta em uma atividade de difícil realização, sugere-se:

- Desagregação da população por faixas de renda. As disparidades de renda provocam comportamentos diversos das pessoas com relação ao uso do solo e opções de transportes, ou seja, o comportamento de viagens residência-trabalho e residência-serviços, não se verifica de forma semelhante para as diversas classes de renda e de mesmo modo também, a localização residencial ocorre de forma diferenciada: enquanto a maioria da população de baixa renda se distribui pela periferia, onde o custo do solo é menor, a classe de maior poder aquisitivo localiza-se em áreas com alta acessibilidade em infra-estrutura;

- Considerar o custo da terra. O alto custo do solo marginaliza amplas camadas da população. Sendo assim, nas cidades brasileiras em acelerado processo de crescimento, o alto custo da terra associado a baixa renda da maioria da população, é um fator determinante na distribuição da localização residencial;

- Considerar o setor informal da economia. Diferente - mente para cada classe, ocorre o fenômeno de participação da população na estrutura de trabalho, na qual tem significativa importância o setor informal. O modelo considera que a localização residencial é condicionada à localização do emprego. No entanto, para esse setor, essa proximidade é explicada pelo tipo de atividade que a população de baixa renda pode desempenhar e não por qualquer condicionante imposta a localização da residência pela distribuição do emprego. Assim, o processo se inicia com a população de baixa renda se distribuindo espacialmente conforme o custo da terra e o emprego é determinado em função de baixa qualificação profissional.

As questões levantadas acima constituem as principais propostas desse trabalho. Obviamente existem outros pontos importantes e que apresentam relação direta com este. Tais propostas poderiam ser reestudadas visando uma nova extensão do trabalho iniciado por Lowry.

## CAPÍTULO VII

### MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

7

#### 7.1 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BATTY, M. Recent developments in Land-use modelling: a review of british research. *Revista Urban Studies*, 1972.
2. - Design and Construction of a sub-regional Land use model. *Socio-economic Planning Sciences*, vol. 5, nº 2, PP. 97-124, 1971.
3. - The impact of a new tow: an application of the GARIN-LOWRY model. *Journal of the town Planning Institute*, 55(9):428-35, 1969.
4. - The development of an activity allocation model for the Notts/Derby. Sub region. *Regional Studies*, vol. 4, nº 3, PP. 307-332, 1970.
5. - *Urban modelling*. Inglaterra, Cambridge University Press, 1976.
6. BEN-SHAHAR, H.; MAZOR, A.; PINES, D. Town Planning and welfare Maximization: a methodological approach. *Regional Studies*, 3(2): 105-113, 1969.
7. CHAPIN, S. Plan or Projection: An examination of the use of model in planning. *Journal of the American Institute of Planners*, vol. 26, nov. 1960.

8. - *Planificación del uso del Suelo Urbano*. Colección de Urbanismo, OIKOS-TAU, Barcelona, 1977.
9. CAMINA, M.M. *Plan-design models: a review*. *Town planning review*, Liverpool, 1969.
10. CAMARGO, A. R. *Pontos para um debate crítico da utilização de modelos de Urbanismo*. Comunicação à SBPC - 28<sup>a</sup>. Reunião anual - Brasília, Jun - 1976, pp. 314.
11. CLARK, D. *Introdução à Geografia Urbana*. Editora DIFEL, São Paulo, 1985.
12. CRECINE, J.P. TOMM: Time Oriented Metropolitan Model, CRP TECHNICAL BULLETIN, nº 6, CONSAD Research Corporation, Pittsburgh, 1964.
13. - *Computer Simulation In Urban Research*, P. 3734, RAND Corporation, Santa Mônica, 1967.
14. CRIPPS, E.L.; FOOT, D.H. *A Land Use Model for Sub-regional Planning*. *Regional Studies*, Vol. 3, 1969.
15. CONDER - Companhia de Desenvolvimento da Região Metropolitana - Estudo de Uso do Solo e Transportes para a Região Metropolitana de Salvador - Avaliação das Alternativas e Estratégia Indicada. Salvador, vol. IV, 1979.
16. - Estudo de Uso do Solo e de Transportes para a Região Metropolitana de Salvador - Relatório de Andamento 7, Salvador, 1976.
17. - Estudo de Uso do Solo e de Transportes para a Região Metropolitana de Salvador - Relatório de Andamento 10, Salvador, 1976.
18. ECHENIQUE, M.; GROWTHER, D.; LINDESAY, W. *A Structural com*

- parison of three generations of New Towns. *Working Paper 25, Land Use and Built Form Studies, University of Cambridge, 1969.*
19. ECHENIQUE, M. Urban Systms: Towards an explorative model, *Report No. CES UWP 2, Center for Environmental Studies, Regent's Park, London, 1969.*
  20. ECHENIQUE, M. et alii. *A disaggregated model of a metropolitan area: Caracas. Land Use and Built Form Studies; WP11. University of Cambridge, 1973.*
  21. - Models, Evaluation & Information Systems for planners, *In Systems modelling and Planning. MTP Construction, 1974. Inglaterra.*
  22. - A Spatial model of Urban Stock and Activity. *Regional Studies. vol. 3, pp. 281-312, 1969.*
  23. ECHENIQUE, M. *Modelos Matemáticos de la estructura espacial Urbana: aplicaciones en América Latina. Ediciones SIAP, Buenos Aires, 1975.*
  24. - History of Regional and Urban Models. Models, Evaluations & Information Systems for Planners - *Land Use and Built Form Studies, pp. 33-46, University of Cambridge, Department of Architecture, 1974.*
  25. FIDEM - Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana. *Plano de Organização Territorial - POT/RMR. Relatório final, Recife, 1982.*
  26. GARIN, R.A. A matrix formulation of the Lowry model for Intra-Metropolitan Activity location. *Journal of American Institute of Planners, vol. 32, pp. 361 - 364, 1966.*

27. GOLDNER, W. *Projective Land Use Model (PLUM)*. Berkeley, Cal., Bay Area Transportation Study Commission, 1968 (Technical report 219).
28. GOLDNER, W. & GRAUBEAL, R.S. *The Bay Area Simulation Study: Pilot Model of Santa Clara Country and Some Applications*. Berkeley, University of California. Center of Real Estate and Urban Economics, 1965.
29. GERM - Grupo Executivo da Região Metropolitana - Porto Alegre - Alternativas de Distribuição Espacial - Modelo Lowry. Porto Alegre, Documento nº 13, 1973.
30. HILL, D.M.A. A Growth allocation model for the Boston Region. *Journal of the American Institute of Planners*, vol. 31, 1965.
31. HERBERT, J.D. & STEVENS, B. A model for the distribution of residential activity in Urban areas. *Journal of Regional Science*, vol. 2 pp. 21-36. 1960.
32. HUFF, D. Defining and estimating a trading area. *Journal of Marketing*, pp. 34-38, 1964.
33. HANSEN, W.G. How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2): 73-91, 1959.
34. HUTCHINSON, B.G. *Principles of Urban Transport Systems Planning*. McGraw-Hill, 1974.
35. LAKSHMANAN, T. R. & HANSEN, W.G. A retail market potential model. *Journal of the American Institute of Planners*. vol. 31, pp. 134-143, 1965.
36. LATROP, G.T. & HAMBURG, J.R. An Opportunity - Accessibility model for allocating regional growth. *Journal of*

- the American Institute of Planners*, vol. 31, pp. 95-103.
37. LEE, C. *Models Inplannig*. Pergamon, Oxford, 1973.
38. LOWRY, I.S. A Short Course In Model design. *Journal of the American Institute of Planners*. 31(2):158-66, 1965.
39. - *A model of metropolis*, Santa Mônica, Cal. Rand Corporation, 1964.
40. LEAL, J.E. *Modelos de demanda de Transportes - Apostila*. UFPB. 1983.
41. NOVAES, A.G. *Modelos em Planejamento Urbano, Regional e de Transportes*. São Paulo, Editora Edigard Blucher, 1981.
42. PROCIANOY, S.M.S. *Estudo Analítico dos Modelos de Uso do Solo Urbano*. Rio de Janeiro, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1976.
43. PINHO, J.A.G. DE. *Análise da utilização do Modelo de Lowry no Planejamento da Região Metropolitana de Salvador*. Rio de Janeiro, 1978. COPRE - UFRJ, M.Sc., Engenharia de Produção.
44. ROGERS, A. *A note on the Garin-Lowry model*. *Journal of the American Institute of Planners*, vol. 32. pp. 364-366, 1966.
45. STRACK, J. *GPSS: Modelagem e Simulação de Sistemas*. Rio de Janeiro, Editora LTC., 1984.
46. STOPHER, P.R. & MEYBURG, A.H. *Land-Use forecasting. Urban transportation modelling and Planning*. Massachusetts, Lexington Books, 1975.
47. SWANSON, C.V. & WALDMAN, R.J. *A simulation model of eco-*

conomic growth dynamics, *AIP Journal*, 1970

48. SCHLAGER\*, K. Land use plan design model. *Journal of the American Institute of Planners*, vol. 31, nº 2, pp. 103-111, 1965.
49. SEIDMAN, D.R. The construction of an urban growth model. Delaware Valley Regional Planning Commission, Report nº 1, Technical Supplement, vol. A, Philadelphia, 1967.
50. STRADAL, O. & SORGO, H. ORL-MOD.1: A model for regional allocation of activities, Institute for National Regional e Local Planning, Swiss Federal Institute of technology, Zurich, 1970.
51. STUBBS, J.R.; BARBER, B. Spatial policies for regional development, Technical Report 10: the Lowry model. American - Yugoslav Project, Ljudljana, 1970.
52. WINGO, L., Jr. *Transportation and Urban Land, resources for the future*, INC., Washington, 1961 (Trad. Castellana Transporte Y Suelo Urbano, OIKOS-Tau, Vilassar de mar. 1972).
53. Ciudades Y Espacio: el uso futuro do Suel Urbano. Coleccion de Urbanismo, Oikos-Tau, Barcelona, 1976.

## 7.2 - BIBLIOGRAFIA

1. ALONSO, W. Predicting best with imperfect data. *Journal of the American Institute of Planners*, 34 (4):248-55, julho, 1968.
2. - *Location and Land use: toward a general theory of Land rent*, Harvard University Press, Cambridge, 1964.

3. ANDRADE, M.R. teste de um modelo de Uso do Solo para a região Metropolitana do Recife - Modelo de Lowry. *Modelos Urbanos Regionais e de Transportes*, vol. 2, IPT Divisão de economia e eng. de Sistemas - Agrupamento de Sistemas Urbanos e regionais, S. Paulo, 1978.
4. BATTY, M., Modelling Cities as Dynamic Systems. *Urban Systems Research Unit*, University of Reading, vol. 231, nº 5303, pp. 425-428, 1971.
5. - Computer models and struture planning, *Town and Country Planning*. vol. 42, nº 10, pp. 453-457, 1974.
6. CRECINE, J.P. . . . A dinamic model of urban struture , P-3803, Rand Corporation, Santa Monica, 1968.
7. - *Spatial location decisions and structure: A time Oriented Model*, Discussion P.
8. CORDEY-HAVES, M. e WILSON, A.G. Spatial Interation. *Socio-economic Planing Sciences*, vol. 5, pp. 73-75. 1971.
9. FORRESTER, J.W. *Industrial Dynamics*, M.I.T. Press, 1962.
10. - *Urban dynamics*, M.I.T. Press, 1969.
11. FARRET, R.L. Impactos sobre a estrutura Urbana das Inter<sub>venções</sub> no Sistema de Transportes. *Revista dos Trans<sub>portes Públicos</sub>*. ANTP - Ano 7 - Nº 26, Dez. 1984.
12. FERRARI. C. *Curso de Planejamento Municipal Integrado* . São Paulo, Livraria Pioneira Editora, 1979.
13. GOLDWER, W, the Lowry model heritage. *Journal of the Ame<sub>rican Institute of Planners</sub>*, 37(2):100-10, 1971.
14. HAMILTON, H.R. et alii. *Systems Simulation for Regional analysis*, M.I.T. Press, 1969.
15. HAMBURG, J.R.; CREICHTON, R.I. *Predicting Chicago's Land*

- use pattern. *Journal of the American Institute of Planners*, vol. 25, nº 2, pp. 67-72, 1959.
16. HARRIS, B. *Note on aspects of equilibrium in Urban growth models*. Philadelphia: Department of City and Regional Planning, University of Pennsylvania. 1966.
  17. JENKINS, P.M. & ROBSON, A. An application of linear programming methodology for regional strategy making. *Regional Studies*, Vol. 8, 1974.
  18. PRED, A.R. *City Systems in advanced economies*, Hutchinson, London, 1977.
  19. REILLY, W.J. *The law of retail gravitation*. New York the Knickerbocker, 1931.
  20. STEWART, J.Q. Empirical mathematical rules concerning the distribution and equilibrium of population. *Geographical Review*, 461-85, 1947.
  21. STOUFFER, S.A. intervening opportunities: a theory relating mobility an equilibrium of population. *Geographical Review*, 461-85, 1947.
  22. SANTOS, M. *O espaço dividido: Os dois circuitos da economia Urbana dos países subdesenvolvidos*. Coleção Ciências Sociais. Rio de Janeiro, 1979.
  23. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION - *An Introduction to urban development models and guidelines for their use in Urban Transportation Planning*. Washington, D.C. , Federal Highway Administration, 1975.
  24. ULMAN, E.L. & DACEY, M.F. the minimum requirements approach to the urban economic base. *Lund Studies in Geography*, series B, *Human Geography*, 24, pp. 121-143, 1962.

25. WILSON, A.G. A Statistical theory of Spatial distribution models. *Transportation Research*, 1:235-69, 1967.
26. - *Entropy in Urban and regional modelling*. Pion Limited. London, 1970.
27. - Developments of some elementary residential location models. *Journal of Regional Science*, vol. 9, pp. 377-385, 1968.
28. - *Mathematical models in Planning*. Inghlaterra, Arena, 1967.
29. - A family of spatial interaction models and associated developments. *Environment and Planning*, pp. 1-32, vol. 3, 1971.
30. WENDT, P.F. Land use Simulation Models. *Town Planning Review*, vol. 41, pp. 161-167, 1970.
31. ZIPF, G.K. *Human behavior and the principles of Least effort*, Addison & Wesley, New York, 1949.

## CAPÍTULO VIII

## A N E X O S

	Pág.
8.1 - RELAÇÃO NOMINAL DOS FLUXOGRAMAS	
FIGURA 1 - Processo de seleção do tipo de modelo .....	10
FIGURA 2 - Classificação dos tipos de modelos .....	22
FIGURA 3 - O uso do modelo de Lowry para análise de alternativas de estrutura urbana .....	25
FIGURA 4 - Atividades envolvidas no Planejamento Estratégico urbano .....	26
FIGURA 5 - Processo de análise de sistemas de transportes .....	27
FIGURA 6 - Componentes básicos e não-básicos na economia urbana .....	38
FIGURA 7 - Fluxograma geral do modelo de Lowry .....	52
FIGURA 8 - Versão de Batty do modelo de Lowry .....	56
FIGURA 9 - Versão ORL-MOD-I do modelo de Garin-Lowry...	60
FIGURA 10 - Versão de Garin do modelo de Lowry .....	80
FIGURA 11 - Modelo de alocação de atividade .....	83
FIGURA 12 - Modelo STOCKS-ACTIVITIES .....	85
FIGURA 13 - Modificação I do modelo de Garin-Lowry .....	91
FIGURA 14 - Modificação II do modelo de Garin-Lowry .....	93
FIGURA 15 - Etapas de trabalho no uso do Lowry-Modell em	

	Pág.
Porto Alegre .....	112
FIGURA 16 - Estrutura do mapa para a RMS .....	112
FIGURA 17 - Fluxograma de operação do modelo de uso do solo em Recife .....	113

8.2 - PROGRAMA EM FORTRAN DO EXEMPLO NUMÉRICO (Ver Listagem)

8.3 - EQUAÇÕES DO MODELO DE LOWRY (Ver Quadro 2)

QUADRO 2 - Equações Estruturais do Modelo de Lowry

EQUAÇÃO NÚMERO	FORMA DE EQUAÇÃO	EQUAÇÃO PÁGINA
1	$P(m) = \alpha \sum_i E_i^b (1 - \alpha \sum_k \beta^k)^{-1}, i \in Z$	46
2	$L_j^h(n) = L_j - \left[ L_j^u + L_j^b + L_j^r(n) \right], j \in Z$	47
3	$P_j(m,n) = P(m) \frac{\sum_i E_i(n) f^1(C_{ij})}{\sum_i \sum_j E_i(n) f^1(C_{ij})}, i \in Z, j \in Z_1, Z_3$	48
4	$S^k = \beta^k \sum_j P_j(m,n), j \in Z$	49
5	$S_i^k(m,n) = S^k \frac{\sum_j g^k P_j(m,n-1) f^2(C_{ij}) + q^k E_i(n)}{\sum_i \sum_j g^k P_j(m,n-1) f^2(C_{ij}) + \sum_i q^k E_i(n)}, i, j \in Z$	49
6	$L^i(n+1) = \sum_k e^k S_i^k(m,n), i \in Z$	50
7	$E_i(n+1) = E_i^b + \sum_k S_i^k(n,n), i \in Z$	51

FONTE: Referência 5.

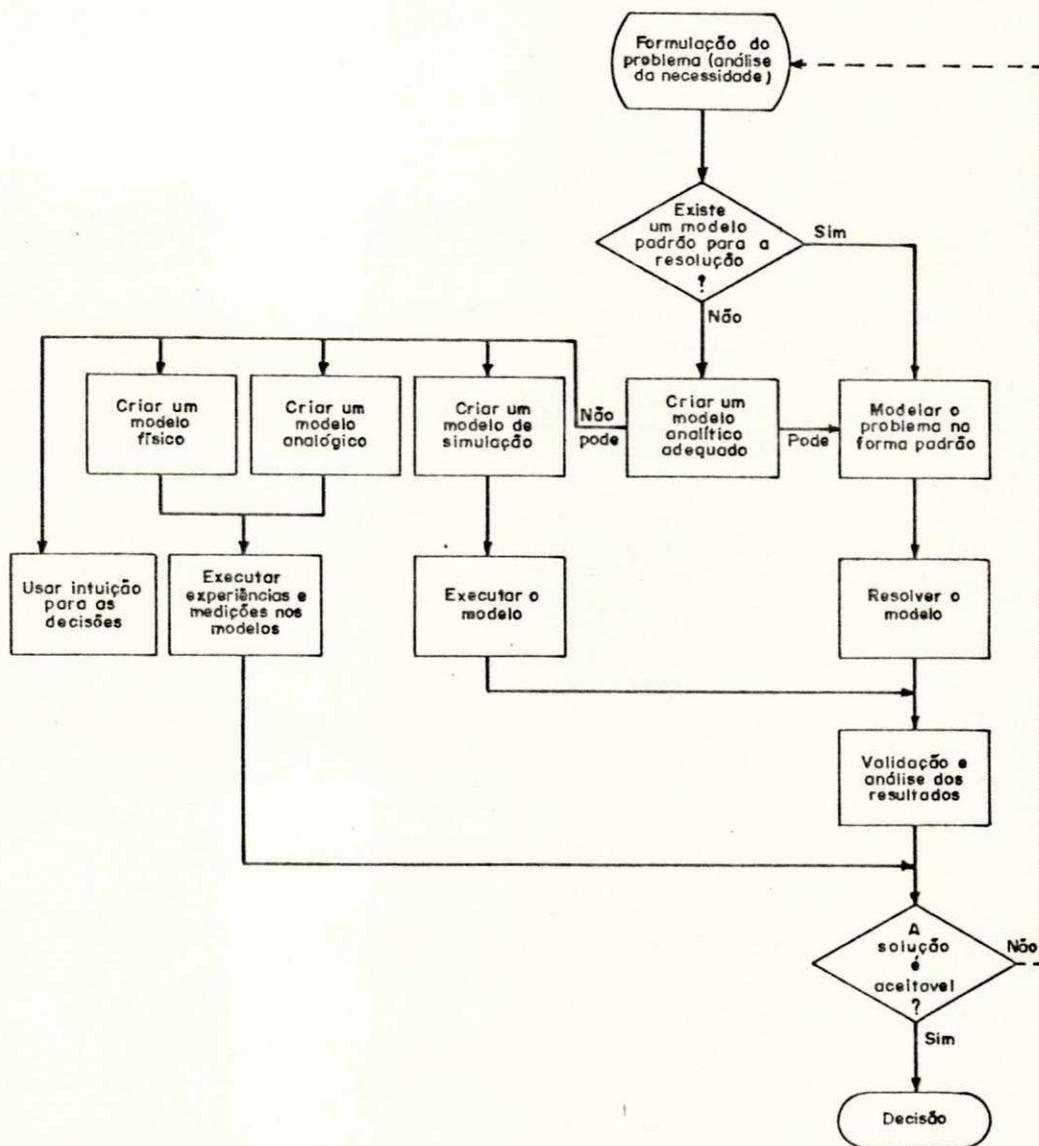
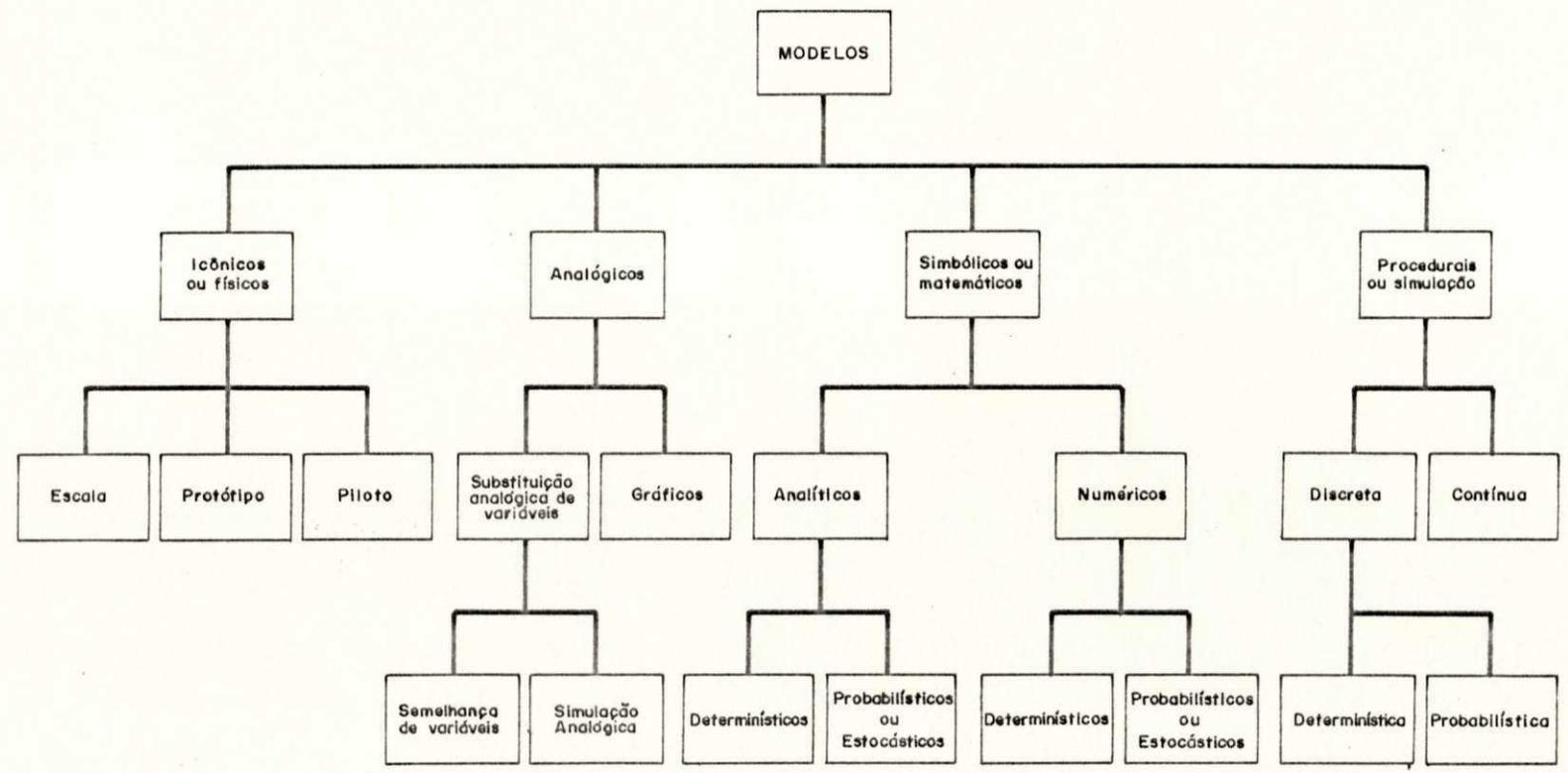


Fig. 1 PROCESSO DE SELEÇÃO DO TIPO DE MODELO.  
 Fonte: REFERÊNCIA N.º 45

Fig. 2 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE MODELOS.  
Fonte: REFERÊNCIA N.º 45



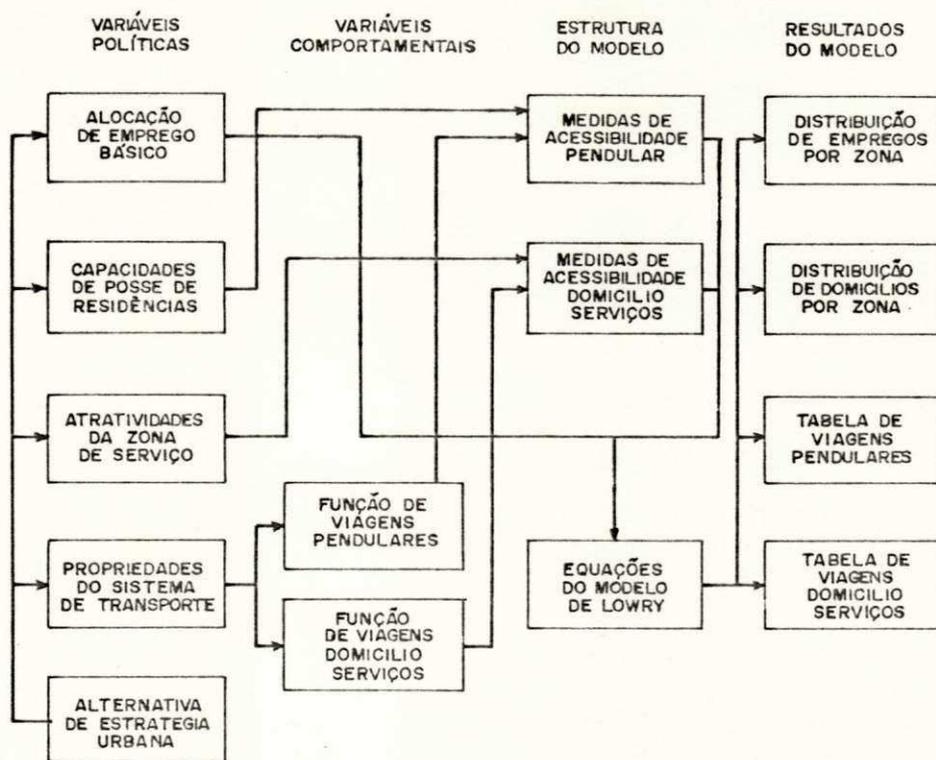


Fig. 3 O USO DO MODELO DE LOWRY PARA ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE ESTRATÉGIA URBANA.  
 Fonte: REFERÊNCIA N.º 34

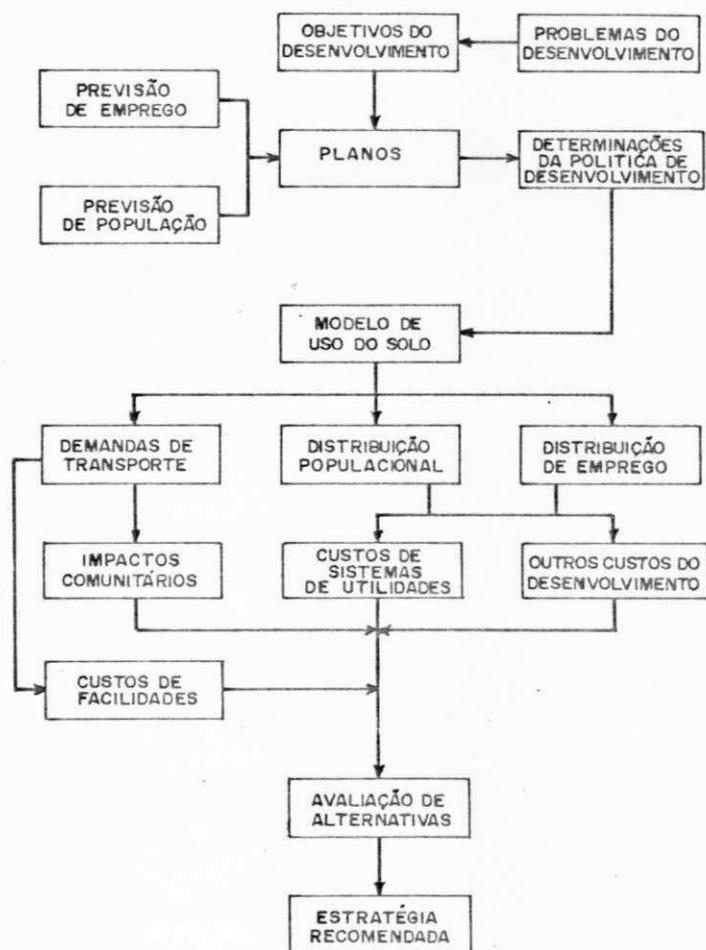


Fig. 4 ATIVIDADES ENVOLVIDAS NO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO URBANO.  
 Fonte: REFERÊNCIA N.º 34

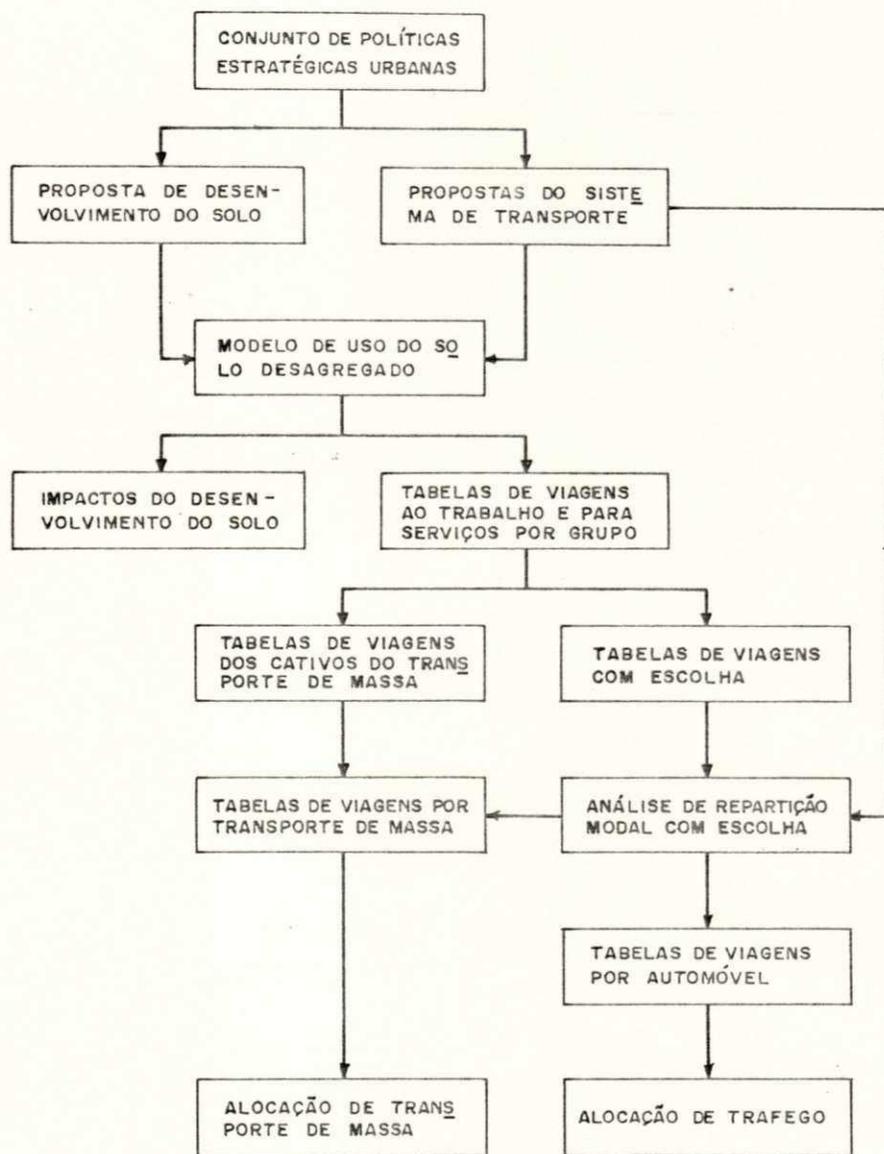


Fig. 5 PROCESSO DE ANÁLISE DE SISTEMAS DE TRANSPORTE.  
 Fonte: REFERÊNCIA N.º 34

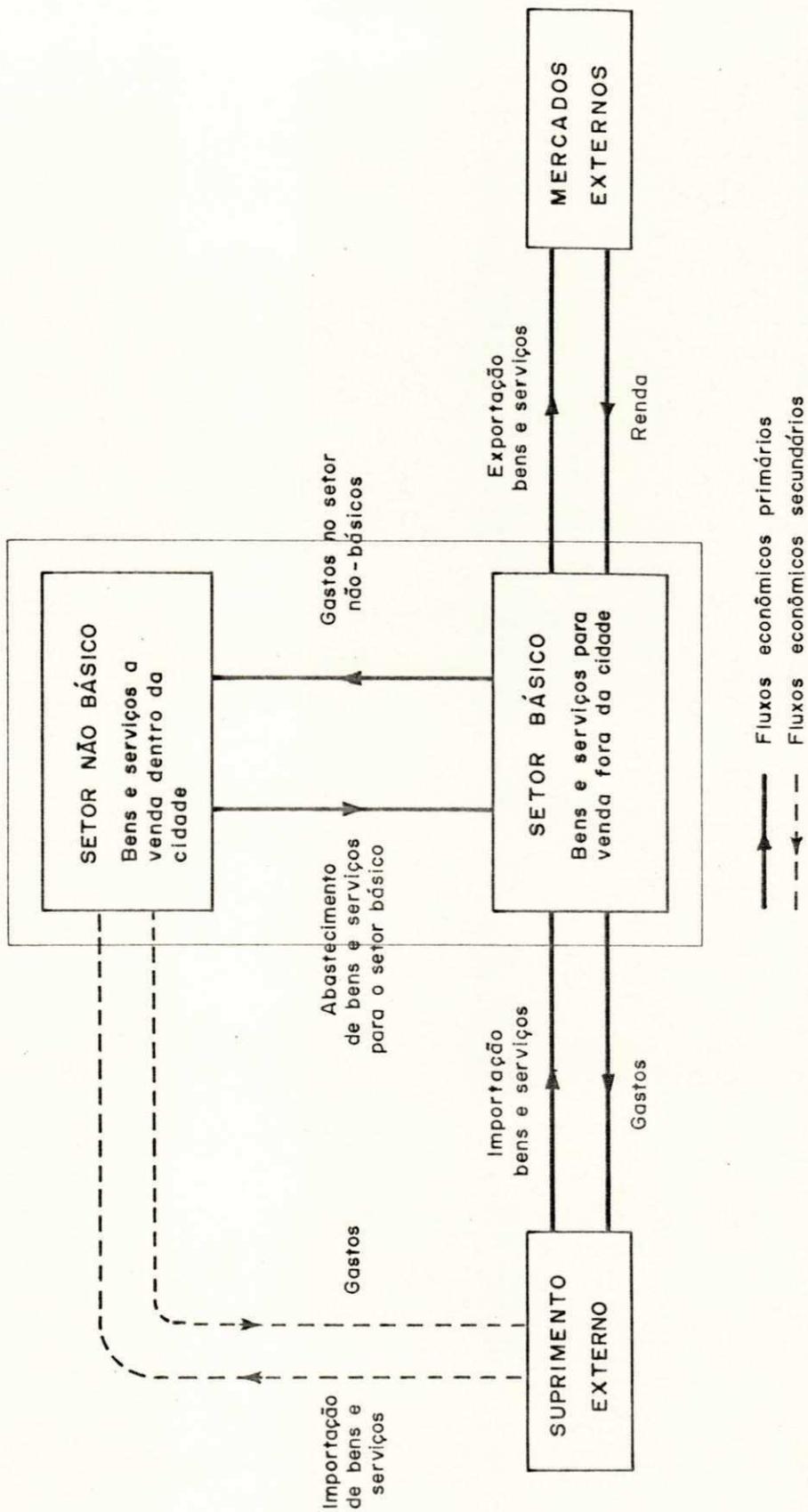


Fig. 6 COMPONENTES BÁSICOS E NÃO-BÁSICOS NA ECONOMIA URBANO.  
 Fonte: REFERÊNCIA N.º 11

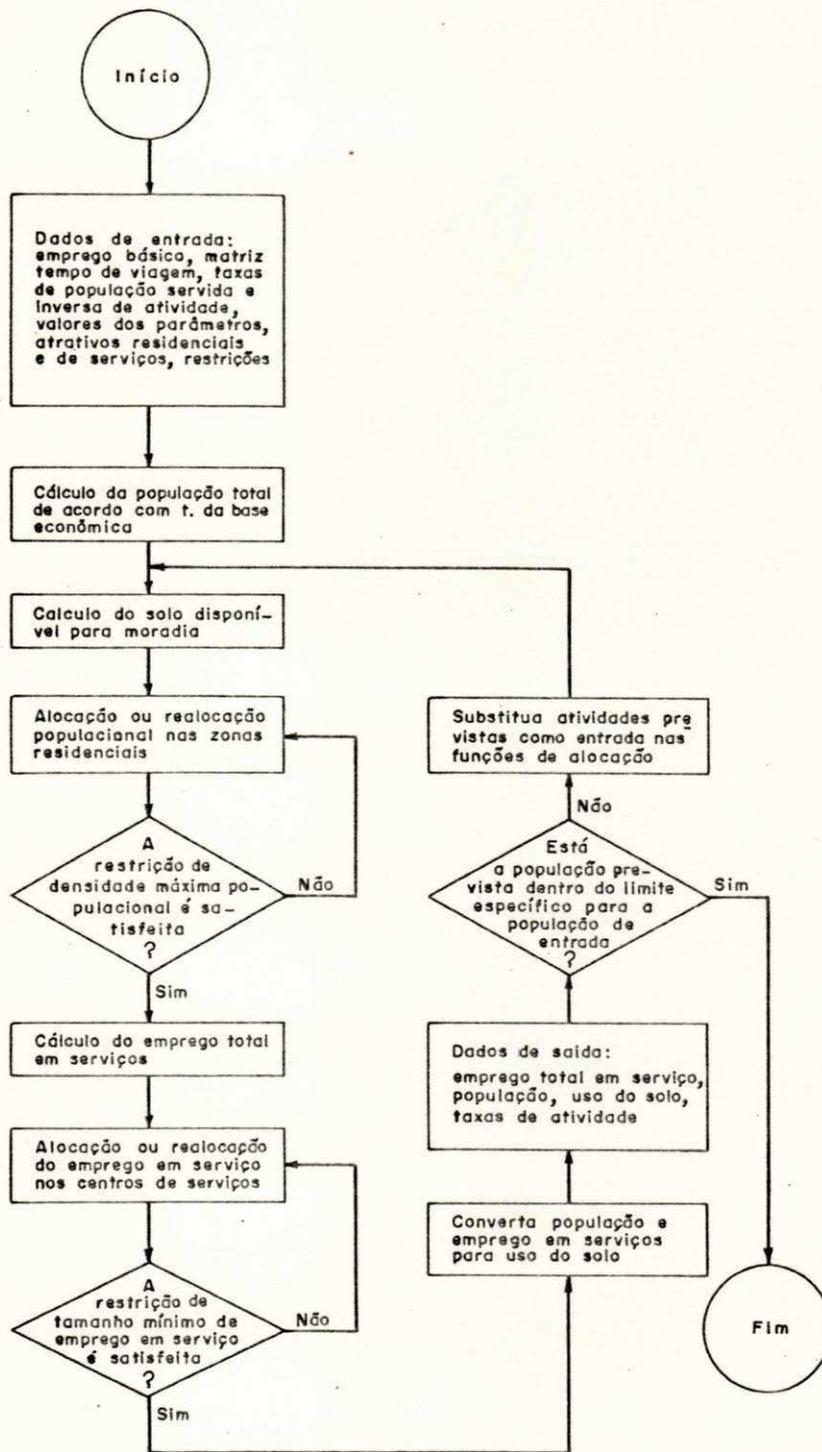


Fig. 7 FLUXOGRAMA GERAL DO MODELO DE LOWRY.  
 Fonte: REFERÊNCIA N.º 5

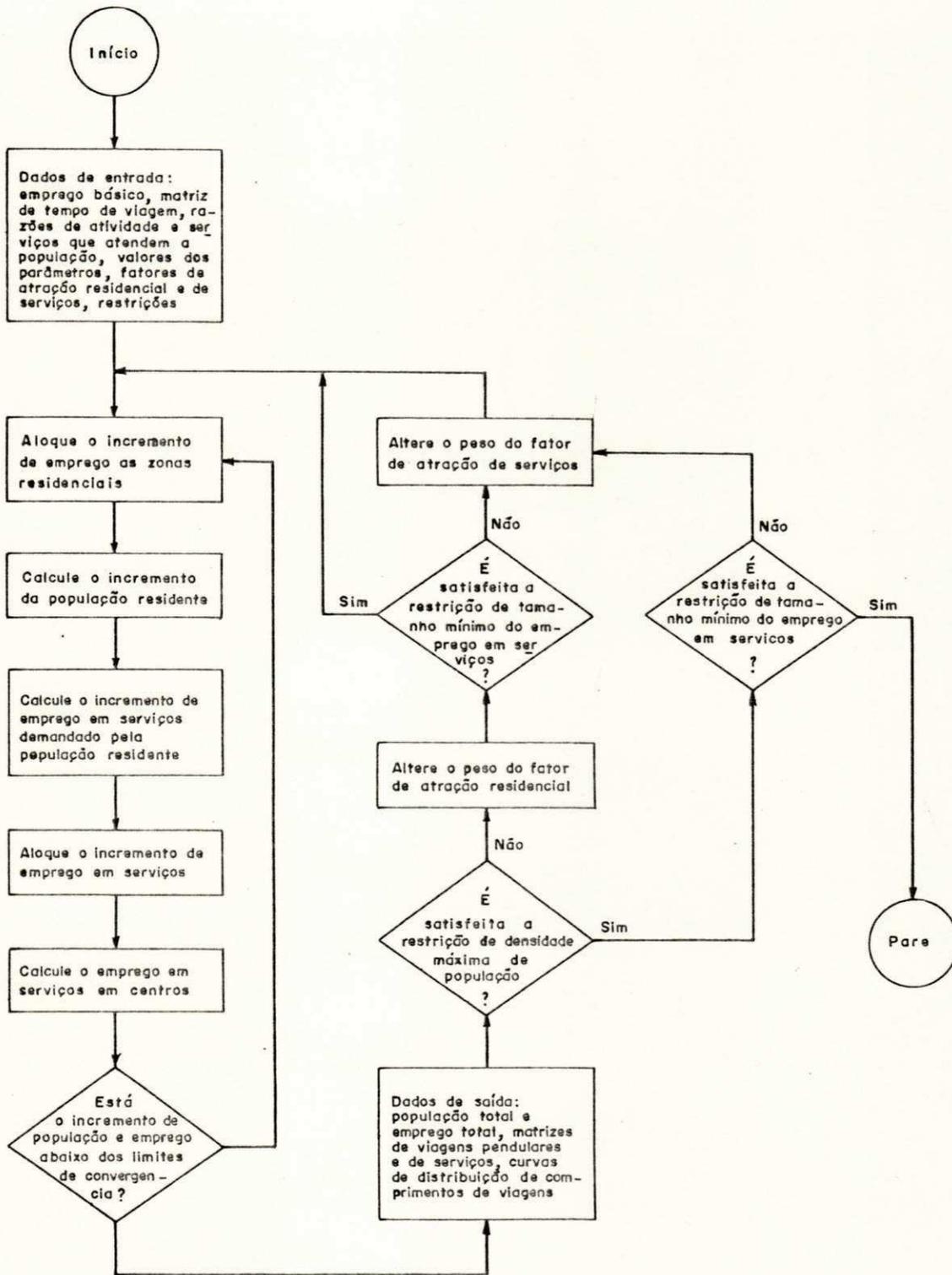


Fig. 8 VERSÃO DE BATTY DO MODELO DE LOWRY.  
 Fonte: REFERÊNCIA N.º 34

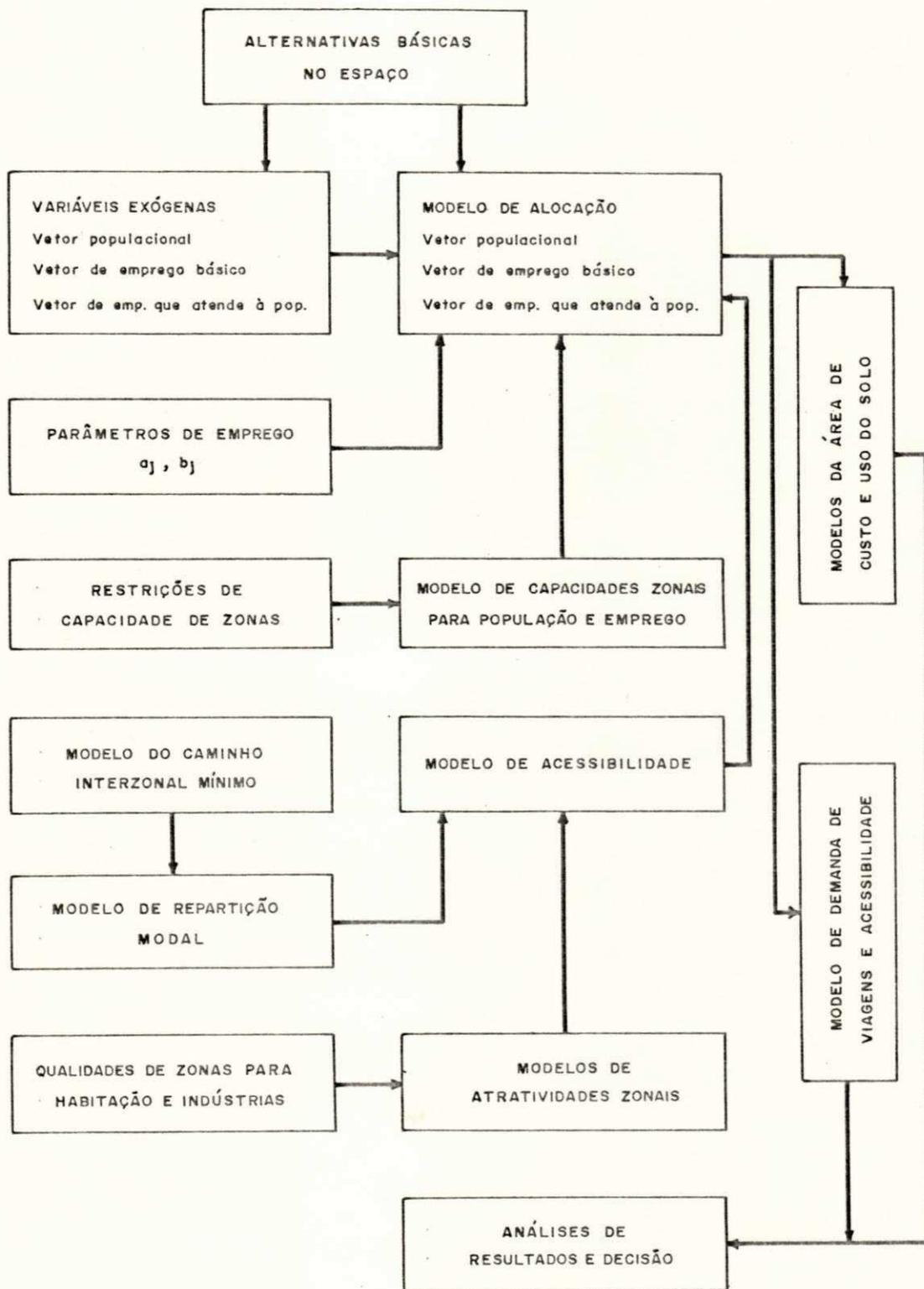


Fig. 9 FLUXO DE ATIVIDADES NA VERSÃO ORL-MOD-I DO MODELO DE GARIN-LOWRY.

Fonte: REFERÊNCIA N.º 34

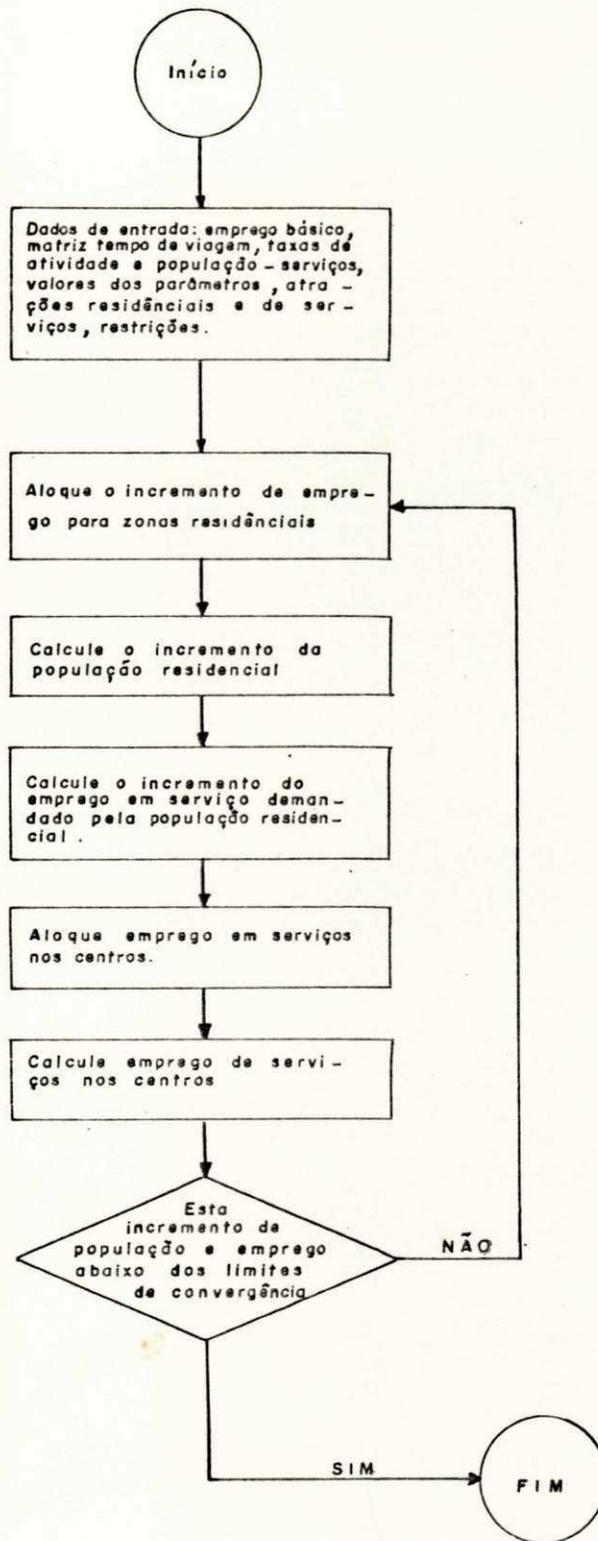


FIG: 10 VERSÃO DE GARIN DO MODELO LOWRY  
 FONTE: REFERÊNCIA Nº 1

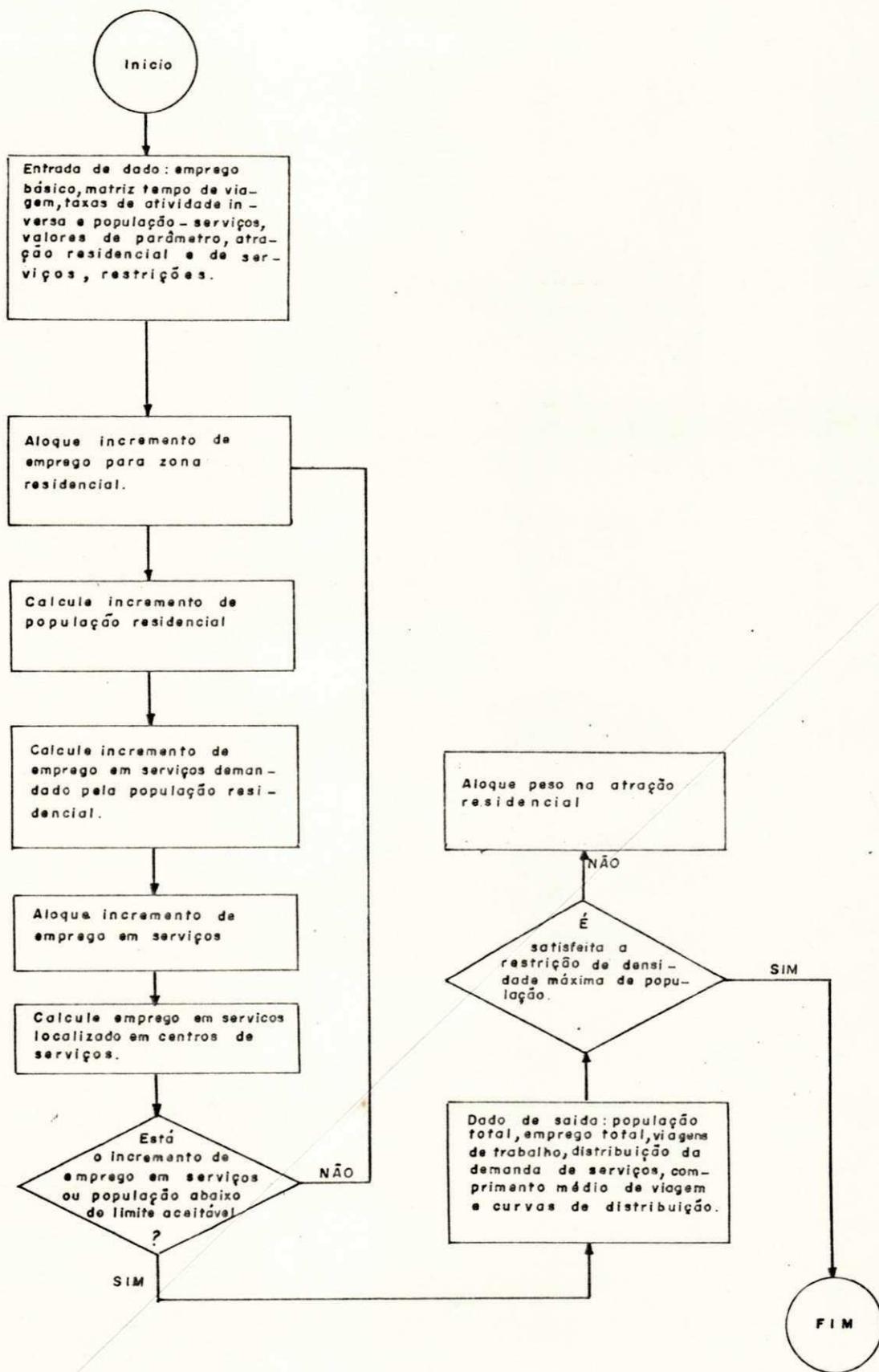


FIG. II FLUXOGRAMA GENERALISADO DO MODELO DE ALOCAÇÃO DE ATIVIDADE.

FONTE: REFERÊNCIA Nº 5

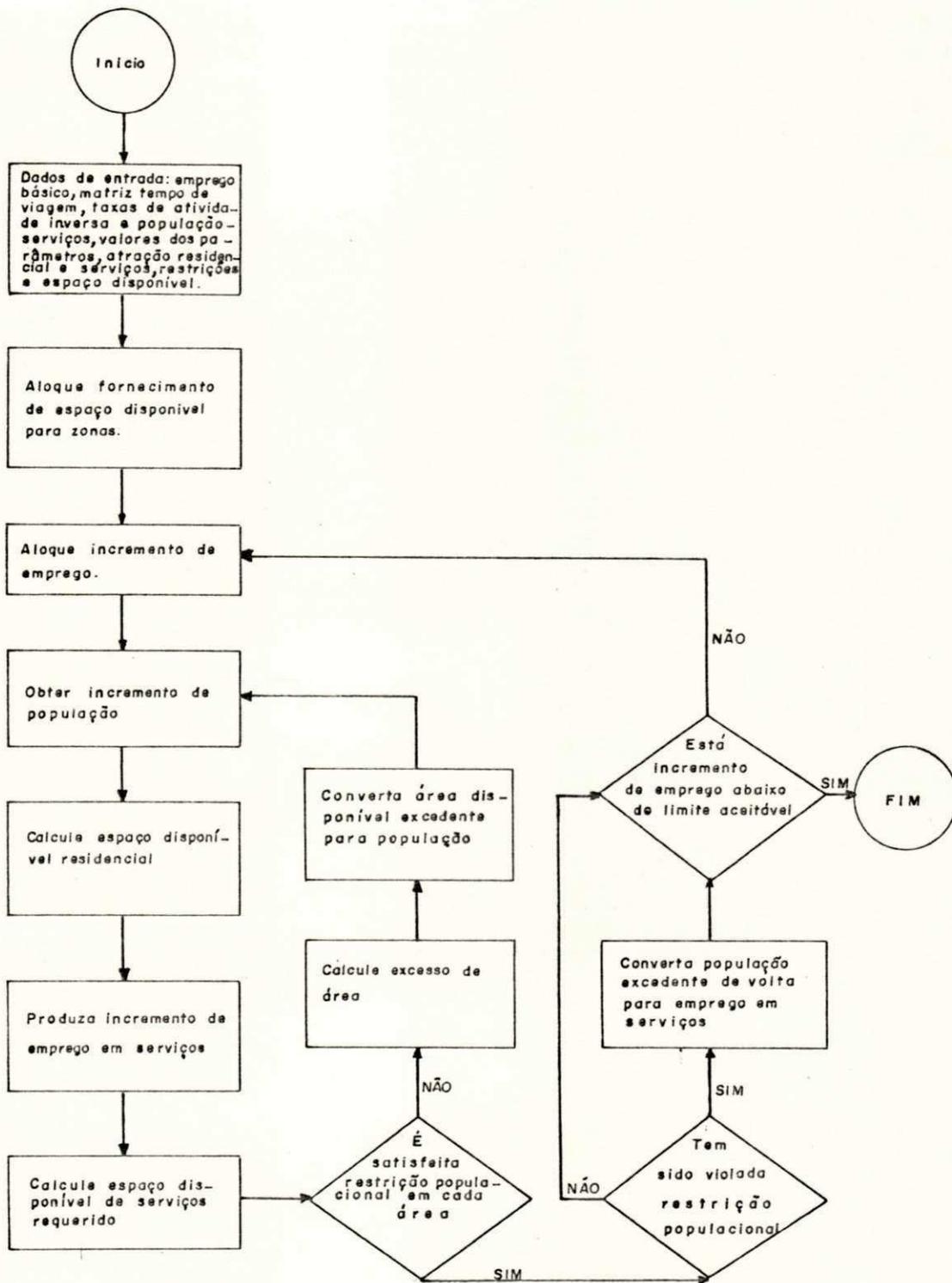


FIG. 12 FLUXOGRAMA GARIN DO MODELO STOCKS-ACTIVITIES

FONTE. REFERÊNCIA Nº 5

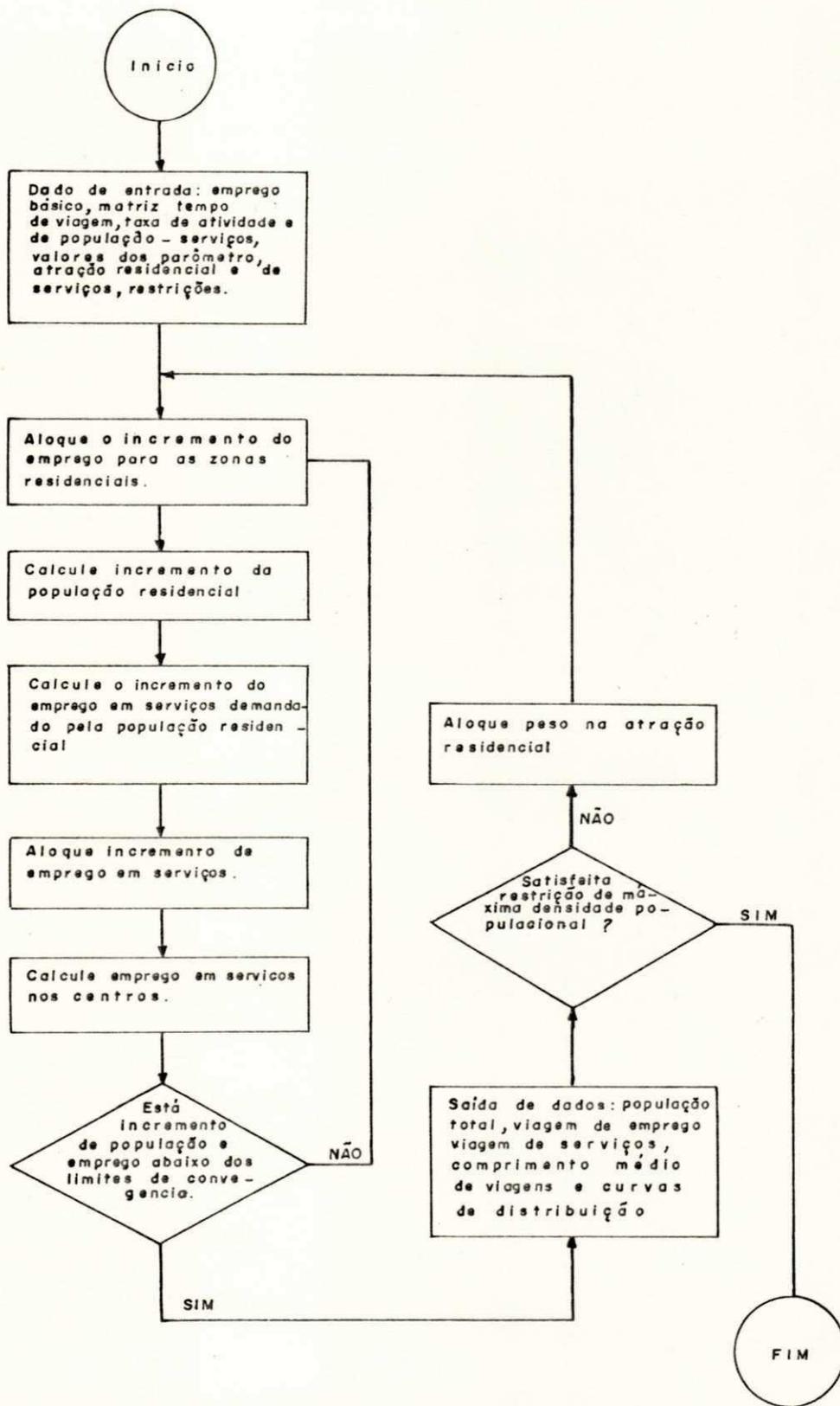


FIG. 13 MODIFICAÇÃO I DO MODELO DE GARIN-LOWRY  
 FONTE: REFERÊNCIA Nº 1

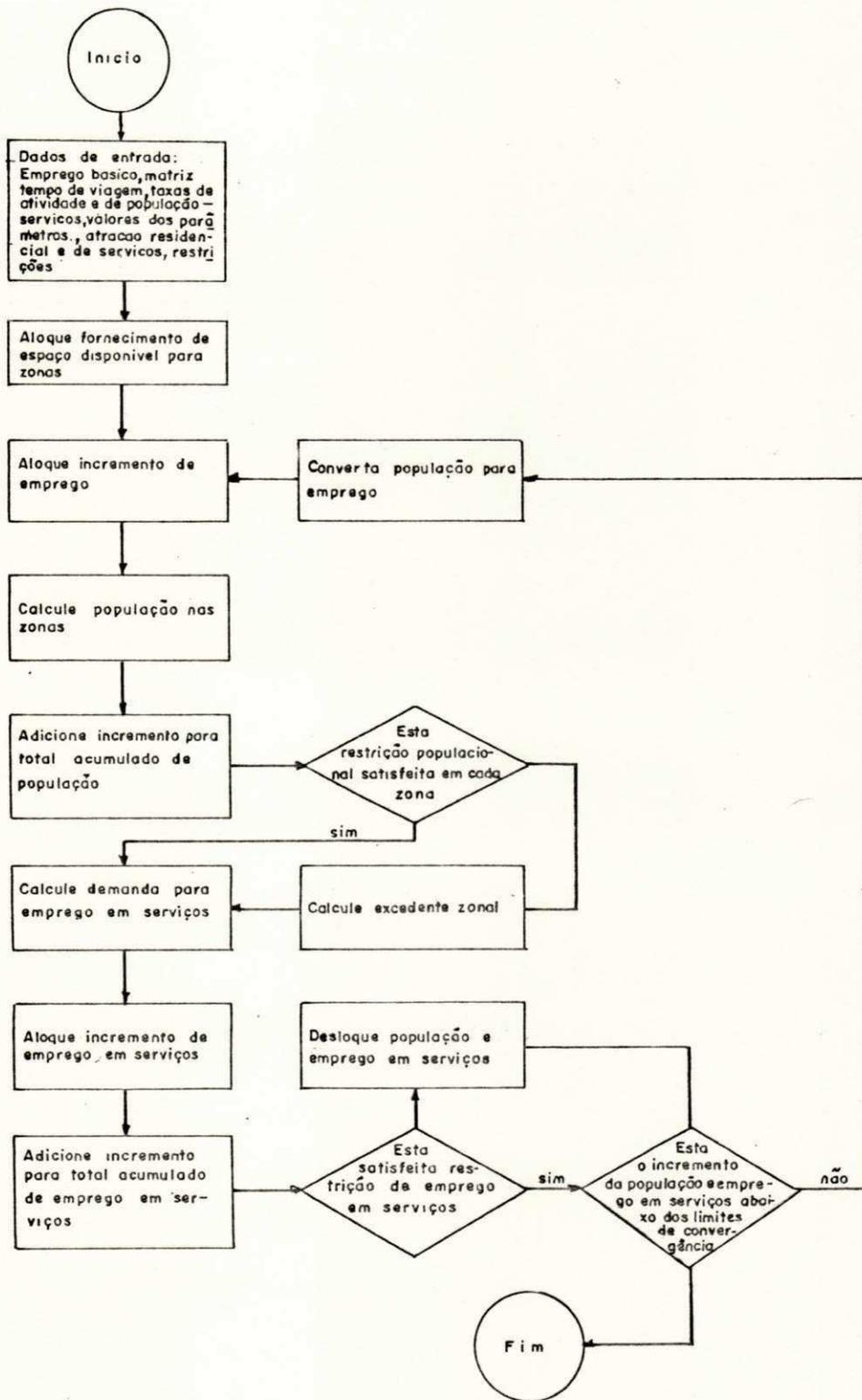


FIG. 14 MODIFICAÇÃO II DO MODELO DE GARIN - LOWRY  
 FONTE: REFERÊNCIA Nº 1

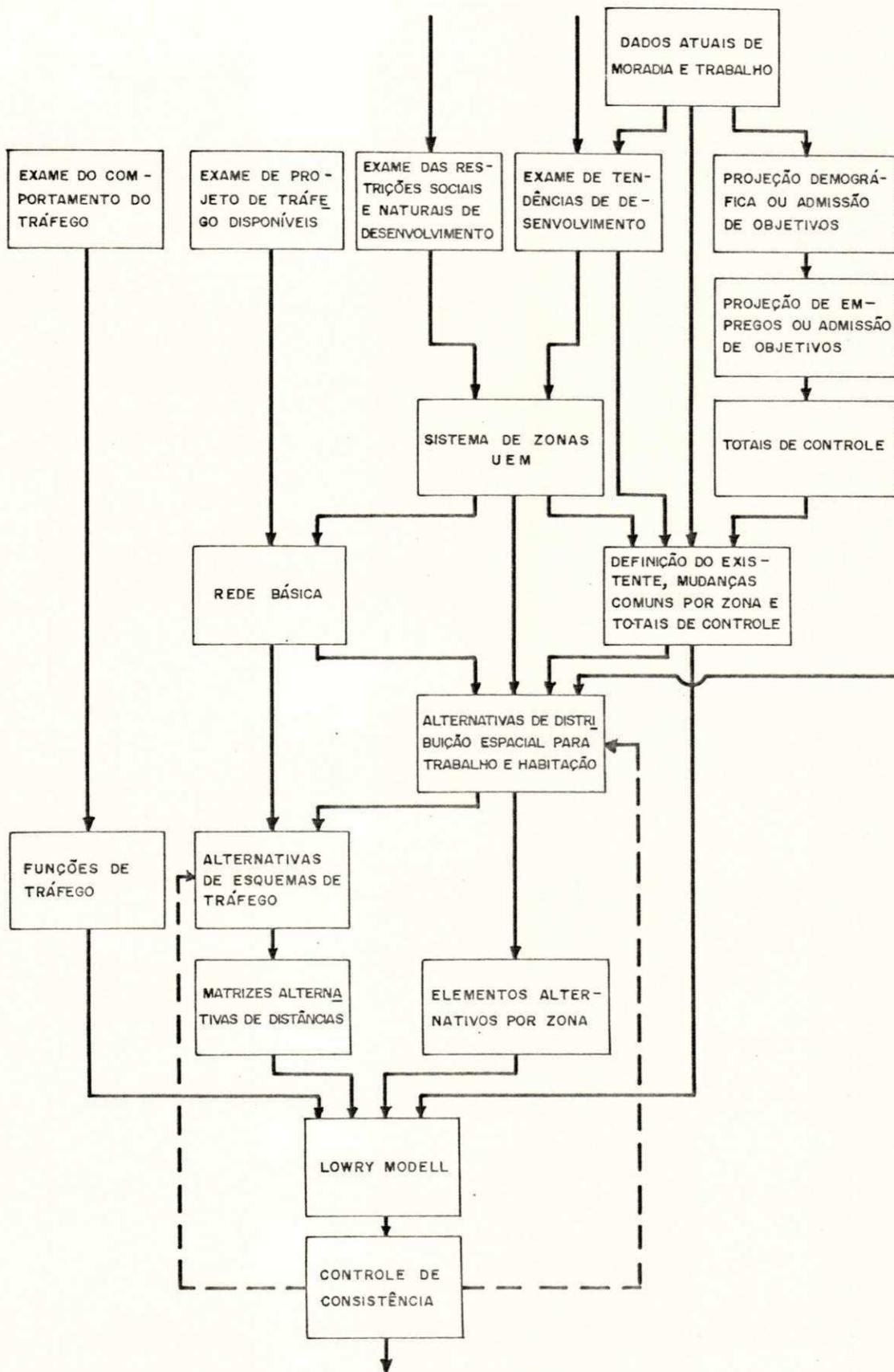


Fig. 15 DIAGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DAS ETAPAS DE TRABALHO NO USO DO LOWRY-MODELL.

Fonte: REFERÊNCIA N.º 29

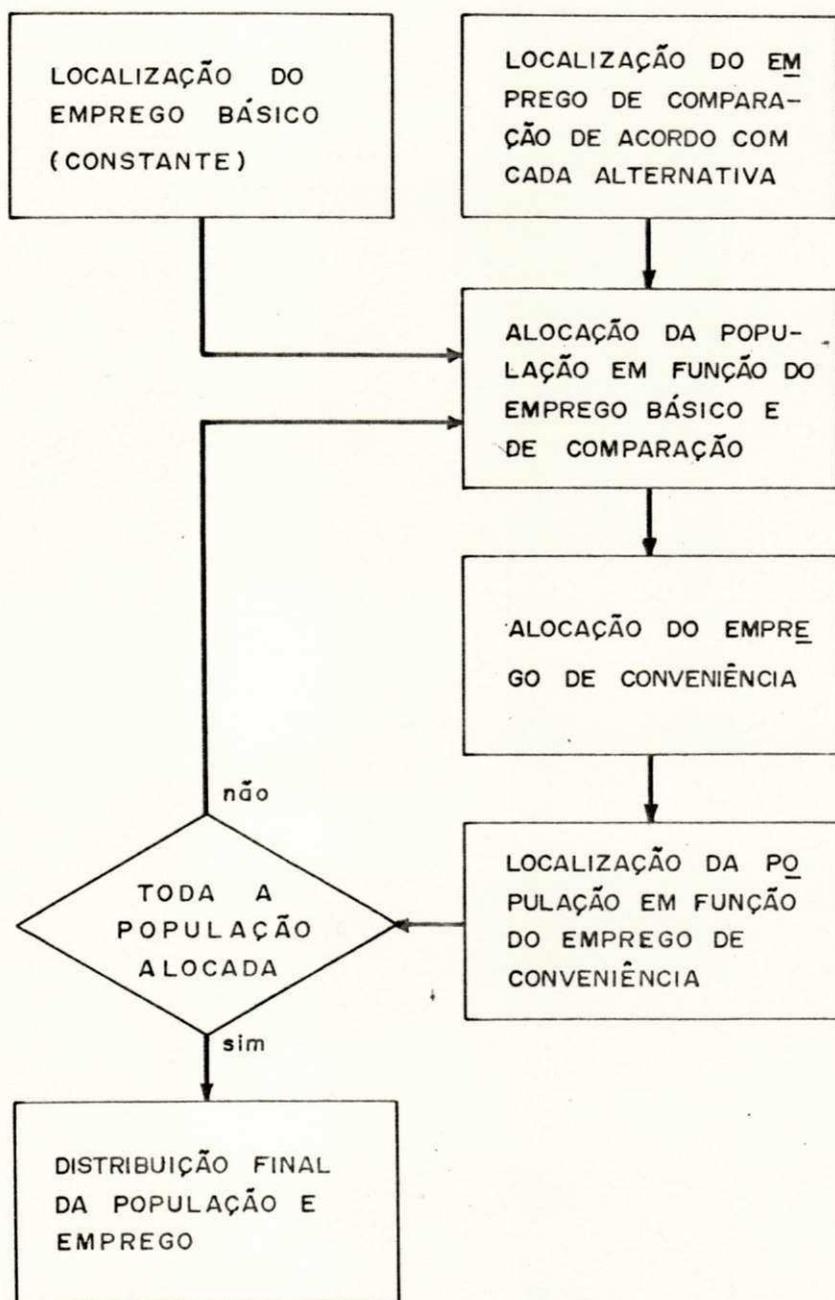


Fig. 16 ESTRUTURA DO MAA PARA A RMS.  
 Fonte: REFERÊNCIA Nº 15

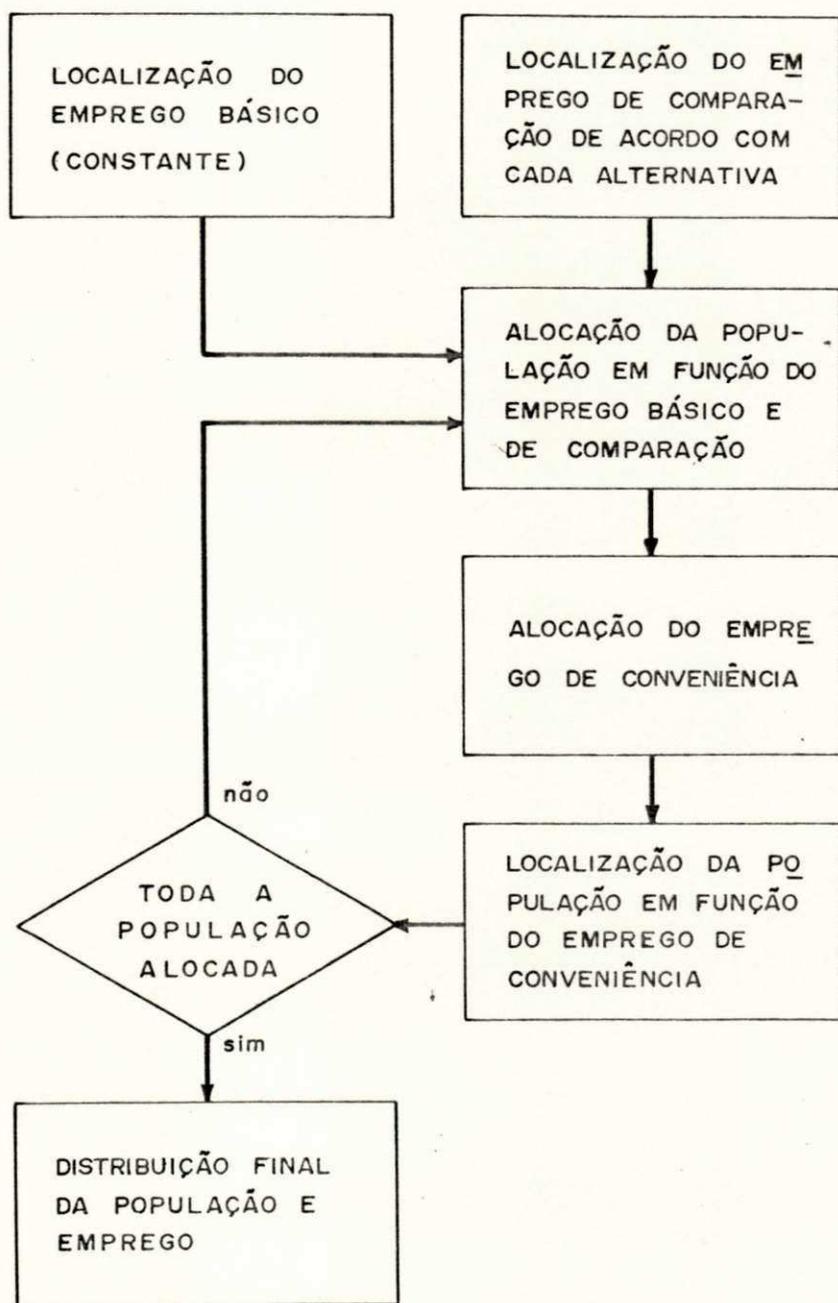


Fig. 16 ESTRUTURA DO MAA PARA A RMS.  
 Fonte: REFERÊNCIA Nº 15

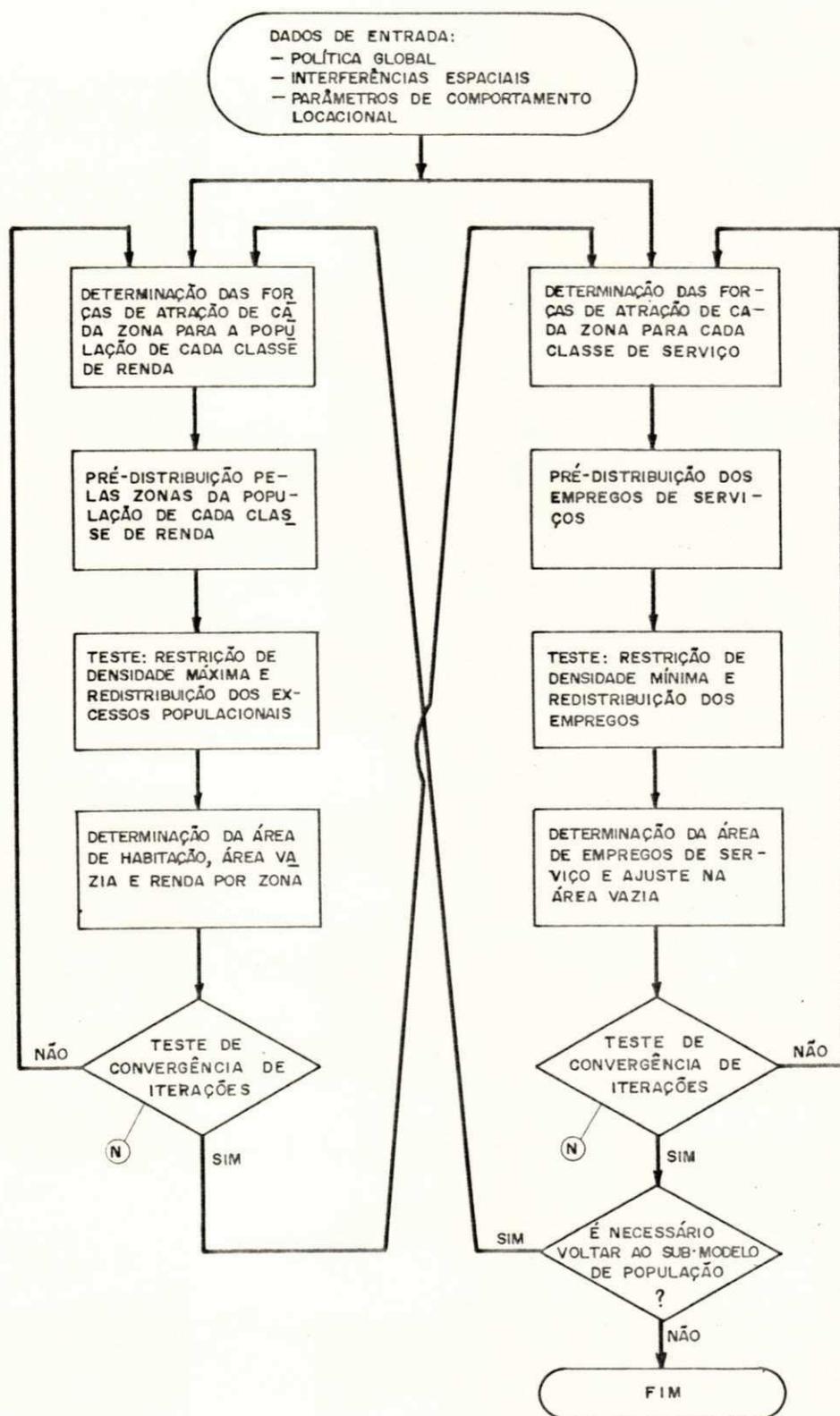


Fig. 17 FLUXOGRAMA DE OPERAÇÃO DO MODELO DE USO DO SOLO.  
 Fonte: REFERÊNCIA N.º 25

```

c -----
c PROGRAMA PARA CALCULO DE DISTRIBUICAO DE ATIVIDADES URBANAS
c USANDO UM MODELO DE USO DO SOLO TIPO LOWRY.
c Adjalmir Alves Rocha - Mestrado em Transportes - UFPb
c -----
c real eb(1,4), aij(4,4), bij(4,4), aj(4,4), bi(4,4)
c real a(4,4), b(4,4), ab(4,4), iab(4,8), mi(4,4)
c real e(1,4), p(1,4), es(1,4)
c call setfil(2,"dat")
c -----
c eb = emprego basico
c -----
100 read(2,100) (e(1,j), j=1,4)
c format(4f5.0)
c -----
c aij = funcao jornada para casa
c -----
c call ler(aij)
c -----
c bij = funcao jornada para compras
c -----
c call ler(bij)
c -----
c aj = taxa de participacao do trabalho (domicilios/empregado)
c -----
c call ler(aj)
c -----
c bi = razao de emprego em servicos (emprego em servicos/domicilio)
c -----
c call ler(bi)
c call mult(aij,aj,a)
c call mult(bij,bi,b)
c call mult(a,b,ab)
c do 5 i=1,4
c do 5 j=1,4
c mi(i,j)=0.
c mi(i,i)=1.
c iab(i,j)=mi(i,j)-ab(i,j)
5 continue
c call inv(iab)
c do 10 j=1,4
c e(1,j)=eb(1,1)*iab(1,j)+eb(1,2)*iab(2,j)+eb(1,3)*iab(3,j)+eb(1,4)*iab(4,j)
10 continue
c do 15 j=1,4
c p(1,j)=5*(e(1,1)*a(1,j)+e(1,2)*a(2,j)+e(1,3)*a(3,j)+e(1,4)*a(4,j))
c es(1,j)=e(1,j)-eb(1,j)
15 continue
c -----
c e = emprego total
c -----
101 write(6,101) (e(1,j), j=1,4)
c format(///"EMPREGO TOTAL = (",4f9.2," )"
c -----
c p = populacao total por zona (tomou-se uma media de cinco
c pessoas por domicilio)
c -----
102 write(6,102) (p(1,j), j=1,4)
c format(/"POPULACAO = (",4f9.2," )"
c -----
c write(6,103) (es(1,j), j=1,4)
103 format(/"EMPREGO EM SERVICOS = (",4f9.2," )"
c stop
c end

```

```

c -----
c subroutine ler(mat)
c real mat(4,4)
c do 5 i=1,4
5 read(2,100) (mat(i,j), j=1,4)
100 format(4f6,4)
c return
c end

```

```

c -----
c subroutine inv (mat)
c real mat(4,8), temp(4)
102 write(6,102)
c format(/"CALCULO DA MATRIZ INVERSA (I-AB)"/)
c -----
c Onde A e B são matrizes de acessibilidades e definidas como
c A = ( aij x aj ) e B = ( bij x bi )
c -----
c do 5 j=1,4
c do 10 i=5,8
c mat(j,i)=0.
c if (i-4-j) 10,3,10
3 mat(j,i)=1.
10 continue
5 write(6,100) (mat(j,i), i=1,8)
c do 15 k=1,4
c pivot=mat(k,k)
c do 20 i=1,4
20 temp(i)=mat(i,k)
c do 25 j=k,8
c mat(k,j)=mat(k,j)/pivot
c do 25 i=1,4
c if (i-k) 4,25,4
4 continue
c mat(i,j)=mat(i,j)-temp(i)*mat(k,j)
25 continue
c write(6,101)k
c do 15 j=1,4
15 write(6,100)(mat(j,i), i=1,8)
c do 30 i=1,4
c do 30 j=1,4
30 mat(i,j)=mat(i,j+4)
100 format(8f9.4)
101 format("Passo No.=", i3)
c return
c end

```

```

100,140,60,200,
.2,-.35,.3,.15,
.15,-.1,-.35,.4,
.1,-.25,.2,.45,
.2,-.2,-.35,.25,
.15,-.1,-.25,.5,
.1,-.15,-.45,.3,
.2,-.35,-.25,.2,
.25,-.2,-.4,-.15,
.85,-.0,-.0,-.0,
.0,-.9,-.0,-.0,
.0,-.0,-.95,-.0,
.0,-.0,-.0,-.8,
.2,-.0,-.0,-.0,
.0,-.33,-.0,-.0,
.0,-.0,-.55,-.0,
.0,-.0,-.0,-.25,

```

CALCULO DA MATRIZ INVERSA (I-AB)

0.9712	-0.0620	-0.1669	-0.0636	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
-0.0349	0.9318	-0.1559	-0.0513	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
-0.0326	-0.0596	0.8273	-0.0505	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
-0.0320	-0.0661	-0.1576	0.9411	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
Passo No.= 1							
1.0000	-0.0639	-0.1719	-0.0655	1.0297	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.9296	-0.1613	-0.0536	0.0360	1.0000	0.0000	0.0000
0.0000	-0.0617	0.8217	-0.0526	0.0336	0.0000	1.0000	0.0000
0.0000	-0.0682	-0.1631	0.9390	0.0329	0.0000	0.0000	1.0000
Passo No.= 2							
1.0000	0.0000	-0.1330	-0.0692	1.0321	0.0687	0.0000	0.0000
0.0000	1.0000	-0.1742	-0.0577	0.0387	1.0758	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.8109	-0.0552	0.0360	0.0664	1.0000	0.0000
0.0000	0.0000	-0.1750	0.9351	0.0356	0.0733	0.0000	1.0000
Passo No.= 3							
1.0000	0.0000	0.0000	-0.0819	1.0403	0.0837	0.2257	0.0000
0.0000	1.0000	0.0000	-0.0697	0.0464	1.0990	0.2148	0.0000
0.0000	0.0000	1.0000	-0.0693	0.0444	0.0819	1.2331	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.9230	0.0434	0.0877	0.2158	1.0000
Passo No.= 4							
1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0441	0.0915	0.2448	0.0887
0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0497	1.0966	0.2311	0.0756
0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0477	0.0895	1.2493	0.0751
0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0470	0.0950	0.2338	1.0835

```

EMPREGO TOTAL = ( 123.62 186.98 178.57 240.65 )
POPULACAO = ( 504.72 695.31 1056.73 935.41 )
EMPREGO EM SERVICOS = ( 23.62 46.98 118.57 40.65 )

```