

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM URBANISMO
MESTRADO EM URBANISMO
PROURB-FAU/UFRJ

MODELOS MATEMÁTICOS E URBANISMO CONTEMPORÂNEO

CAROLINA MARCONDES DE OLIVEIRA FERREIRA

ORIENTADORA: DENISE BARCELLOS PINHEIRO MACHADO

Rio de Janeiro Dezembro de 2011

MODELOS MATEMÁTICOS E URBANISMO CONTEMPORÂNEO

CAROLINA MARCONDES DE OLIVEIRA FERREIRA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Urbanismo.

Orientadora: Denise Barcellos Pinheiro Machado

Rio de Janeiro Dezembro de 2011

F383

Ferreira, Carolina Marcondes de Oliveira,
Modelos matemáticos e urbanismo contemporâneo/
Carolina Marcondes de Oliveira Ferreira. – Rio de Janeiro:
UFRJ/FAU, 2011.
viii,85f. Il.; 30 cm.

Orientador: Denise Barcellos Pinheiro Machado.

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/PROURB/Programa de
Pós-Graduação em Urbanismo, 2011.
Referências bibliográficas: p.81-85.

1. Urbanismo. 2. Modelos matemáticos. 3. Transporte. 4.
Uso do solo. I. Machado, Denise Barcellos Pinheiro. II.
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em
Urbanismo. III. Título.

CDD 711

MODELOS MATEMÁTICOS E URBANISMO CONTEMPORÂNEO

CAROLINA MARCONDES DE OLIVEIRA FERREIRA

Orientadora: Prof^a Doutora Denise Barcellos Pinheiro Machado

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Urbanismo.

Prof^a. Doutora Denise Barcellos Pinheiro Machado

PROURB-FAU/UFRJ

Prof^a. Doutora Eliane Ribeiro de Almeida da Silva Bessa

PROURB-FAU/UFRJ

Prof^o. Doutor Carlos Eduardo Forte Feferman

FAU/UFRJ

Rio de Janeiro, 23 de Dezembro de 2011

RESUMO

FERREIRA, Carolina Marcondes; MACHADO, Denise Barcellos Pinheiro (orientadora).
Modelos Matemáticos E Urbanismo Contemporâneo, Rio de Janeiro, 2011.
Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Urbanismo, Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O presente trabalho trata de modelos matemáticos urbanos que lidam com a integração entre dois subsistemas urbanos: transporte e uso do solo.

Conceitua o que são modelos, suas principais características e os descreve e classifica, apresentando uma visão geral de alguns que foram considerados relevantes para a história da modelagem urbana.

Descreve a mudança no campo da modelagem ao longo do tempo, o estado da arte e considera algumas das suas vantagens e limitações.

O trabalho sugere a possibilidade de utilização dos modelos como uma ferramenta útil para urbanistas na sua prática profissional, como projetos e pesquisas e sua possível contribuição para a compreensão da complexidade da cidade contemporânea.

Aborda como as mudanças das teorias e práticas urbanas, por exemplo, a visão sistêmica e a teoria da complexidade, se relacionam com as mudanças no entendimento das cidades e como influenciam o campo da modelagem urbana.

ABSTRACT

FERREIRA, Carolina Marcondes; MACHADO, Denise Barcellos Pinheiro (advisor).
Mathematical Models And Contemporary Urbanism, Rio de Janeiro, 2011. MSc.
Dissertation – Programa de Pós-graduação em Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Present dissertation is on contemporary mathematical urban models that deal with the integration between two urban subsystems: transport and land use. Defines, describes and classify models and presents an overview of some urban models considered relevant. Relates changes in urban models overtime, its state of art and some of its advantages and limitations. Suggests models might be a useful tool to urbanists in their professional practice, projects and research and also helpful to the understanding of the complexity of contemporary cities. How changes in urban theories and practices such as the systemic view and the complexity theory are related to changes in the understanding of cities and urban modelling.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO | 01 |
| CAPÍTULO I: DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES DE MODELOS | 06 |
| 1.1 Definições de modelos | 06 |
| 1.2 Função dos modelos | 09 |
| 1.3 Classificação de modelos | 09 |
| 1.4 Metodologias das ciências naturais e as ciências sociais | 14 |
| 1.5 Modelos urbanos e modelagem urbana | 20 |
| 1.6 Modelos integrados de uso do solo e transporte | 23 |
| CAPÍTULO II: EVOLUÇÃO DOS MODELOS URBANOS | 30 |
| 2.1 Panorama histórico | 30 |
| 2.2 Modelos microeconômicos | 34 |
| 2.2.1 Modelo de Von Thünen | 37 |
| 2.2.2 Modelo de Christaller | 39 |
| 2.2.3 Modelo de Wingo e Alonso | 40 |
| 2.3 Modelos de interação espacial | 42 |
| 2.3.1. Modelo de Lowry | 46 |
| 2.3.2. Modelo Meplan | 47 |
| 2.3.3. Modelos de autômatos celulares | 48 |
| CAPÍTULO III: MODELOS URBANOS: CRÍTICAS E ESTADO DA ARTE | 51 |
| 3.1 Modelos urbanos: críticas e estado da arte | 51 |
| CAPÍTULO IV: TEORIA SISTÊMICA E TEORIA DA COMPLEXIDADE | 60 |
| 4.1 Evolução histórica das teorias científicas, de mecanicistas a sistêmicas | 60 |
| 4.2 Teoria sistêmica | 65 |
| 4.3 Teoria da complexidade e as cidades | 70 |
| 4.4 Complexidade e modelos | 73 |
| CONCLUSÃO | 76 |
| BIBLIOGRAFIA | 81 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01- Classificação dos modelos, ECHENIQUE, Marcial. <i>Modelos Matemáticos de la Estructura Urbana</i> . Buenos Aires: SIAP, 1976. | 10 |
| Figura 02- Método indutivo e dedutivo- http://razaoemquestao.blogspot.com.br/2013/09/exercitando-o-raciocinio-logico.html | 20 |
| Figura 03- The 'land-use transport feedback cycle' pág 06 - Michael Wegener, Franz Fürst Land-Use Transport Interaction: State of the Art | 25 |
| Figura 04- Map of active urban/regional modeling centers in the late 1980s and early 1990s and the names of their principal researchers. Current and Future Land Use Models- Michael Wegener, Institute of Spatial Planning. University of Dortmund, Germany. Pág 03 | 27 |
| Figura 05- Comparação entre modelos - Current and Future Land Use Models- Michael Wegener, Institute of Spatial Planning. University of Dortmund, Germany. Pág 17 | 29 |
| Figura 06- Evolução dos modelos urbanos. Croquis feito pela autora. | 34 |
| Figura 07- Modelo de Von Thünen - http://gecog07.blogspot.com.br/2007/11/modelo-de-la-utilizacin-del-suelo-de.html | 39 |
| Figura 08- Modelo de Christaller- http://sgpwe.izt.uam.mx/Curso/340.Geografia-Economica.html | 40 |
| Figura 09- Modelo de Alonso - The model of urban land markets by Alonso (1964). Pág 12. Michael Wegener, Franz Fürst Land-Use Transport Interaction: State of the Art | 41 |

INTRODUÇÃO

Existe uma longa história de esforços na utilização de modelos urbanos para tentar compreender, antecipar e lidar com os impactos do crescimento urbano.

Este estudo trata de modelos urbanos e indica a possibilidade da sua aplicação como uma ferramenta útil principalmente para o urbanista na sua prática profissional.

Entre urbanistas, muitas vezes, há interpretações reducionistas quanto ao entendimento do que seja um modelo, e este trabalho tenta esclarecer o que eles são. O propósito fundamental de um modelo é prover um quadro simplificado e inteligível da realidade, com o objetivo de compreendê-la melhor quando esta realidade é muito complexa para ser percebida ou avaliada.

A cidade é composta por vários sistemas que não existem isoladamente e que se cruzam e se sobrepõem gerando estruturas mais complexas. É através das sinergias entre estes sistemas que é gerada a qualidade de um espaço, que não é propriedade de cada sistema, mas surge do funcionamento de todo o conjunto.

Assim a cidade é um grande sistema de alta complexidade que não pode ser compreendido apenas através de uma abordagem intrínseca de suas partes. As partes precisam ser entendidas no contexto de um todo maior, isto é, para sua compreensão é necessário usar o pensamento sistêmico.

De acordo com Wegener (1999), o transporte e o uso do solo são os elementos mais essenciais do desenvolvimento espacial urbano.

A história das cidades segundo François Ascher (2004) “está profundamente relacionada com o seu sistema de transporte e a distribuição de pessoas, informações e bens. Um sistema interdependente e que tem um impacto profundo na forma da cidade e na organização social e funcional dos espaços urbanos. (...) Zoneamento, densidades urbanas, centralidades, nós,

polarização, e segregação funcional e social que ocorrem nas nossas cidades dependem e simultaneamente dão forma ao seu desenvolvimento. Em uma “*sociedade orientada por escolhas*” (*choice-oriented society*), a mobilidade é o instrumento primário de escolha”

.
Pode ser argumentado que acessibilidade tem um papel importante na relação entre os vários componentes de uso do solo e do sistema de transportes.

Por esses motivos, me interessei por modelos integrados de uso do solo e transporte.

Tem havido um crescente interesse na última década por modelos integrados de uso do solo e transporte apesar dos fracassos das ambiciosas tentativas nos anos 70 e 80. Wadell (2002).

A partir da década de setenta a maioria das grandes cidades teve o seu futuro muito alterado devido à estabilização de suas populações. Esta é uma das razões porque ao longo das últimas décadas tem-se abandonado os planos gerais (*Comprehensive Master Plans*), que abordavam a cidade com visões diversas e integradas (físicas, econômicas, sociais, etc.). Acreditava-se que já não era mais necessário um plano geral para ordenar uma explosão demográfica e urbanística. Entretanto agora observamos que a população da metrópole, mesmo tendo deixado de crescer, não parou de se movimentar: muitos bairros têm perdido população, outros ganham, as famílias diminuem de tamanho, o que aumenta muito a demanda por mais habitações mesmo sem crescimento demográfico. O número de carros não para de crescer e surgiram questões ecológicas e ambientais que só podem ser abordadas e resolvidas considerando-se o todo.

Modelos de uso do solo e transporte começaram a ser mais amplamente utilizados para projetos urbanos impelidos pelo desenvolvimento paralelo da computação e da teoria da complexidade, caos, fractais e afins (Batty et al., 1997). As principais abordagens teóricas para explicar esta interação do uso do

solo e do transporte incluem teorias técnicas (sistemas de mobilidade urbana), teorias econômicas (cidades como mercados) e teorias sociais (sociedade e espaço urbano).

Seja para avaliar situações existentes ou situações propostas, os modelos de uso do solo e transporte analisam e sintetizam essa inter-relação de maneira lógica e sistemática, por um lado quantificando o uso e as ofertas de terra urbana e seus preços, por outro qualificando e quantificando as demandas por transporte e seus custos.

Houve grandes avanços nesses modelos, que passaram a incorporar dimensões ambientais, sociais, econômicas e políticas, e foram mais bem sucedidos na articulação analítica de fatores de micro e macroescalas espaciais.

A necessidade de produzir teorias mais coerentes da estrutura e do crescimento urbano tem sido a atividade de pesquisadores vindos de diversos campos de conhecimento. Porém, uma importante mudança ocorrida na teoria do desenvolvimento urbano e da modelagem talvez tenha sido a mudança gradual do método indutivo de análise para o método dedutivo.

O urbanismo trata de um tema complexo, a cidade, para cuja compreensão é necessária uma visão sistêmica, complementar à visão analítica,

Em meados do século XX, passa-se de uma visão racionalista e simplificada da cidade, em que se faziam grandes planos extremamente esquemáticos e quase nunca implementados, para planos descentralizados e projetos locais, rapidamente implementados.

Estas intervenções locais nos levaram a nos esquecer do todo. Segundo Batty (2005) “vem se adotando no urbanismo uma nova visão sistêmica e não simplificada da cidade, reconhecendo sua enorme complexidade. Esta nova abordagem das cidades (e de muitos outros sistemas físicos e sociais) é importante porque muda a nossa atitude frente ao *design* e às intervenções

urbanas que se tornam menos intrusivas do que as que dominaram o *design* e a administração das cidades no século passado. Essa nova abordagem é consistente com o sentimento que se tem dos limites de nossa capacidade de administrar e planejar”.

Para Batty houve também uma mudança de perspectiva no planejamento urbano e no design das cidades de *top-down* para *bottom-up*, que muda a nossa concepção do sistema: de uma concepção em que assumimos que todas as coisas sobre o sistema são conhecidas para outra em que esta afirmação não é mais defensável. Os sistemas das cidades não são mais pensados como “complicados”, mas como “complexos”.

A modelagem urbana é parte integrante desta revolução na qual as fronteiras entre as disciplinas tradicionais ficaram nebulosas. Há uma necessidade crescente de cooperação transdisciplinar.

São muitas as razões para o desenvolvimento de modelos matemáticos integrados de uso do solo, como ajudar a compreender os fenômenos urbanos através de análise e experimentos que representam o objetivo tradicional da ciência.

A sociedade urbana se tornou mais diversificada, móvel e difusa, os fenômenos urbanos e seus mecanismos passaram a apresentar um grau de complexidade e ambiguidade maiores e compreendê-los se tornou mais difícil. A modelagem urbana se desenvolveu para auxiliar a compreensão dessa complexidade.

A modelagem urbana ainda é um desafio, porém um esforço necessário para a compreensão da complexidade da cidade contemporânea. Portanto modelos urbanos deveriam ser mais estudados e compreendidos.

Este trabalho está organizado em quatro capítulos. O primeiro conceitua o que são modelos, explica suas principais características e os classifica. O segundo capítulo apresenta uma visão geral dos modelos e descreve alguns que tratam

do uso do solo e transporte. O terceiro relata o estado da arte da modelagem urbana, identificando suas vantagens e limitações. O quarto aborda as mudanças das teorias e práticas urbanas, a visão sistêmica, a teoria da complexidade que se relacionam com as mudanças no entendimento dos sistemas urbanos e influenciam o campo da modelagem.

CAPÍTULO I: DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES DE MODELOS

1.1 Definição de modelos

Há grandes incompreensões entre os urbanistas quanto ao entendimento do que é um modelo, e se torna necessário esclarecer o significado em que o termo modelo é empregado neste trabalho.

Em vista da ambigüidade do termo e da confusão que prevalece na literatura filosófica e científica entre os vários sentidos da palavra, primeiramente definiremos o que é um modelo. O termo modelo designa uma variedade de conceitos que se torna fundamental diferenciar.

Françoise Choay (1998), por exemplo, designa modelos como imagens da cidade futura, projeções espaciais e, com esse termo, pretende sublinhar simultaneamente o valor exemplar das construções propostas e seu caráter reproduzível. A autora insiste que os modelos tratados em seu livro *Urbanismo* não são estruturas abstratas, mas imagens monolíticas indissociáveis da soma de seus detalhes.

É comum a palavra modelo ser usada em locuções como cidade-modelo, escola-modelo, significando coisas ou pessoas sem defeitos, possíveis de servirem como exemplo. Não é o caso dos modelos tratados neste trabalho, pois aqui os modelos não são exemplares. A definição adotada é a de Marcial Echenique (1976), que diz que toda representação é um modelo cujo objetivo é fornecer um quadro simplificado e inteligível da realidade, com o objetivo de conhecê-la melhor. A representação se torna necessária, segundo Barra (1979), “quando esta realidade é muito complexa para ser percebida ou avaliada”. Este conceito de modelo é usado em outras ciências e áreas do conhecimento.

A representação é definida por Echenique (1976) como “a expressão de certas características relevantes da realidade observada, incluindo nesta os objetos ou sistemas que nela existem, existiram ou existirão”.

Todos os modelos são simplificações da realidade não só pela impossibilidade de inclusão de todos os detalhes, mas porque a simplificação é intencional. O construtor do modelo ignora deliberadamente aspectos não essenciais. Portanto, o modelo é, ainda, mais uma idealização do que uma simplificação.

Porém, Barra (1979) adverte para o perigo da simplificação exagerada, que nem sempre é sinal de clareza. Segundo o autor, “teorias e modelos muito simplificados são perigosos ou por serem muito generalizados ou por terem falta de informação. Einstein em sua famosa citação diz que “uma teoria deve ser a mais simples possível, mas não mais simples do que isso”.

Modelo também pode ser definido, segundo Barra, “como uma teoria numa forma de teste, ou seja, modelos são intermediários entre teoria e realidade”.

De acordo com Marcial Echenique (1976) só podemos ver a realidade através de uma teoria. Sem um marco teórico de referência a informação sobre os fatos não tem nenhuma relevância: “As descrições não se escrevem sobre os fatos para serem transferidas diretamente à linguagem, mas já são ‘interpretações de fatos’” (Hesse, 1963). Tais interpretações dependem de uma série de premissas já estabelecidas. A coleta e ordenação das informações pressupõem também um marco teórico de referência.

Como C.H. Coobs (1964) diz: “Todo conhecimento é resultado da teoria – adquirimos informação a partir de hipóteses prévias –, ‘os fatos são inferências’ como também os dados e medidas”. Assim, o modelo tem que ser uma representação simplificada da realidade baseada em uma teoria.

David Bohm (2007) nos explica que a palavra teoria deriva do grego *theoria* e tem, assim como a palavra *teatro*, a raiz numa palavra que significa observar

ou fazer espetáculo. Assim poder-se-ia dizer que uma teoria é basicamente uma forma de *insight* ou introspecção, isto é, um modo de olhar para o mundo e não uma forma de conhecimento de como ele é.

Stephen Hawking (2010) chega a afirmar “que não há conceito da realidade independente de uma teoria”. Segundo Hawking, até o advento da física moderna, admitia-se em geral que todo o conhecimento do mundo poderia ser obtido através da observação direta, que as coisas eram como pareciam, como percebidas pelos nossos sentidos. A visão ingênua da realidade não é mais compatível, segundo ele, com a física moderna. Para lidar com tais paradoxos, propõe uma abordagem que denominou de “realismo dependente do modelo”, que se fundamenta na idéia de que nossos cérebros interpretam os dados vindos dos órgãos sensoriais elaborando um modelo do mundo.

Este conceito pode ser aplicado para outras ciências e áreas do conhecimento. Portanto, a observação e a abstração da realidade são subjetivas e dependem de cada observador. Echenique diz que “é como se existisse uma pluralidade de realidades (parciais e extrínsecas) contra uma única realidade (total e intrínseca). Esta formulação orienta a seleção dos aspectos relevantes da realidade que se pretende representar, tornando finito o número infinito de fenômenos existentes”.

Assim como não há nenhum mapa plano que represente bem toda a superfície terrestre, tampouco há uma teoria única que seja uma boa representação das observações e, menos ainda, uma única realidade possível.

Chorafas apud Echenique (1976) sugere que “um modelo deve ser suficientemente simples para sua manipulação e compreensão por parte dos que o usam, suficientemente representativo em toda sua gama de implicações, e suficientemente complexo para representar fielmente o sistema em estudo”.

1.2 Função dos modelos

Segundo Echenique, é possível manipular o modelo a fim de propor melhorias na realidade. Sendo este o principal propósito dos termos gerais, podem-se estabelecer algumas funções mais específicas:

- função psicológica, que permite visualizar e compreender um grupo de fenômenos que, de outro modo, não seria possível, dada sua magnitude e complexidade;
- função aquisitiva, que provê uma estrutura onde a informação pode ser definida, colecionada e ordenada;
- função lógica, que explica como acontece um fenômeno em particular;
- função normativa, que compara alguns fenômenos com outros mais familiares;
- função cognitiva, que comunica ideias científicas;

Três funções adicionais podem se agregar a estas: a *função sistemática*, que fornece uma estrutura onde uma interpretação da realidade (ou de realidades possíveis) pode ser verificada; a *função partitiva*, que fornece uma estrutura onde se podem definir estudos parciais, conhecendo sua interação com o resto do sistema; e a *função avaliativa*, cuja estrutura permite que o efeito de diferentes decisões dentro de um sistema possa ser avaliado.

1.3 Classificação dos modelos

Segundo Batty, “na literatura sobre modelagem urbana existem diferentes classificações de modelos. E de certo modo todas revelam as dificuldades na elaboração desta tarefa, causadas principalmente por ter que colocar um modelo em uma única classe particular”.

Segundo Michael Wegener, (1999) os modelos podem ser classificados por sua estrutura geral, seus fundamentos teóricos, suas técnicas de modelagem,

sua dinâmica, sua base de dados, calibração e validação, operacionalidade e aplicações atuais e futuras.

Já Marcial Echenique (1976) classifica os modelos de maneira mais inteligível, em três categorias, de acordo com os seguintes fatores:

1. Para que o modelo está sendo feito (modelos descritivos, de predição, exploratórios e de planejamento);
2. De que é feito o modelo (modelos materiais – icônicos e analógicos – e modelos conceituais – verbais e matemáticos).
3. Como é tratado o fator tempo (modelos estáticos e dinâmicos).

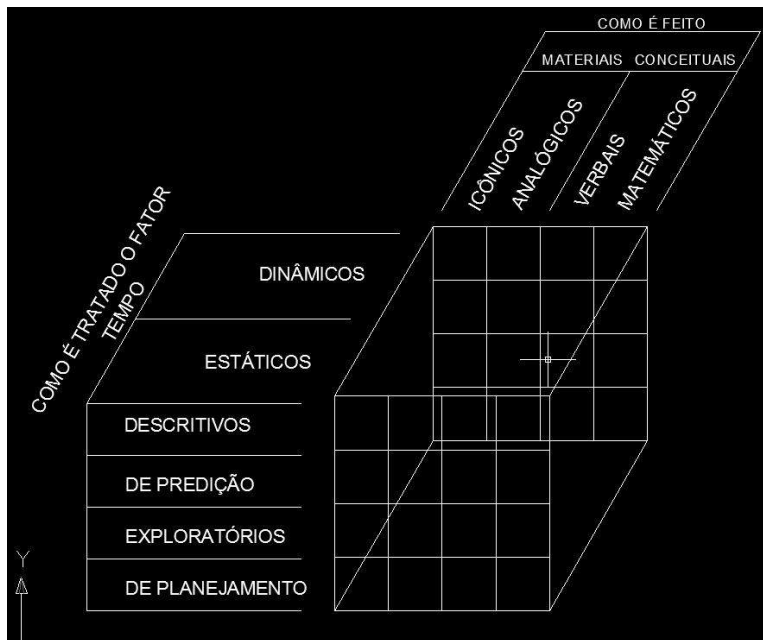


Figura 01 – Classificação dos Modelos

1. Para que o modelo está sendo feito

Nesta categoria estão incluídos quatro tipos principais de modelos: os descritivos, os de predição, os de exploração e os de planejamento.

A principal intenção dos modelos descritivos é o de compreender a realidade, normalmente com a finalidade de estabelecer como um fenômeno particular acontece e a descrição das relações entre fatores relevantes. Em outras palavras, a intenção principal é explicativa. Esse tipo é essencial para

quaisquer dos demais, já que não é possível prever, explorar ou planejar sem uma descrição da realidade estudada. Para um modelo descritivo muito geral não é desejável que seja muito preciso. Comumente é possível usar valores determinados teoricamente, dados disponíveis ou ajudar a equiparar a teoria e a realidade usando valores empiricamente determinados.

Os modelos de predição têm a intenção de prover uma imagem futura do sistema (Lowry, 1964). Baseiam-se na suposição de que o modelo representa o modo como ocorre a mudança na realidade. Um exemplo desse tipo de modelo é o de Morrill, na Suécia (1962), baseado na teoria do lugar central, e o de Christaller e Losch, em que se simula o tempo de crescimento de organizações centrais.

Os modelos exploratórios têm a intenção de descobrir, através de especulação, variando os parâmetros básicos usados no modelo descritivo, outras realidades logicamente possíveis. Seu objetivo é somente o de explorar novas possibilidades e de voltar à realidade e ver se estas possibilidades teoricamente determinadas funcionam na realidade. Um exemplo é o estudo urbano de March, Martin e Echenique (1975), sobre alternativas topológicas do uso do solo.

“Os modelos de planejamento introduzem critérios escolhidos para determinar os meios para alcançar as metas fixadas de planejamento” (Lowry, 1964). Estes modelos são muito utilizados como instrumentos analógicos que fazem simulações para avaliar os efeitos no sistema de diferentes opções. Para avaliar o sucesso dessas opções, o modelo necessita de uma descrição muito precisa dos valores a serem otimizados, como o de diminuir custos ou maximizar benefícios. Em alguns sistemas é difícil expressar operacionalmente as metas, que podem estar em conflito. Por exemplo, ao buscar a máxima comodidade urbana, a meta de encurtar o trajeto para o trabalho é contraditória com a meta de fornecer espaços de habitação mais generosos, que implicam em trajetos mais longos.

Para alcançar uma otimização do modelo de planejamento são necessários os seguintes passos, de com Lowry (1965) “especificação de programas ou ações alternativas a serem escolhidas. Predição das consequências da escolha de cada alternativa. Qualificação dessas alternativas segundo uma escala para medir a obtenção de metas. Selecionar a alternativa que obtém a pontuação mais alta”.

2. De que é feito o modelo

Esse segundo aspecto da classificação se relaciona com os meios escolhidos para representar a realidade. Estes podem ser classificados como físicos ou conceituais.

No modelo físico as características físicas da realidade podem ser representadas por elas mesmas ou por características análogas, e podem se dividir em duas categorias: icônicas, nas quais as propriedades físicas são representadas somente por uma mudança de escala; e analógicas, nas quais as propriedades físicas do mundo real são representadas por propriedades diferentes.

No modelo conceitual as características relevantes estão representadas por conceitos (linguagem ou símbolos), e ele pode ser classificado em duas categorias: verbal ou matemático.

No modelo verbal a descrição da realidade se faz em termos lógicos, através da palavra oral ou escrita.

No matemático a realidade é representada pelo uso de símbolos e as relações se expressam por meio de operações.

3. Como é tratado o fator tempo

Esse terceiro aspecto da classificação faz uma distinção entre os modelos estáticos e os modelos dinâmicos.

Os modelos estáticos são projetados para representar um estado determinado do sistema no tempo, seja no passado, no presente ou no futuro. Nesse caso os elementos exógenos do sistema representarão determinado instante no

tempo e o modelo determinará a forma que, a partir desses elementos, se comportará o resto dos elementos endógenos.

Os modelos dinâmicos são projetados para representar a evolução ou o desenvolvimento do sistema ao longo do tempo. Geralmente, inicia-se pela descrição de um “estado-base” do sistema, que logo se desenvolve no tempo. É possível estabelecer duas formas de simular a dinâmica de um sistema: os modelos exogenamente dinâmicos, nos quais só as variáveis exógenas se desenvolvem no tempo; e os modelos endogenamente dinâmicos, em que todas as variáveis são tratadas dinamicamente.

Em relação aos modelos dinâmicos, Barra (1979) observa que combinam não só diferentes graus de formalização e detalhe, como também diferentes dinâmicas, dando ênfase a variáveis que mudam rapidamente e tratando as outras, mais estáveis, como exógenas ao modelo.

De acordo com Wilson apud Novais (1981) outra classificação dos modelos pode ser feita em relação às técnicas utilizadas na sua elaboração:

- a) Estatísticos: em que a estrutura das relações é fundamentada basicamente na análise estatística de dados observados;
- b) Sistemas de equações: em que inter-relações entre os elementos ou partes do modelo são expressas em forma de sistema de equações. São portanto determinísticos;
- c) Simulação: em que parte das variáveis é aleatória e o modelo repete as características e oscilações das variáveis para determinado período de tempo. Tais modelos são estocásticos;
- d) Algoritmos ou processos heurísticos: em que a priori são estabelecidas as regras lógicas/matemáticas e o programa de computador resolve um problema implícito. Por exemplo, um modelo em que o assentamento residencial fosse feito de forma a minimizar o custo do solo somado com os custos de locomoção. Este modelo envolve um algoritmo ou processo heurístico para determinar os pontos de mínimo custo.

Batty, por exemplo, propõe algumas distinções principais. Para o autor, os modelos podem ser parciais ou gerais. Os parciais simulam um único subsistema urbano, enquanto modelos gerais tentam simular dois ou mais subsistemas. Podem ter, no enfoque comportamental, uma abordagem de maximização de utilidade ou não.

Uma terceira distinção muito debatida na modelagem urbana se relaciona com a questão do tempo: se o modelo reflete ou não os elementos estáticos ou dinâmicos da estrutura urbana. Isto depende sobre qual teoria o modelo é baseado. A maioria dos modelos simula a estrutura estática observada nas cidades.

De modo geral os modelos urbanos na história do seu desenvolvimento podem ser classificados em duas grandes categorias: modelos microeconômicos e modelos de interação espacial que serão descritos no capítulo II.

1.4 As Metodologia: ciências sociais e ciências naturais

Modelos são usados há muito tempo e com grande sucesso nas ciências naturais, como, por exemplo, na física. Esse sucesso seria um bom precedente para se estudar a aplicação de modelos nas ciências sociais, onde se insere o urbanismo.

Porém, pode-se argumentar que as ciências naturais são estruturalmente diferentes das ciências sociais e, devido à essas diferenças, se poderia alegar que o sucesso das aplicações de modelos nas ciências naturais não implicaria obrigatoriamente em sucesso semelhante nas ciências sociais. Esta distinção resultou na ideia de se desenvolver, para as ciências sociais, métodos específicos e distintos daqueles usualmente empregados nas ciências naturais.

Apesar disso, atualmente, a distância entre os métodos empregados em ambas as ciências vem progressivamente diminuindo, em função de uma significativa

redução da distância entre essas áreas do conhecimento. Uma série de distinções acompanha o entendimento entre esses dois campos da ciência. Karl Popper (1999) diz: “Uma vez compreendidos adequadamente os métodos das ciências naturais, vemos que possuem muita coisa em comum com os métodos das ciências sociais”. Neste mesmo entendimento, Tomas de la Barra (1979) considera que “o desenvolvimento ocorrido tanto nas ciências naturais quanto nas ciências sociais apontam para uma convergência, um encaixe metodológico comum.

Faz-se tradicionalmente uma distinção entre os fenômenos sociais, considerados como em constante mutação, e os fenômenos naturais, considerados como permanentes. No entanto, quando as teorias naturais mudam e são substituídas por novas, passam a ser também consideradas permanentes. Já as teorias sociais possuem um tempo de validade menor. Desta forma as teorias advindas dos fenômenos naturais são tradicionalmente tidas como possuidoras de um poder de predição, não conferido às teorias sociais, cujo poder de predição só é considerado quando as condições passadas permanecem as mesmas, já que são válidas por um período relativamente curto”.

Essa concepção de permanência que se atribuiu às ciências naturais, assim como o grau de perfeição a elas atribuído, apresenta hoje um novo entendimento. As teorias das ciências naturais se alternam numa velocidade cada vez maior. De acordo com Barra (1979), “cientistas em ambos os campos estão começando a reconhecer que essas distinções estão se diluindo e tornando difícil traçar uma clara linha de demarcação entre ambas. Nas últimas décadas as Ciências Naturais foram abaladas com a introdução de teorias que mudaram ou contraditaram velhos bastiões teóricos. Cientistas se tornaram céticos sobre verdades absolutas em geral”.

Assim, teorias não são verdades absolutas, mas proposições que tentam explicar um fenômeno real e que são selecionadas entre diversas outras como

as que melhor explicam um fenômeno. Portanto, não são respostas absolutas, e sim opções que serão dispensadas se não se revelarem úteis.

Kuhn (2001) afirma que “os cientistas trabalham com certos paradigmas ou teorias, que definem a ciência”. Em seu livro, *A estrutura das revoluções científicas*, diz que a “história da ciência avança não pelo desenvolvimento gradual do conhecimento, mas quando um novo paradigma substitui um paradigma tradicional”.

As ideias de Kuhn podem ser acompanhadas pelas ciências sociais, embora tais paradigmas sejam mais difíceis de serem identificados e de certa forma mais mal definidos do que os paradigmas das ciências naturais.

Segundo Kuhn (2001), “devido ao fato de que os paradigmas das ciências sociais são mais difusos, a revolução científica é mais difícil de ser reconhecida neste campo. Entretanto, parece que a partir dos anos 50 o estudo do homem e das ciências sociais foi afetado por uma transformação profunda na abordagem e nos métodos, mais próximos de uma revolução científica”.

As teorias, uma vez refutadas, dão lugar a uma fase que Kuhn denomina período revolucionário, no qual o paradigma é substituído por outro. A velocidade crescente em que atualmente esses períodos se alternam torna difícil a distinção entre os dois momentos.

Essa necessidade de escolha da melhor proposição contradiz uma diferenciação usualmente feita entre cientistas sociais e naturais. O cientista natural foi sempre considerado neutro em relação ao fenômeno estudado, e o cientista social, como parte do fenômeno, devido a uma relação pessoal ou ideológica estabelecida com o objeto de investigação. Mas não existe neutralidade do cientista em qualquer campo em que seu trabalho se desenvolva, uma vez que todo o avanço acontece a partir de escolhas pessoais.

Segundo Tomas de La Barra (1979), “a subjetividade, na ciência em geral, não deve ser considerada uma deficiência, já que provê visão e perspectiva. Problemas se naturais ou sociais são problemas que afetam pessoas e daí a razão de suas investigações. A escolha de problemas relevantes e a motivação para resolvê-los estão enraizadas na posição particular do cientista na sociedade. O fato de pertencer à sociedade é o que capacita o cientista a identificar os problemas”.

É comum o entendimento de que os fenômenos naturais, contrariamente aos sociais, podem ser reproduzidos em laboratório, sob controle e em isolamento do mundo exterior. Atualmente há uma convergência entre esses dois campos de trabalho. O progresso na área da computação tornou possível ao cientista social realizar experimentos e testá-los através de simulações, como se fosse um laboratório.

Da mesma forma, a maneira como os cientistas vêm construindo teorias sobre os fenômenos naturais também se transformou, tornando-os mais próximos das ciências sociais.

Ao enfrentar a necessidade de explicar muitos eventos simultâneos, cientistas naturais criam teorias em que causas produzem efeitos com apenas certo grau de probabilidade, o que significa que as ciências naturais e sociais estão progressivamente adotando métodos similares. A estatística se tornou, talvez, o principal campo comum, e uma exceção no sentido de que é um dos poucos campos da matemática especificamente desenvolvido para as ciências sociais, posteriormente adotado pela física e biologia.

O processo de convergência se acelerou pelo fato de que muitas disciplinas que se originaram na tradição das ciências naturais mudaram para as áreas sociais como, por exemplo, a economia, o urbanismo e a arquitetura.

A geografia também ajudou no processo de convergência, incorporando análises urbanas e regionais em seu escopo e introduzindo muitos métodos e

teorias antes aplicadas em geografia física. Muitos autores descrevem esse processo como a *revolução quantitativa* (Batty, 1976).

Não há dúvidas de que o desenvolvimento da computação e sua utilização em larga escala fez a abordagem nas ciências sociais mais rigorosa, possível e necessária. É bom lembrar que muitos dos novos e talvez mais exitosos desenvolvimentos nas ciências sociais e nas ciências em geral estão indissociáveis ao surgimento da computação moderna.

Há um século somente, segundo Batty (1976), as ciências sociais eram consideradas pelo mundo científico como uma área “*soft*” de pesquisa, interessada em assuntos que ninguém seriamente descreveria como problemas científicos.

Tomas de La Barra (1979) diz que para atingir seus objetivos, o cientista social deve seguir de forma aproximada o mesmo processo de todos os cientistas. Popper (1999) assume que há certa singularidade na criação do conhecimento social, o que é verdade, mas somente em certa extensão. Para encorajar este processo, propõe que a crítica, a discussão e o princípio de refutação sejam meios para a construção e o desenvolvimento do conhecimento social.

Popper(1999) resume o método científico, aplicável tanto às ciências naturais como às sociais, em quatro passos, numa sequência que pode ser traduzida como: problemas – teorias – críticas – novos problemas.

As conclusões ou teorias nas ciências sociais foram tradicionalmente entendidas como o resultado da observação, de um trabalho de coleta de dados e de relacioná-los entre si, chegando-se assim a generalizações e teorias. Entretanto, segundo Popper (1999), este entendimento equivocado se desfaz se considerarmos que tanto nas ciências naturais como nas sociais começam e terminam sempre com problemas. Segundo o autor, “a fertilidade e profundidade das nossas teorias podem ser avaliadas pela fertilidade e profundidade dos novos problemas a que dão origem”.

O processo de construir hipóteses em observações acumuladas de instâncias específicas é conhecido como método de *indução*, e foi originalmente descrito por Francis Bacon.

O método de indução é baseado no princípio de que a confirmação de uma evidência é a prova que uma hipótese particular requer para que seja aceita, e, portanto, é a base para a criação de um conhecimento científico. Popper (1999) usa a afirmação “todos os cisnes são brancos” como um exemplo clássico para explicar isso. Ao se encontrar apenas um cisne negro, a afirmação original pode ser corrigida para “nem todos os cisnes são brancos”, ou pode considerar outros elementos, resultando numa afirmação mais geral e que, ao mesmo tempo, contém mais informação. Portanto, no processo de criação de conhecimento, é mais importante refutar do que confirmar evidências.

O modo pelo qual o método científico é estruturado também é relevante. O método indutivo é um processo linear, onde o elemento inicial é a observação. O próximo estágio no processo é a generalização, da qual uma hipótese é induzida e depois testada pela experimentação. Se a testagem provê evidência confirmadora suficiente, a afirmação bem-sucedida se torna conhecimento.

Popper (1999) argumenta que a simples observação da realidade não pode ser um ponto de partida no processo de pesquisa. O assunto a ser observado é determinado em função da necessidade de resolver problemas.

A identificação de problemas substitui a observação como o elemento condutor no método científico, após o qual uma solução propositiva (nova teoria) leva à dedução de proposições testáveis. Depois da testagem (tentativas de refutação), uma preferência deve ocorrer entre teorias competitivas. Uma vez selecionada a solução, novos problemas surgem, e o processo se inicia novamente. Com isso, pode-se classificar o método científico como algo cíclico, interativo e não linear.

Uma importante evolução ocorrida no desenvolvimento da teoria urbana e da modelagem tenha sido a mudança gradual, de um método indutivo em direção a uma análise dedutiva. A necessidade de uma fundamentação mais sólida para a construção de uma teoria foi em grande parte a responsável por essa mudança.

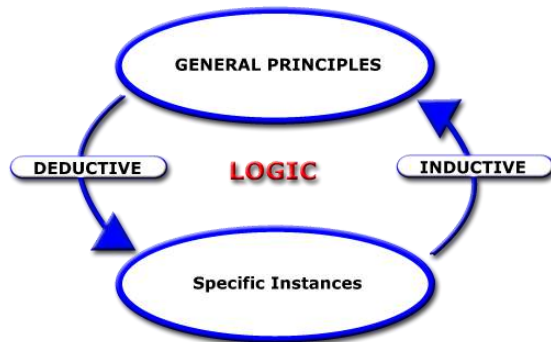


Figura 02 – Método indutivo e dedutivo.

Acontecimentos sociais são mais bem descritos com um grande número de dados que são atualmente mais facilmente manipulados pelos computadores. A modelagem urbana é uma parte integrante desta revolução na qual as fronteiras entre as disciplinas tradicionais estão nebulosas em resposta às necessidades de cooperação interdisciplinar.

1.5 Modelos urbanos e modelagem urbana

Como já dito anteriormente, modelos são simplificações da realidade, abstrações teóricas que representam sistemas, de forma que características essenciais para a teoria e sua aplicação são identificadas e destacadas.

Neste trabalho, abordaremos um tipo bastante específico de modelo, denominado a partir de agora de modelo urbano e definido por Wegener (1995) como sendo o modelo matemático executado em computador e projetado com o intuito de se analisar e/ou prever o desenvolvimento de estruturas urbanas.

Muitas são as razões para o desenvolvimento desses modelos. Seu papel de ajudar a compreender os fenômenos urbanos, através de análises e experimentos, é um objetivo tradicional da ciência. Desta forma, modelos agem como um meio para possibilitar a experimentação da teoria e para aumentar o entendimento do que pode ser importante para a predição de cenários ainda não apreciados.

Segundo Almeida et al (2005), modelos matemáticos são há tempos projetados para fins urbanísticos, na tentativa de esclarecimento de processos de mudanças urbanas e regionais.

A modelagem urbana é a atividade de definir, construir e aplicar modelos matemáticos de fenômenos urbanos, para propósitos que tradicionalmente existiram no planejamento físico.

A modelagem urbana é freqüentemente percebida como algo altamente complexo entre urbanistas. No entanto, os modelos apenas noticiam a real e enorme complexidade das cidades. Assim, paradoxalmente, vemos como complexa a simplificação do espaço urbano representada pelo modelo, o que demonstra o quanto ainda estamos distantes do entendimento dessa complexidade.

Os modelos urbanos podem ser simulações do funcionamento das cidades e tentam traduzir, de maneira simplificada, a teoria em uma forma que possa ser testada e aplicada sem uma experimentação no mundo real, isto é, os modelos urbanos representam os meios para testar teorias urbanas em um espaço virtual. Muitas das novas teorias sobre o fenômeno urbano são baseadas em modelos.

Desta forma, é possível sugerir que a possibilidade de simulação é a principal contribuição da computação, uma vez que possibilita a realização de experimentos anteriormente impossíveis. Ao invés de fazer em ambientes reais, o analista recria uma versão simplificada da realidade a um grau

aceitável de acuidade e realiza experimentos no ambiente artificial. Isto explica a crescente importância dos modelos, não só como ferramentas para testar hipóteses e também teorias em urbanismo.

A necessidade de maior apoio empírico na formulação de teorias tornou o modelo urbano não apenas o reflexo de uma teoria urbana mas parte importante no processo de sua formulação. A modelagem urbana, através de simulações, pode ainda ajudar a apontar limitações teóricas.

Segundo Marcial Echenique (1976) “não basta somente conceber a cidade como um sistema, é necessário representá-lo. Modelos urbanos oferecem a oportunidade de testar alternativas de ocupação e efetuar predições sobre como o sistema reagirá, frente a um dado conjunto de regras. Esta representação através do modelo pode ajudar a decifrar complexidade das cidades”.

Modelos de sistemas urbanos, econômicos e sociais envolvendo a ideia de simplificar a realidade a ponto de torná-la compreensível não trazem em si novas ideias, já a formalização trazida pela modelagem se mostrou um caminho para um desenvolvimento mais rigoroso do urbanismo, assim como das ciências sociais.

Para ajustar o modelo à realidade que pretende representar é necessário calibrá-lo, o que consiste em buscar o valor das constantes que expressam a magnitude das relações estabelecidas no espaço urbano.

Segundo Harris (1994), “um projeto experimental baseado em uma teoria contém a essência do processo de construção do modelo. Em teoria, os modelos são projetados de acordo com um processo formal que pode ser descrito nos seguintes termos: formulação de hipótese; observação; coleta de dados; programação; calibragem; estimativa de parâmetros; testagem; verificação; avaliação; predição. Portanto, a modelagem urbana está fortemente relacionada ao método científico no qual hipóteses são

conjeturadas e refutadas pela experimentação, por novas observações e, sobretudo, pelo *insight*”.

Assim, “os problemas para cuja solução o modelo é construído determinam a seleção destas características. A seleção dos problemas dependerá da capacidade e treinamento de quem faz os modelos, dos recursos disponíveis e dos objetivos a serem alcançados”.

Existe uma diversidade de tipo de modelos e, de acordo com Bunge (1973), “existem várias idealizações, vários idealizadores, dados e objetivos. Mesmo quando dois construtores de modelos acessam a mesma informação empírica, eles podem construir modelos diferentes porque construir modelos é uma atividade criativa que reúne *background*, capacidades e gosto do construtor”.

Em relação ao processo de construção de um modelo, Barra (1979) afirma que “deve constar um sistema ou objeto a ser investigado e uma intenção claramente expressa, para a qual se fará uma seleção, um processo de observação e abstração, um processo de tradução através de meios de representação e um processo de verificação e obtenção das conclusões. Desta forma, se há uma impossibilidade de teste, o modelo não poderá ser construído”.

Por último, é importante ressaltar que modelos urbanos são igualmente importantes para auxiliar não só urbanistas nas tarefas de compreender, prever, prescrever e inventar o futuro urbano. Neste novo campo de conhecimento a questão é interdisciplinar, se delineando diretamente e por analogia a todas as ciências, e fazendo uso da matemática.

1.6 Modelos integrados de uso do solo e transporte

Modelos integrados são aqueles que consideram as interações, relações e ligações entre dois ou mais componentes de um sistema espacial. Neste

trabalho, a ênfase será sobre modelos integrados de uso do solo e transporte, que, segundo Wegener (1999), incorporam processos mais essenciais do desenvolvimento espacial, incluindo todos os tipos de uso do solo – residencial, industrial e comercial. O transporte pode ser modelado de forma endógena ou por um modelo de transporte exógeno.

Segundo François Ascher (2004), técnicas de transportar e armazenar pessoas, informações e bens constituem um sistema interdependente e que tem profundo impacto no formato da cidade, no espaço urbano e na organização social.

A relação entre localização das atividades e sistema de transportes tem sido há muito tempo extensivamente discutida na literatura. No entanto, recentemente, esta inter-relação passou a ser formalmente estabelecida através, por exemplo, de modelos de uso do solo e transporte. Barra (1979) relaciona isto ao fato de que o desenvolvimento das teorias relacionadas ao uso do espaço e as relacionadas ao uso do transporte tenham evoluído de forma paralela e isolada, e não como uma teoria integrada.

Diversos estudos apresentam e discutem essa inter-relação entre os transportes e o desenvolvimento espacial das cidades. O mais antigo deles é o estudo de Hansen, no qual demonstrou que, para Washington, DC, os locais com boa acessibilidade tinham maior probabilidade de desenvolvimento e de apresentarem densidades superiores aos locais remotos.

A partir dos anos 60, surge a primeira geração de modelos de integração entre usos do solo e transporte. Esses modelos integrados tentam prever a dinâmica dos padrões de uso do solo, padrões de viagens e suas interações.

O reconhecimento de que as decisões de viagem e localização codeterminam uma a outra e que, portanto, o planejamento do uso do solo e o do transporte deveriam ser coordenados levou ao que Wegener (1995) denominou de noção

de "ciclo de feedback do uso do solo e transporte", e que consiste nos seguintes pontos:

- A distribuição dos tipos de uso do solo – residencial, industrial ou comercial – sobre a área urbana determina a localização de atividades humanas, como viver, trabalhar, consumir bens, educação, lazer etc.;
- A distribuição das atividades humanas no espaço requer interações espaciais ou viagens pelo sistema de transporte com o intuito de superar a distância entre os locais das atividades;
- A distribuição da infraestrutura do sistema de transporte cria oportunidades para interações espaciais e pode ser medida como acessibilidade;
- A distribuição da acessibilidade no espaço codetermina decisões de localização e os resultados obtidos nas mudanças do sistema de uso do solo.

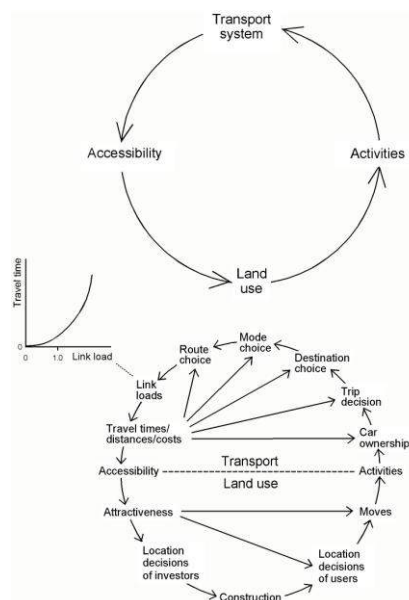


Figura 03 – The land-use transport feedback cycle

De acordo com Wegener (1995), o impacto da forma urbana no comportamento do transporte foi mais estudado que o impacto dos transportes sobre a forma urbana. O autor acredita que a justificativa para isso seria o fato de que mudanças de uso do solo ocorrem de forma bem mais lenta que mudanças de comportamento de viagem e estão sujeitas a diversas outras influências, como crescimento populacional, alterações de desenvolvimento econômico, estilos

de vida, formação familiar, padrões de consumo e tecnologia de produção, e são, portanto, mais difíceis de serem isoladas.

Os impactos das políticas de transporte nos padrões de transporte são mais claros se comparados à interação do uso do solo e transporte. No entanto, a relação dinâmica entre o uso do solo e transporte e a integração entre esses subsistemas não é considerada no modelo tradicional de transportes. Tais conexões tornam esses modelos integrados de uso do solo e transporte mais realistas em sua descrição do sistema em estudo, tornando-os uma ferramenta mais útil para a análise de políticas urbanas.

Prever os impactos de políticas integradas de uso do solo e transporte não se revela uma tarefa fácil, pois são muitas as variáveis pertencentes ao sistema e é grande a quantidade de alterações simultâneas destas variáveis. Por essa razão, os modelos que apoiam esse processo de planejamento integrado de uso do solo e transporte precisam ser mais sofisticados que outros tipos de modelos. Muitos avanços foram feitos para explicar o comportamento da escolha espacial e das técnicas para calibrar os modelos

Desenvolver modelos que sirvam como ferramentas adequadas para representação dos problemas de uso do solo e de transportes, levando-se em conta quaisquer políticas relevantes relacionadas a um destes sistemas ou a ambos com a maior variedade de indicadores de desempenho surge como um grande desafio (Abraham et al., 1999).

Um dos primeiros modelos a integrar aspectos dos sistemas de uso do solo e de transportes foi desenvolvido por Lowry na década de 1960. De acordo com Novaes (1981), este modelo tinha como principal objetivo explicar a conformação urbana das áreas residenciais e dos centros de atividades a elas associados, sob o ponto de vista da concentração demográfica.

A partir de então, diversos outros modelos foram desenvolvidos e, atualmente, há inúmeros projetos de modelagem urbana. Na Europa, cerca de 20 regiões

urbanas – em sua maioria financiadas pela Comissão Europeia – utilizam-se de modelos integrados de uso do solo e transporte.



Figura 04 – Map of active urban/regional modeling centers in the late 1980s and early 1990s

Segundo Wegener (2005), o crescente interesse pelos modelos de uso do solo e transporte resulta da necessidade de tornar o transporte mais sustentável e de se lidar com os impactos gerados pelas expansão urbana.

É consenso que um transporte sustentável não pode ser atingido somente por políticas de transporte, mas sim complementado por políticas de uso do solo.

Recentes tendências do urbanismo sugerem que tais políticas devem atuar no sentido de promover alta densidade, tipos de uso misto e de se adequar ao transporte público, como caminhadas e bicicletas, o que torna ainda mais relevante o planejamento integrado do uso do solo e do transporte. Em cidades

americanas, Cervero (1996) e Cervero e Kockelman (1997) verificaram que a alta densidade, em combinação com o uso misto do solo em um projeto de bairro, reduz os níveis de propriedade de automóveis, as taxas de viagem e as distâncias de comutação, além de incentivar viagens sem uso de automóvel.

Há variações significativas entre os modelos no que diz respeito a estruturas globais, abrangência, fundamentação teórica, técnicas de modelagem, dinâmicas, necessidades de dados e calibração do modelo, o que se apresenta como um desafio.

Neste trabalho, é importante notar a distinção entre “localização”, que significa localização física, sem considerar oferta de transporte, e “acessibilidade”, que inclui a localização física e a facilidade para viagens.

Frequentemente, em situações práticas, os modelos de uso do solo e transporte são empregados na previsão de padrões de uso do solo. Entre outros fatores, previsões bem-sucedidas dependem de sua respectiva fundamentação teórica. Modelos de mudança no uso do solo podem desempenhar um papel fundamental na avaliação do impacto de atividades na esfera ambiental e/ou socioeconômica.

Políticas de planejamento do uso do solo impactam fortemente o desenvolvimento espacial e padrões de viagem. Afinal, é senso comum entre planejadores, e até entre o público em geral, que o uso do solo urbano e o de transporte estão estreitamente interligados. Além disso, o princípio fundamental nas análises e previsões de transporte é que a separação espacial das atividades humanas cria a necessidade de viagem e transporte e tem um impacto significativo na forma urbana.

Como o sistema transporte afeta o uso do solo da mesma forma em que é afetado por ele, é importante a coordenação destas duas esferas de decisão para que sejam complementares e não contraditórias. Seguindo este princípio, os fenômenos de espraiamento e suburbanização das cidades está

diretamente relacionado ao aumento da divisão espacial do trabalho, e, portanto, à crescente mobilidade.

Por outro lado, o impacto inverso do transporte sobre o uso do solo costuma ser menos destacado e explorado. As mudanças na acessibilidade provocadas pelas melhorias de transporte podem induzir mudanças no uso do solo. No entanto, a forma como o desenvolvimento do sistema de transporte influencia decisões de localização de proprietários, investidores, empresas e famílias não é tao claramente compreendida pela sociedade e por muitos urbanistas.

Nesta imagem é possível observar a evolução da integração entre modelos de uso do solo e modelos de transporte, o que demonstra que o processo de modelagem fica mais complexo, ou seja, requer modelos mais sofisticados.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--|-----------------|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| | Microscopic agent based | Economic general equilibrium | unified with recursive simulation | composite with recursive simulation | Endogenous real estate prices | Economic input/output | Demographic change and household formation | Goods transport | Includes travel model | Can interface with external travel model | Calibrated and in ongoing use | Actively used in multiple locations | Marketed actively | Available for consideration |
| BOYCE | | | | | | | | | | | | | | |
| CUFM | | | + | | | | | | | | + | ? | ? | |
| DELTA | | | | | + | + | + | + | | | | | | |
| ILUTE | + | | | | | | | | | | | | | |
| IMREL | | | | | + | + | | | | | | ? | | |
| IRPUD | | | | | + | + | | | | | | + | | |
| ITLUP | | | | | + | | | | | | | + | + | + |
| KIM | | + | | | + | + | | | | | | + | | |
| LILT | | | | | | | + | | | | | | ? | |
| MEPLAN | | | + | | + | + | + | | | | | ? | + | + |
| METROSIM | | | + | | | | | | | | | ? | ? | ? |
| MUSSA | | | | | + | | | | | | | + | | + |
| PECAS | | | | | + | + | + | | | | | ? | ? | + |
| POLIS | | | | | + | | | | | | | ? | | |
| RURBAN | | | | | + | | | | | | | ? | | |
| STASA | | | | | + | | | | | | | ? | | |
| TLUMIP | | | | | + | + | + | | | | | + | + | |
| TRANUS | | | | | + | + | + | | | | | ? | + | + |
| TRESIS | | | | | + | | | | | | | + | | |
| URBANSIM | | | | | + | + | | | | | | + | | + |
| ILUMASS | | + | | | | | | | | | | | | |
| METROSCOPE | | | | | + | + | | | | | | + | + | + |
| RAMBLAS | | + | | | | | | | | | | | | |

| Models (Authors) | Resources | | | | Emissions | | | | Immissions | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|--------------------|-------------|------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------------------|
| | Energy consumption by land use | Energy consumption by transport | Water supply | Land consumption | CO ₂ emission by land use | CO ₂ emission by transport | Air pollution by land use | Air pollution by transport | Water quality | Soil contamination | Solid waste | Industrial noise | Traffic noise | Air dispersion | Noise propagation | Surface/ground water flows |
| BOYCE (Boyce+) | ○ | ○ | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| ARCTRAN-AIR (Kim+) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| ITLUP (Putman) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| PSS (Anjomani) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| LET (Anjomani) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| TRANUS (de la Barra+) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| TRANUS/CUFM* | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| MUS (Martinez) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| LILT (Mackett) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| SATURN (Mackett+) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| MASTER (Mackett) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| MEPLAN London (ME&P) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| MEPLAN Helsinki (ME&P) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| MEPLAN Santiago (ME&P) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| MEPLAN Vicenza (ME&P+) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| START/DSCMOD* | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| CODMA (Lundqvist+) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| SALOC (Lundqvist) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| IRPUD I (Wegener) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| IRPUD II (Wegener+) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| RURBAN (Miyamoto) | ○ | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| MAPLE (Hayashi+) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| SUSTAIN (Roy+) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| LAND (Young, Gu) | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |

. not modelled ○ under development or planned ● applied or operational
+ et al. a links to standard EPA emission models (MOBIL5)
b by de la Barra (TRANUS) and Landis (CUFM), adapted by Johnston at UC Davis
c by MVA, adapted by Simmonds, Cambridge, UK

FIGURA 05 - Comparação entre modelos

CAPÍTULO II : EVOLUÇÃO DOS MODELOS URBANOS

2.1 Panorama Histórico

Para entender as possibilidades do uso de modelos na prática e na teoria urbana é importante fazer algumas considerações históricas sobre o urbanismo desde o século XIX até os dias de hoje.

Françoise Choay (1998) nos explica que a palavra urbanismo é recente. G. Bardet apud Choay (1998) remonta sua criação a 1910. O dicionário *Larousse* define-a como ciência e teoria da localização humana.

Este neologismo corresponde ao surgimento de uma realidade nova: no final do século XIX, a expansão da sociedade industrial dá origem a uma nova disciplina, que se diferencia das artes urbanas anteriores por seu caráter crítico e reflexivo e por sua pretensão científica.

O desenvolvimento urbano espontâneo nos coloca diante de outro fenômeno: a “urbanificação” (termo de G. Bardet para designar o fenômeno espontâneo do desenvolvimento urbano) cujo estudo de suas causas e efeitos tem ocupado pensadores, cientistas e principalmente urbanistas.

Desde o século XIX, inúmeros sistemas de uso do solo e de transporte “ideais” foram formulados. Estes sistemas variam em relação à estrutura espacial, à densidade residencial, à distribuição de usos do solo e ao modo de transporte predominante.

Durante o século XIX as estruturas econômicas e sociais e com elas os padrões de assentamento foram fundamentalmente transformados de uma sociedade predominantemente rural, com a agricultura como o setor econômico mais importante, para uma sociedade industrial e urbana. O processo de urbanização e industrialização levou a um impressionante crescimento demográfico das cidades, acarretando sérios problemas, como densidade

residencial excessiva, condições sanitárias insatisfatórias e um alto grau de poluição industrial do ar.

É nesse contexto de busca de soluções para problemas decorrentes do processo de urbanização das cidades europeias que surgem vários modelos de desenvolvimento urbano, na tentativa de se criar a cidade ideal, e despontam teorias que se tornaram utópicas como a de Fourier, com o *falanstério*; a de Howard, com a cidade-jardim e a de Tony Garnier, com a teoria da cidade industrial (Choay, 1965).

O termo *modelo* usado por Françoise Choay será aqui denominado *modelo ideal* a fim de evitar confusões com a definição de modelo utilizado neste trabalho. Segundo a autora, a representação da cidade do futuro é colocada como um objeto reprodutível, de onde é extraída a temporalidade concreta, e que se torna utópica, referente a lugar nenhum.

Os modelos ideais criados nesse período são principalmente as tentativas de urbanistas para superar esses problemas urgentes. O modelo de Von Thünen, que será descrito nesse trabalho, também surge nesse contexto.

Uma das primeiras propostas sobre como responder a processos de urbanização dinâmica é a cidade linear, ideia inicialmente formulada pelo arquiteto espanhol Arturo Soria y Mata. Uma concepção diferente da forma urbana ideal foi criada por Ebenezer Howard (1898) por volta da virada do século. A lógica por trás de sua *cidade-jardim* era conciliar as áreas rural e urbana, combinando as qualidades de ambas, garantindo os padrões de crescimento espacial equilibrado no processo de urbanização.

Nas décadas de 1920 e 1930, a Escola de Chicago desenvolveu o que foi denominado *ecologia urbana*. As cidades norte-americanas foram estudadas sob aspectos culturais, comportamentais e espaciais, na tentativa de construir uma teoria do crescimento urbano e da estruturação espacial.

Com o prosseguimento da evolução do processo de industrialização e de escalas crescentes de unidades de produção, os urbanistas se confrontaram com o problema de como organizar usos do solo dentro do tecido urbano. Em 1904 o arquiteto francês Tony Garnier propôs uma clara separação espacial das áreas industriais e residenciais.

A noção de separação funcional dos usos da terra foi desenvolvida por Le Corbusier e outros arquitetos no CIAM (Congresso Internacional de Arquitetura Moderna), com a Carta de Atenas, um documento que promoveu a separação das funções urbanas. A Carta se baseava em quatro funções principais: habitar, trabalhar, cultivar o corpo e o espírito e circular. Le Corbusier propôs a seguinte solução para os problemas urbanos: "Temos de descongestionar os centros de nossas cidades, aumentando a sua densidade. Além disso, é necessário melhorar a circulação e aumentar a quantidade de espaço aberto". A solução envolvia a demolição de áreas inteiras e a construção de arranha-céus numa parte. A distribuição do uso do solo deveria seguir um esquema rígido de segregação funcional e socioeconômica.

Em 1930, ele elaborou sua visão de uma cidade mais funcional no plano da "Ville Radieuse", onde as hierarquias espaciais foram amplamente abandonadas em favor das zonas funcionais homogêneas, sem qualquer mistura de usos. De acordo com este plano, zonas distintas foram identificadas para escritórios, hotéis, moradias, fábricas, armazéns e indústrias pesadas.

Uma abordagem diferente para a organização espacial dos usos da terra foi apresentada pelo arquiteto americano Frank Lloyd Wright. Partindo do pressuposto de que a forma "vertical" e "mecânica" de viver nas grandes cidades se opõe à natureza humana, Wright previu um padrão de assentamento de pequenos bolsões de baixa densidade de desenvolvimento, oferecendo aos habitantes a possibilidade de desenvolver seus estilos de vida individuais. Como assumiu que os seres humanos foram degradados à condição de máquinas, tendo que gastar suas vidas em um ambiente de alta densidade urbana, o arquiteto pensava na dissolução dessas altas densidades.

Seu plano do chamado “*Broadacre City*” é caracterizado por uma rede de ruas com edifícios grandes ocupando um hectare cada.

No século XX, como consequência do desenvolvimento da economia capitalista industrial, estrutura-se uma sociedade cujo modelo industrial se baseava num conjunto de normas que se denominou *fordismo*. O *fordismo* surgiu em Detroit (Estados Unidos), em 1914, e se difundiu nos países europeus industrializados, perdurando até a década de 1970. Com o desenvolvimento de pesquisa e tecnologia houve uma flexibilização do rígido sistema fordista.

As teorias racionalistas do Movimento Moderno foram predominantes do início do século XX até o começo de sua refutação pelo Team X (Bakema, Giancarlo de Carlo, Van der Broek, Kandilis e outros) no último CIAM, nos anos cinquenta. O momento final de sua refutação se deu, segundo Charles Jenks, com a demolição do grande conjunto habitacional *Prit Igoe* em 1972. Esta refutação se apoiou em uma atitude não racionalista expressa em textos de José Luis Sert, Kevin Lynch, Aldo Rossi, Robert Venturi, Christopher Alexander, Colin Rowe, Jane Jacobs, John Habraken e outros.

Os conceitos se ampliam e os paradigmas passam dos cinco princípios da Carta de Atenas para os mais de 20 *patterns* de Christopher Alexander

Os problemas mais prementes nos anos cinquenta e sessenta, segundo Lowry, se traduziam em termos de congestionamento e da necessidade de assegurar um transporte eficiente. Assim, os primeiros passos para modelos rudimentares de simulação foram criados baseados em usos do solo e de transporte ligados ao modo como populações criavam demanda e oferta para tais usos, com a imagem da cidade como um sistema de interações (Lowry, 1968).

Podemos perceber nessa imagem a evolução, desde o século XIX, dos grandes projetos urbanos, dos modelos ideais e dos modelos matemáticos.

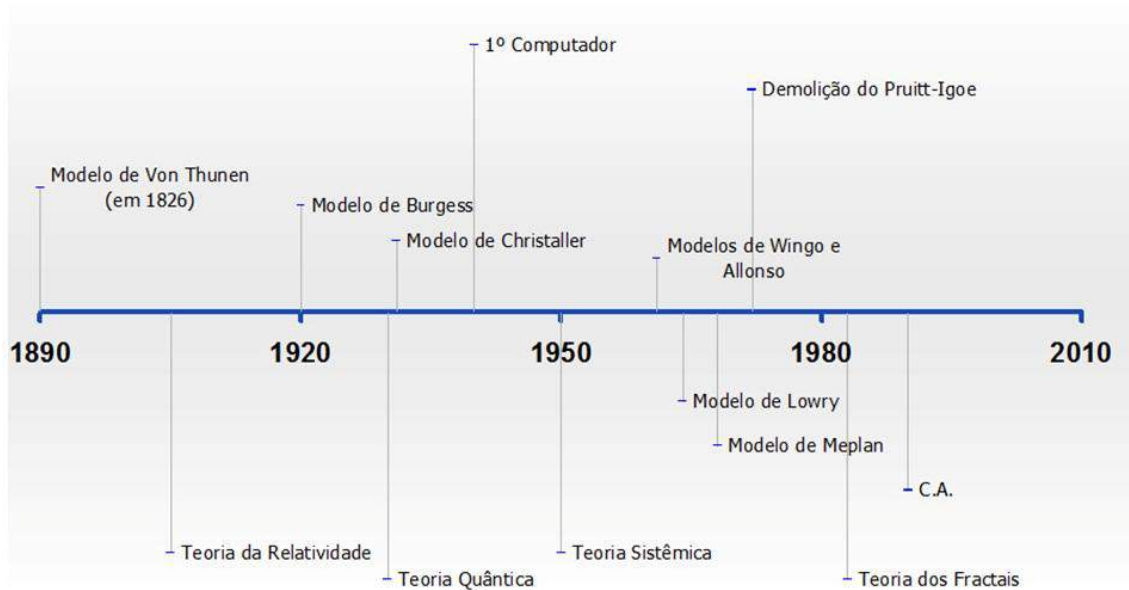


FIGURA 06 - Evolução dos modelos urbanos

Faremos a seguir um breve histórico da evolução dos modelos que têm em comum o pressuposto de que o sistema de transportes tem um impacto definitivo na locação das atividades. Isto pode ser percebido nos trabalhos de Von Thünen, Christaller, Wingo, Alonso, Echenique, e de autômatos celulares.

2.2 Modelos microeconômicos

Os primeiros modelos que buscavam explicar a distribuição espacial das atividades foram baseados na teoria microeconômica.

Segundo Barra (1979), esses modelos explicam o uso do solo como resultado de um mecanismo de comércio, no qual residências e firmas competem por espaço, gerando um padrão de equilíbrio de aluguel da terra. Ao mesmo tempo, o equilíbrio de preços permite uma melhor alocação de terra para residências e firmas, e estas, por sua vez, maximizam suas utilidades. O que dá à terra um diferencial em qualidade é o custo do transporte ou sua acessibilidade, principal fator na geração do valor da terra.

A análise dos padrões de uso da terra e suas mudanças na tradição teórica microeconômica foi influenciada de maneira fundamental pela teoria de localização de Von Thünen, em 1826. Seu modelo tratava basicamente da

localização dos produtores agrícolas ao redor de um centro urbano (Echenique, 1976).

A distância entre os agricultores e o comércio é um exemplo do modo como os custos de transporte afetam o processo de alocação da terra e aluguel, assim como o preço das *commodities* da agricultura. O objetivo do modelo de Von Thünen era o de prescrever a distribuição ideal, a mais econômica, de terrenos rurais no entorno de um mercado na cidade.

Os agricultores vendiam seus produtos no mercado, considerado único no sistema, e todas as outras variáveis permaneciam iguais para todos os agentes. Dessa forma, a localização dependia apenas do custo do transporte das mercadorias, que era uma função linear a partir do centro consumidor, em todas as direções.

Weber (1909, *apud* Barra, 1979) analisou o problema da localização de indústrias, levando em consideração a localização das matérias-primas e dos mercados consumidores. Como no modelo de Von Thünen, a oferta e a demanda por terra são consideradas iguais, levando o sistema a um estado de equilíbrio.

Em 1964, Alonso propôs um modelo no qual afirma que a localização das atividades depende do preço da terra, do custo do transporte e da renda dos indivíduos. Seguindo tal lógica, cada indivíduo deveria levar em consideração as vantagens oferecidas pelos custos de viagem impostos por determinada localização e os benefícios econômicos oferecidos por ela. Nesse sentido, atividades comerciais estariam dispostas a pagar mais pelas melhores localizações (Echenique, 1976).

Nos anos que se seguiram à abordagem de Von Thünen, foram feitas várias tentativas de análise de diversos componentes do sistema urbano e regional. No entanto, somente depois de quase 140 anos Alonso apresentaria a célebre teoria do mercado do solo urbano, que aplicou e aperfeiçoou as ideias originais de Von Thünen (Alonso, 1964).

Os modelos de Von Thünen e Alonso são exemplos de teorias e modelos concebidos simultaneamente, contendo estruturas teóricas traduzidas para uma linguagem matemática, e não necessariamente operacionais.

A teoria de Alonso tem como objetivo descrever e explicar o comportamento de localização residencial das famílias e a estrutura espacial urbana.

O modelo de Von Thünen, apesar de bastante antigo, permanece como a proposta mais geral, uma vez que apresenta todas as variáveis necessárias a uma explicação ampla e simplificada de como o espaço e o sistema econômico trabalham ou funcionam.

Os modelos de Wingo e Alonso atualizam as proposições de Von Thünen, incorporando elementos da moderna análise microeconômica.

As contribuições de Christaller e Lösch são importantes na explicação de como se formam regiões multicêntricas. Neste caso, cada *commodity* dá origem ao próprio padrão de localização e a uma malha de áreas de comércio. Por outro lado, cada padrão é condicionado por outros, formando hierarquias de padrões e redes de transporte de grande potencial do ponto de vista de desenvolvimentos teóricos.

Apesar de serem desenvolvimentos teóricos importantes, os modelos espaciais microeconômicos não obtiveram aplicações práticas. Wilson (1977) afirma que, com a possível exceção de Herbert e Stevens (1960), nenhum modelo operacional se desenvolveu.

Barra afirma que muitos *insights* e análises qualitativas foram obtidos, mas poucos modelos efetivos. Uma razão possível para isso, segundo ele, reside no fato de que a maioria dos economistas na área, tendo estabelecido seus referenciais teóricos, produziram modelos essencialmente lineares para o trabalho empírico.

Já Briassoulis (2000) sugere que os motivos para isso podem ser: a) muitas teorias são expressas em termos abstratos, e a operacionalização é difícil; b) a orientação epistemológica de várias teorias não é congruente com a

modelagem formal; c) modeladores não mostram interesse em identificar modelos com teorias particulares, embora os pressupostos teóricos estejam presentes em todos os modelos construídos.

De fato, Alonso (1964) apresentou um modelo linear muito simples como evidência empírica de uma teoria, que, por outro lado, é altamente elaborada.

Outra importante crítica aos modelos microeconômicos é o modo de representação do espaço e das atividades. Já que os modelos microeconômicos tratam o espaço como uma variável contínua, é completamente impossível representar a variedade e a riqueza da geografia urbana regional.

Para se obter uma aplicação prática dos modelos microeconômicos são necessárias modificações fundamentais. Isto é importante não só para a prática profissional, mas também para o desenvolvimento teórico. Como já dito anteriormente, os modelos foram definidos como proposições testáveis, derivadas de teorias. Quando estas teorias tornam-se modelos testáveis sujeitos à refutação, deve-se acessá-las com o intuito de aperfeiçoá-las.

2.2.1 Modelo de Von Thünen

A primeira publicação sobre modelo de uso do solo foi a do economista alemão Heinrich Von Thünen (1783-1850), publicada em 1826, e conhecida como Teoria do Estado Isolado.

O modelo de Von Thünen, segundo Barra (1979), foi a primeira tentativa para explicar o efeito do custo do transporte na localização das atividades e no preço das terras. Para isso, usou como exemplo uma região agrícola idealizada. A teoria tinha como pressupostos: uniformidade das condições naturais; terras com mesma topografia e fertilidade; uma única cidade (mercado); mesmos custos de produção; um só tipo de transporte; e concorrência perfeita. O sistema considerado é fechado (estado isolado), no sentido de que não há interação com outras regiões e de que, uma vez

alcançado o equilíbrio, nenhum ator sai ou entra no sistema. Há um grande número de produtores querendo maximizar seus lucros assim como um grande número de proprietários querendo maximizar seus aluguéis de terra.

Von Thünen concluiu que a renda econômica depende da distância do mercado, isto é, as terras mais próximas do centro consumidor têm renda maior do que as mais distantes. A renda de localização tem uma relação inversa com a distância.

A abordagem de Von Thünen inspirou vários teóricos do urbanismo.

Os custos unitários de transporte e o preço do solo urbano são, até hoje, funções decrescentes da distância ao centro.

Como os custos de transporte aumentavam com a distância, o afastamento do mercado determinava para Von Thünen a seleção de culturas. Concluiu que os produtos se distribuíam, de maneira regular, em torno do mercado – forma conhecida como Anéis de Von Thünen. Nesse contexto, os produtos perecíveis ou difíceis de serem transportados se localizavam próximos ao centro consumidor. Nos outros anéis estaria o cultivo da madeira, importante como fonte de energia e calor, seguido pelas culturas de cereais e a pecuária. Nas áreas mais distantes não haveria muitas culturas, pois os custos de transporte seriam maiores.

Para entender a importância da localização das culturas em diferentes anéis concêntricos, pode-se observar que, como não havia refrigeração à época, vegetais, frutas e leite tinham que chegar rapidamente ao mercado e ser logo consumidos. Por essa razão os produtores de leite e hortaliças pagam mais pela terra do que outros produtores para se localizarem próximos ao mercado. Antes da industrialização, a madeira era um combustível essencial para o aquecimento das casas e para cozinhar. Como é muito pesada e difícil de ser transportada, sua produção se localiza mais perto do mercado. Os grãos, que duram mais que os laticínios e hortaliças e são mais leves que a madeira, têm

o custo de transporte reduzido, e sua produção pode ficar mais distante. A criação de gado para produção de carne se localiza no cinturão mais distante do mercado. O gado pode ser criado longe do mercado, pois se transporta por si mesmo, podendo caminhar até o mercado central para ser ali abatido.

Assim, o modelo procura demonstrar o equilíbrio entre o custo da terra e o custo do transporte. Quanto mais próximo do mercado, maior o preço da terra. Os fazendeiros equilibram o lucro, o custo do transporte e o da terra para produzir para o mercado com custos menores.

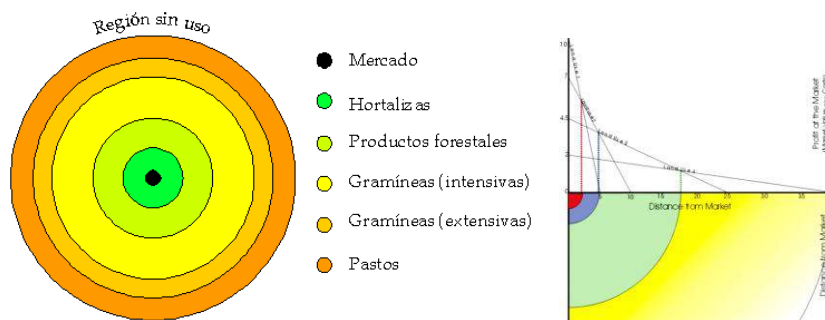


Figura 07 - Modelo de Von Thünen

Segundo Barra (1979), o modelo de Von Thünen, apesar de ter sido desenvolvido há muito tempo, permanece como a proposta mais geral, porque equilibra não só o mercado de terras como também o mercado de *commodities*.

2.2.2 Modelo de Christaller

Walter Christaller (1893-1969), geógrafo alemão, desenvolveu um modelo em 1931 conhecido como Teoria dos Espaços Centrais, que tenta explicar, segundo Barra (1979), os princípios gerais da distribuição e hierarquização dos espaços urbanos que prestam serviços à população a sua volta. De acordo com Barra (1979) é um modelo como o de Von Thünen, sobre terras agrícolas, considerando não apenas um único mercado central, mas diversos pontos de mercado concorrendo entre si.

Ele estabelece o conceito de “espaços centrais” e sustenta que a centralização é um princípio natural dos assentamentos humanos. O croqui mais conhecido do modelo de Christaller é o de uma divisão do território em hexágonos, em que os mercados são equidistantes entre si.

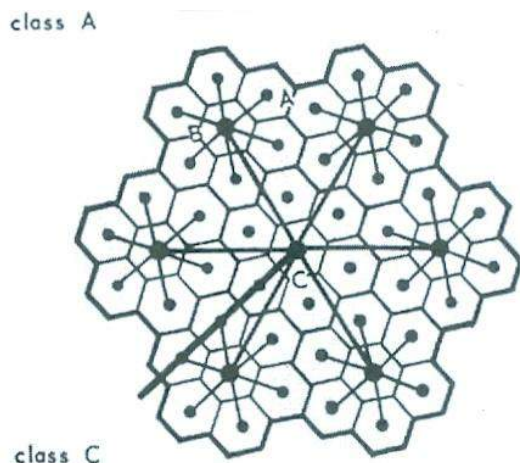


Figura 08 - Modelo de Christaller

Segundo Barra (1979), a contribuição importante do modelo de Christaller é a explicação do modo como regiões multicêntricas podem ser formadas.

2.2.3 Modelo de Wingo e Alonso

Os modelos americanos de uso do solo e transporte de Lowden Wingo Jr. e de William Alonso são semelhantes e foram desenvolvidos independentemente nos anos sessenta.

Segundo Barra (1979), o modelo de uso do solo e transporte de Wingo, como o de Von Thünen, contém simplificações similares: na área urbana idealizada há somente um centro de emprego onde todos os residentes trabalham. Todos os residentes têm a mesma renda e as mesmas preferências. Os preços de todos os bens e serviços são iguais em qualquer localização, exceto para a habitação. O custo do transporte é uma função linear da distância até o único centro de emprego.

Wingo propõe o princípio da complementaridade entre o custo de transporte e a renda da terra, isto é, qualquer que seja a localização de uma moradia, haverá um volume fixo de dinheiro gasto entre o custo da habitação e o custo do transporte.

Segundo Barra, tanto para Wingo quanto para Von Thünen, quando há um transporte mais econômico, é maior o preço do solo. No centro o custo do transporte é zero e o custo da habitação é máximo, enquanto na margem da mancha urbana o custo de transporte é máximo, e o custo do solo tende a zero. Assim, em um espaço urbano circular de raio R , com o mercado de trabalho em seu centro, e a renda por unidade de área em um ponto P , a distância de p até o centro é correspondente ao custo do transporte não percorrido, isto é, o custo do percurso da margem do espaço urbano até P . Wingo só considera duas variáveis: centro e habitações. O custo da terra = $R - p$

Alonso tem um raciocínio semelhante, mas adiciona outros usos que não o habitacional, e introduz diferentes níveis de renda. Assim como no modelo de Wingo, o custo do transporte é uma função linear até o centro, e o preço da terra é em função do preço do transporte.

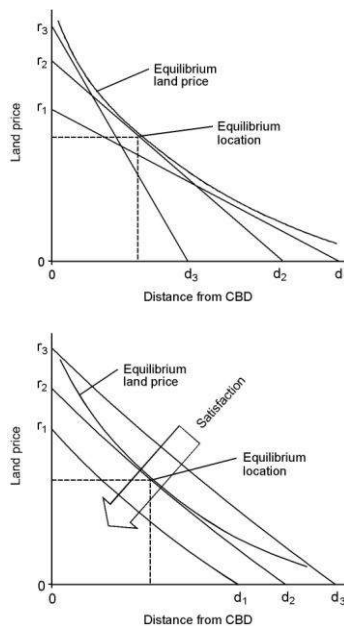


Figura 09 - Modelo de Alonso

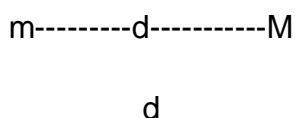
2.3 Modelos de interação espacial

Em um sentido genérico, o estudo da interação espacial envolve o estudo das entidades que interagem e a forma de interação entre elas.

Segundo Briassoulis (2000) a tradição dos modelos de interação espacial baseia seus esforços iniciais para modelar a interação das atividades humanas no espaço.

Os primeiros modelos foram denominados “modelos gravitacionais”, porque foram baseados em uma analogia à lei da gravitação universal de Isaac Newton: “na natureza tudo se passa como se a matéria atraísse a matéria na razão direta das massas e na razão inversa do quadrado das distâncias”.

Pode-se exemplificar esta lei imaginando-se dois planetas com massas **M** e **m**, a uma determinada distância (**d**) entre elas.



A força de gravidade entre elas é:

$$F = K M.m / d^2$$

Onde **K** é uma constante universal.

Segundo Barra(1979), em vez de olhar para ‘moléculas’ individuais de uma área urbana, a interação espacial estava mais interessada no comportamento de “massas” e na relação entre elas.

A analogia se faz ao associarmos os planetas **M** e **m** a dois espaços urbanos **E** e **e**, que teriam relações em função da distância entre eles, como, por exemplo, a frequência do transporte de pessoas e mercadorias.

É fácil inferir que, quanto maior os espaços urbanos, maior a relação entre eles, e quanto maior a distância entre eles, menor é esta relação.

$$F = \frac{kE \cdot e}{D^2} \quad * \text{-----} d \text{-----} *$$

F é a intensidade da relação entre os espaços **E** e **F**, mas **K** não é universal. Depende de cada caso. Por isso o modelo deve ser calibrado para cada situação específica. Em outras palavras, cada caso tem um **K** diferente.

A forma mais simples de modelo gravitacional que é paralela à forma correspondente ao modelo na física é a seguinte (Wilson, 1977):

$$S_{ij} = k O_i D_j f(d_{ij})$$

S_{ij} - Denota interação (fluxo) entre a zona de origem i e a zona de destinação j .

O_i - É o "tamanho" ou "massa" da zona de origem i .

D_j - É o tamanho ou massa da zona de destinação j .

d_{ij} - É a medida da distância entre a zona i e j .

k - É a constante que é empiricamente determinada e ajusta a relação para as condições presentes.

$f(d_{ij})$ - É um símbolo geral para a função da distância.

No modelo de interação espacial a interação entre duas zonas é proporcional ao número de atividades em cada zona (massas), e inversamente proporcional à fricção imposta pela infraestrutura particular que as conecta.

Se o sistema é composto por mais de duas zonas, os fluxos entre qualquer par de zonas particulares devem ser restringidos pelo efeito combinado de todas as outras zonas presentes no sistema.

Os modelos microeconômicos têm uma abordagem desagregada, isto é, as análises se centram no entorno do comportamento de unidades individuais. A abordagem dos modelos de interação espacial, ao contrário, pode ser definida como "agregada", porque o espaço e as atividades são agregados em

categorias distintas. Ao analisar pontos particulares no espaço, são definidas zonas contendo um grande número de atividades. Atividades são agregadas em grupos, e se assume que todos os membros individuais de um grupo têm características semelhantes.

Essas unidades agregadas interagem, gerando fluxos de diferentes tipos, que podem ser de natureza concreta, como viagens, migrações, movimentos de *commodities* etc., ou de natureza mais abstrata, como dependências, difusões, oportunidades etc. Cada zona é descrita por uma série de atributos. As zonas são ligadas umas às outras através de infraestruturas ou redes, dependendo da natureza dos fluxos.

Os modelos gravitacionais são espacialmente explícitos. O grau de representação espacial depende do número de zonas em que a região estudada está subdividida. No entanto eles reduzem a atividade do uso do solo modelado para o centro de cada zona, negligenciando a real variabilidade de intensidade do uso do solo dentro da zona, e que pode afetar de forma importante as mudanças resultantes.

O modelo pode ser usado de diversas maneiras. Se o interesse são os fluxos, como um modelo de demanda de transportes, M (massas) representará a atração e produção de variáveis. O modelo pode servir também para simulação de localização de atividades, análise de transportes etc.

Segundo Barra (1979), em uma alternativa os modelos de interação espacial podem ser usados para medir o “potencial” de uma zona particular em relação a todas as outras. Este tipo de análise pode ser útil para diagnosticar e determinar o potencial de desenvolvimento de uma zona, para propósitos de projeto ou para determinar a localização otimizada Por exemplo de uma indústria em relação a um comércio particular.

A maioria dos autores concorda que a origem dos modelos modernos de interação espacial começa com o trabalho de Hansen em 1959, que, ainda usando a analogia gravitacional, elaborou a localização dos residentes como

uma função de acessibilidade ao emprego. Esse trabalho gerou uma grande atividade de pesquisa.

O modelo de Lowry, “Model of Metropolis”, é considerado um marco desta nova abordagem. A partir dele foram desenvolvidos diversos outros modelos, influenciados direta ou indiretamente por seus postulados.

Segundo Barra (1979), existem muitos fatores que contribuíram para o rápido crescimento dessa área de pesquisa. Talvez o ponto mais importante dos modelos de interação espacial seja a facilidade com que são aplicados a casos reais, produzindo resultados rápidos e realísticos.

Outro fator é que sua abordagem é particularmente relevante para a análise dos transportes. Durante os anos 60 e 70, em virtude do rápido crescimento urbano e do aumento da acessibilidade ao carro, muitos projetos relacionados a transporte foram feitos, e esses modelos foram muito demandados.

Uma importante contribuição para o modelo gravitacional foi o trabalho de Wilson (1967, 1970, 1974) na maximização de entropia. Esse método criou a base para o desenvolvimento e a implementação de inúmeros modelos operacionais, como os de Echenique (1968) e Batty (1976).

O conceito de entropia foi originalmente desenvolvido na mecânica estatística. A entropia mede a probabilidade de um sistema estar em um estado particular. Segundo Briassoulis (2000), o procedimento de maximização da entropia desenvolvido por Wilson procura revelar o mais provável estado (de interação) de sistemas urbanos, que corresponde ao maior número possível (observados) de microestados. Neste sentido, Wilson chegou à mesma forma operacional dos modelos gravitacionais, evitando o problema da agregação.

Outra interpretação da abordagem de entropia é que ela oferece uma medida de incerteza ou falta de informação no sistema, portanto, o modelo pode ser mais probabilístico. Outros esforços foram feitos para refinar a base teórica do modelo na mesma linha de maximização de entropia.

Uma das críticas dos modelos de interação espacial foi a de que representam uma visão mecanicista e determinística do comportamento humano, interpretado de acordo com as leis que governam o movimento de partículas.

Em uma perspectiva mais ampla, as fundações teóricas fracas do modelo e o modo reducionista (dedutivo) de análise não lhe habilitam a representar a rede complexa de interações entre os agentes biofísicos e socioeconômicos das mudanças no uso do solo.

Muitas pesquisas são necessárias, com foco em conceitos mais amplos sobre o uso do solo e suas mudanças, para descobrir como e em que extensão os modelos de interação espacial podem resolver as muitas questões sobre mudanças no uso do solo.

Esse tipo de teoria não considerava de forma explícita as questões econômicas, tais como preço da terra, renda dos indivíduos etc. Segundo Briassoulis (2000), seus modelos surgiram a partir de um embasamento teórico fraco, que foi evoluindo com o tempo em função de testes sucessivos sobre dados da realidade. Os resultados desses testes serviram como ajustes à teoria, ou mesmo *insights* para novas formas de entender o fenômeno urbano. Assim, paulatinamente, foram introduzidas inovações nesses modelos. Entre elas, as mais significativas foram tentativas de afastá-los do determinismo e da racionalidade perfeita, como a maximização de entropia segundo Wilson (1967) e Wegener, (1994).

2.3.1 Modelo de Lowry

O modelo conhecido como Modelo Metropolis, de I.S. Lowry, foi publicado em 1964, e é um dos primeiros modelos de interação espacial. Segundo Putman (1975), o modelo de Lowry foi um dos primeiros a propor a relação causal entre distribuição espacial de atividades e deslocamento de pessoas com seus efeitos sobre o transporte, verificados através de variações de acessibilidade.

O pressuposto do modelo é que os padrões de atividade econômica e uso do solo criam uma demanda por transporte de pessoas e bens. A eficiência e a disponibilidade do transporte influenciam a escolha de localização de residência, emprego e negócios.

Lowry divide a área urbana, segundo as atividades, em zona básica (emprego em indústrias básicas); setor não básico (serviços e comércio); e setor residencial.

Segundo Novaes (1981), com essa distribuição de zonas o modelo de Lowry faz um uso estimado do solo, verifica os efeitos sobre transportes e estima a demanda por viagens. O modelo obtém um padrão de intercâmbios de viagens partindo das moradias para o trabalho ou para os serviços. Novaes diz que o modelo de Lowry teve diversas aplicações práticas na Europa (Ljubljana na Iugoslávia e Zurique na Suíça) e várias aplicações em cidades inglesas (como Bedfordshire, Lancashire e Cambridge). No Brasil, o modelo foi aplicado em Porto Alegre, Salvador e Recife.

2.3.2 Modelo Meplan

MEPLAN é um modelo desenvolvido por Marcial Echenique e que foi aplicado em 25 regiões do mundo, incluindo Sacramento, Califórnia. MEPLAN é um modelo de agregação. Segundo Bowman (2006) é o modelo mais aplicado no mundo, e ele o descreve: o espaço é dividido em zonas, quantidades de domicílios e atividades econômicas (chamados 'fatores' ou 'setores') localizados nessas zonas. Os fluxos de interação entre esses fatores, em zonas diferentes, dão origem a fluxos de demanda por transporte. Todas as atividades econômicas, incluindo residências, são tratadas como atividades de produção e consumo, com padrões de consumo expressos por coeficientes.

A desagregação espacial é realizada pela produção adicional para satisfazer o consumo nas zonas espaciais em relação aos preços de tais produções. As interações resultantes entre as zonas dão origem à demanda por viagens. A mudança temporal é simulada considerando-se pontos sequenciais no tempo. O espaço não é transportável e deve ser consumido na zona em que é produzido. O fornecimento de espaço em cada zona é fixo em determinado ponto no tempo. Os coeficientes para o consumo de espaço são elásticos em relação ao preço, e preços que garantam a demanda e a oferta são estabelecidos em cada zona, em cada ponto no tempo.

Os preços para as saídas de outros setores são estabelecidos endogenamente ao longo das cadeias de produção-consumo. Demandas de viagem em um determinado ponto no tempo são alocadas para uma rede multimodal, usando funções *logit* (função logarítmica) que representam o modo, a escolha de rota, levando em conta o congestionamento.

Os modelos Meplan surgiram com caráter reconhecidamente quantitativo e, portanto, desvinculados de recursos que possibilitassem a representação espacial dos seus resultados.

2.3.3 Modelos de autômatos celulares

Modelos de autômatos celulares (CA) tornaram-se populares em inúmeros ramos do conhecimento científico, encontrando aplicabilidade em áreas como ecologia, biologia, epidemiologia, termodinâmica, hidrologia, meteorologia, entre outras. Isto se explica em grande parte pelo fato de que essas abstrações são de fácil manuseio computacional e apreensão lógica, capazes de gerar dinâmicas que replicam processos tradicionais de mudanças por difusão e, ao mesmo tempo, contêm complexidade suficiente para simular padrões inusitados e surpreendentes como aqueles encontrados em fenômenos emergentes.

Fundamentalmente, modelos de CA simulam processos de mudança ou crescimento baseados na premissa de vizinhanças estritamente locais, onde as transições ocorrem única e simplesmente em função do que acontece na vizinhança imediata de dada célula. Nesse sentido, inexistente ação à distância, pois a dinâmica inerente aos autômatos e que produz fenômenos emergentes a nível global é inteiramente um produto de decisões locais, as quais desconsideram tudo o que se passa além da vizinhança reconhecidamente imediata (Batty, 2005).

No final dos anos oitenta, os CA's começaram a ser amplamente utilizados para questões urbanas, impelidos pelo desenvolvimento paralelo no âmbito da computação gráfica e da teoria da complexidade, caos, fractais etc. São modelos dinâmicos espaciais, idealizações de sistemas físicos em que o espaço e o tempo são discretos.

Um autômato celular evolui em passos de tempo discretos, com o valor da variável em uma célula sendo afetado pelos valores das variáveis de células vizinhas. As variáveis em cada célula são atualizadas simultaneamente (sincronicamente), baseando-se nos valores das variáveis da sua vizinhança no passo precedente, e de acordo com um conjunto predefinido de regras locais.

Modelos dinâmicos como o CA demonstram ser úteis para identificação dos principais vetores de crescimento urbano e de suas tendências gerais de uso do solo, permitindo ao poder público local ordenar e redirecionar o crescimento urbano, conforme a capacidade de suporte ambiental e a disponibilidade presente e futura de infra e superestrutura.

Segundo Wolfram (2002), os autômatos se dividem em quatro classes com base nos padrões espaço-temporais gerados por sua evolução:

Classe I: A evolução temporal leva o autômato celular a um estado homogêneo, no qual todas as células atingem um mesmo valor (pontos fixos).

Classe II: A evolução no tempo leva o autômato celular a um estado estável e periódico no tempo e espacialmente não homogêneo, ou seja, no qual nem todas as células possuem o mesmo valor.

Classe III: A evolução no tempo leva o autômato celular a um estado desordenado, não possuindo padrão reconhecível.

Classe IV: A evolução no tempo leva o autômato celular a gerar estruturas complexas com evolução imprevisível, que podem se propagar criar e/ou aniquilar outras estruturas. Essa evolução complexa pode ocorrer após intervalos de tempo relativamente grandes.

A existência de somente quatro classes qualitativas indica, segundo Wolfram (2002), a universalidade do comportamento do autômato celular, e muitas de suas características dependem somente da classe que o autômato pertence, e não de detalhes precisos da sua evolução.

CAPÍTULO III: MODELOS URBANOS: CRÍTICAS E ESTADO DA ARTE

3.1 Modelos urbanos: Críticas e estado da arte

Segundo Barra (1977), os modelos urbanos, sobretudo com o surgimento dos modelos de interação espacial, tiveram um desenvolvimento importante na década de sessenta com os trabalhos de Lowry, Wingo, Alonso e outros. Várias críticas a esses modelos foram feitas.

Douglas Lee, em “Requiem for Large Scale Models” (1973), reúne de forma sistematizada as críticas feitas aos modelos urbanos. O autor atribui parte da diminuição no interesse desses modelos ao fato de que integravam o racionalismo do planejamento urbano dominante, o paradigma modernista, que já estava então sendo contestado. Os modelos eram detalhados e abrangentes demais para serem utilizados pelos tomadores de decisões, exigiam enormes quantidades de dados (difíceis de serem obtidos) e tinham pouco conteúdo teórico, gerando dificuldades para prever e controlar o futuro das cidades.

Douglas Lee (1973) observa que existe uma grande discrepância entre os modelos e o contexto da mudança do planejamento e afirma que os modelos não responderam aos novos desenvolvimentos, porque “simbolizaram a última ofensiva tecnocrata e hiper abrangente do planejamento urbano”.

Lee criticou a pobreza dos fundamentos teóricos dos modelos urbanos na época em que publicou seu “Réquiem”. Entretanto, grandes avanços aconteceram após suas críticas, tanto em relação às teorias, que se tornaram mais apropriadas para explicar o comportamento e a estrutura espacial, quanto às técnicas empíricas para calibrar os modelos.

Segundo Wegener (1999), esses avanços e desenvolvimentos conduziram a um amplo consenso sobre o que constitui um modelo urbano avançado, e que se distingue daquele criticado por Lee.

De acordo com Batty, “existem grandes oportunidades de se incorporar novas metodologias e novas teorias, e os rápidos avanços na tecnologia de informação e computação têm removido barreiras técnicas que atrapalharam os modelos antigos de uso do solo e transporte”.

Lee desenvolveu uma crítica enumerando o que considerou como os sete pecados mortais dos modelos urbanos, e a hiperabrangência (*hypercomprehensiveness*) é o primeiro deles. Sua principal crítica era a de que os modelos tentavam replicar um sistema muito complexo de uma só vez, e que se esperava que eles servissem a muitos propósitos diferentes ao mesmo tempo. Para Lee, os modelos de uso do solo e transporte eram muito ambiciosos e representavam a tradição do planejamento com uma visão racionalista, a qual considerava condenada.

No entanto, a visão de que os sistemas podem ser “decompostos” e não abrangentes e que os problemas de suas partes podem ser tratados separadamente foi superada pela teoria sistêmica, a teoria da complexidade apresentada neste trabalho.

De acordo com Harris (1994) é possível separar a ideia de um plano diretor da ideia de uma compreensão geral do sistema urbano. O planejamento abrange objetivos conflituosos, e com consequências não pretendidas sobre o espaço, o tempo e a função. Portanto, uma visão geral do desenvolvimento urbano é altamente desejável, mas intrinsecamente complicada pela natureza do sistema, independentemente do observador. Estudar e decifrar a complexidade requer uma análise complexa e sofisticada. Se esta análise é apoiada em modelos, então o sistema de modelar será complexo.

Este pensamento influenciou a profissão do planejador e do modelador. A separação subsequente entre modelagem e planejamento causou um dano às duas comunidades e atrasou significativamente o desenvolvimento e o uso de modelos.

Outra crítica de Lee é quanto à “rudeza” (*Grossness*) – de certa forma, o contrário de hiperabrangência. Os modelos de uso do solo e transporte, por terem uma abordagem agregada, produzem resultados muito simplistas para serem úteis às políticas urbanas, que são complicadas e sofisticadas.

A “fome de dados” (*Data Hungriness*) é vista por Lee como um pecado, porque, mesmo para produzir resultados grosseiros, os modelos necessitavam de muitas variáveis sobre muitas unidades geográficas, de diversos períodos de tempo, para produzir projeções aproximadas, e muitas vezes sem conseguir obter os dados necessários para seu funcionamento. Em alguns casos os dados simplesmente não existiam na especificidade apropriada para o funcionamento do modelo.

Harris diz que o futuro do planejamento e da modelagem está relacionado com o desenvolvimento da computação e da teoria urbana, e afirma: “A velocidade da computação e a disponibilidade cada vez maior de dados permitirão maior atenção ao detalhe numa modelagem urbana mais realística”.

Lee usou o termo “erros de pensamento” (*wrongheadedness*) para caracterizar modelos que sofriam de desvios substanciais, ou seja, produziam resultados que diferiam daqueles que foram pedidos. Segundo ele, modelos se desviavam da realidade em virtude de erros de especificação para calibrar o modelo, que muitas vezes sequer eram reconhecidos por seus usuários.

A “complicação” aparece como outro pecado teórico da modelagem. Lee diz que os modelos são muito complicados e ao mesmo tempo não são suficientemente complexos, já que lhes faltam muitas variáveis relevantes. Seriam muito simplistas em replicar os processos urbanos econômicos e sociais e muito complexos em seus algoritmos computacionais.

A complicação, segundo Lee (1973), “é um pecado que em parte resulta dos dados excessivos e pesados acessados pela computação, e que resultam em possíveis faltas de acuidade para tornar os modelos mais realísticos”.

Os aspectos computacionais dessas dificuldades foram em parte superados, segundo Wegener e Batty (1999), (1976).

De acordo com Harris (1994), a crítica de Lee ao “pecado” da “mecanicidade” é a de que a mecânica de programação dos modelos seria um obstáculo à construção dos modelos. Nos dias de hoje essa visão seria inválida, dado os avanços nos métodos de programação, nos softwares e a experiência de modeladores.

O “custo”, como um dos pecados provenientes da “rudeza”, “fome de dados”, “complicação”, e assim por diante, faz, segundo Lee, com que os modelos sejam impedidos de serem desenvolvidos para melhor se adequarem às suas aplicações por falta de recursos.

Segundo Harris (1994), Lee não faz uma comparação com os altos custos para obtenção de informação para o planejamento e para análises sem modelos. Para Harris, os custos para desenvolver e usar modelos vêm declinando exponencialmente.

Lee (1973) compara os modelos a uma “caixa preta”, e “nem mesmo os modeladores podem entender o que corre dentro de seus próprios modelos.” Para o autor, o modo de construção dos modelos se assemelha ao do processo tradicional do planejamento do uso do solo e transporte, isto é, com uma abordagem centralizadora e de cima para baixo. Em relação a esta crítica, Harris (1994) rebate dizendo que faltou uma análise mais aprofundada de Lee sobre a construção de um modelo, e argumenta: “Lee tem muitos *insights* em modelagem, mas nunca discute um só modelo em detalhes; isto torna difícil acreditar na sua análise”.

Lee também questiona a falta de publicações teóricas em fóruns mais amplos e critica o fato dos modeladores enfatizarem que os modelos são “operacionais”,

como se isso significasse a mesma coisa que práticos. Lee não os considera práticos.

Segundo Lee (1973), os modelos poderiam ser melhorados se fossem mais transparentes para os usuários e aqueles que fazem políticas urbanas. Os modelos deveriam combinar fundamentos teóricos, informações objetivas, sabedoria e bom julgamento. “Sem estes elementos eles permanecem exercícios empíricos vazios, teorizações abstratas, ou resultam em uma consciência errada do que acontece nas áreas urbanas reais.”

Lee sugere que os modelos deveriam começar com os problemas e combinar os métodos com as necessidades de situações particulares, não reunindo mais informação ou usando mais complexidade de modelagem do que é realmente necessário. Os modelos deveriam ser construídos com o máximo de simplicidade, já que modelos complexos não funcionam bem, e certamente não são suscetíveis de serem entendidos por aqueles que terão que agir baseados em seus resultados.

Segundo Harris (1994), o erro mais grave de Lee foi o de não considerar que avanços tecnológicos seriam feitos e ignorar a possibilidade de que um desenvolvimento rápido aconteceria, o que de fato aconteceu nas décadas seguintes. “Este progresso não previsto negou total ou parcialmente a validade de muitas de suas imputações de pecado feitas por Lee”.

Segundo Reid Ewing (2001), a maior parte dos sete pecados que Lee apontou em seu “Requiem” se tornou irrelevante devido ao progresso na teoria e na disponibilidade de dados aliada aos avanços da informática.

Os modelos urbanos precisam não só propor, mas estar aptos para prever os impactos econômicos e ambientais das políticas de uso do solo e transporte, o que requer uma predição também das emissões de poluentes. Esta foi uma importante mudança na aplicabilidade dos modelos.

Após as críticas de Lee, os modelos foram aperfeiçoados, e Wegener (1995) se mostrou otimista quanto ao estado atual e a suas possibilidades futuras. Segundo Wegener, “... existe em atividade uma pequena rede de diversos modeladores urbanos que estão conectados e trabalhando nos quatro continentes e cerca de uma dúzia de modelos operacionais urbanos e regionais com vários graus de abrangência e sofisticação que estão sendo aplicados em regiões metropolitanas com o propósito de pesquisa e/ou para análises de políticas urbanas”.

Em relação às críticas de Lee sobre a falta de teoria dos modelos e sua inadequação às teorias existentes, afirma Wilson (1997) “os modelos oferecem estrutura e base para a teoria e o desenvolvimento teórico. A modelagem dinâmica torna possível fazer um julgamento melhor sobre a validade das predições. A modelagem pode oferecer o cerne analítico do processo. Planejadores são capazes de fornecer a estrutura para o uso dos modelos. O planejamento tipicamente envolve o design (invenção de alternativas) e o processo de planejar nunca é trivial”.

Ainda segundo Wilson (1980), “... avanços futuros porão mais ênfase em sistemas dinâmicos e usarão teorias matemáticas de catástrofe, caos, complexidade e dinâmicas não lineares. Estas capacidades melhoradas tornarão possível aos planejadores lidar mais realisticamente com problemas sociais e outras partes importantes do contexto do planejamento”.

E o autor completa: “o contínuo surgimento de novos problemas teóricos a serem resolvidos mostra a necessidade de um maior interesse na utilização de modelos urbanos”.

Entretanto, Wilson (1980) observa que “os modelos urbanos como ferramentas para o planejamento urbano ainda não atingiram um desenvolvimento maduro”, ou que “as complexidades da dinâmica urbana, necessárias para representar as cidades, estão ainda longe de serem compreendidas para uma melhor articulação do problema”.

O debate sobre os vários modelos novos tem se intensificado.

O campo da modelagem, segundo Batty (2005), "... está novamente cheio de vida. Existe mais de uma dúzia de modelos urbanos operando em variados graus de extensão e de sofisticação, que foram e estão sendo aplicados a regiões metropolitanas para propósitos de pesquisa e/ou análise de políticas urbanas. Existem vários centros de pesquisa de modelagem urbana no mundo, porém os modelos urbanos não se transformaram em um ingrediente rotineiro na prática do planejamento urbano. Muitos projetos pioneiros foram abandonados ou simplesmente arquivados desde então.

Devido ao crescente interesse nos modelos do uso do solo e transporte, Susan Handy (1996), acha importante considerar que, "... as propostas para soluções e melhora no transporte ainda não foram resolvidas pela pesquisa por uma série de razões. Uma delas estaria nas relações entre transporte e uso do solo que são mais complicadas do que parecem. Ao invés de uma relação simples entre transporte e investimento em transporte e em padrões de desenvolvimento do uso do solo e transporte, estamos enfrentando um sistema endógeno de relações de transporte e uso do solo, i.e., a influência de padrões de uso do solo nas decisões sobre investimento em transporte, o impacto do tráfego nas decisões locais, investimentos em transporte rápido, e assim por diante".

Para a autora, ainda hoje a avidez por dados é em parte verdadeira, "O levantamento de dados para um modelo permanece um grande esforço. Entretanto, em muitos casos a introdução de computadores gerou uma associação dos dados, coletados e atualizados rotineiramente, e que podem ser usados como base de informação para outros tipos de modelo. Outros fatores também reduziram a dependência de dados dos modelos urbanos como o progresso significativo feito na teoria urbana nas últimas décadas. Geralmente, os modelos de hoje são mais parcimoniosos (1996)".

Para Batty (2005), "... seria talvez mais eficaz concentrar-se preferivelmente na validação do modelo, isto é, na comparação dos resultados do modelo com dados observados durante um período mais longo. Entretanto, poucos exercícios da validação são relatados na literatura de modelagem. No futuro o único teste de desempenho de um modelo deveria ser o da sua habilidade de prever pelo menos a dinâmica essencial do sistema modelado".

Segundo Wegener (1995), "diversos caminhos parecem promissores. Os impactos das políticas públicas em padrões de transporte são mais claros e fortes se comparados com as interrelações entre o uso do solo e transporte. Enquanto o tempo de viagem e o custo de viagem têm um impacto negativo na distância de percurso e frequência, a acessibilidade tem um impacto positivo na distância e frequência. A escolha de um modo é dependente da comparação com todos os outros modos em termos de atratividade. O modo mais rápido e mais barato terá um percentual mais alto de procura. Em geral, as considerações teóricas apoiam a conclusão de que o impacto das medidas de uso do solo é menor do que o impacto das medidas que melhorem o tempo e o custo do transporte".

O modelo Meplan de interação espacial, de Echenique e colaboradores, está atualmente sendo aplicado em várias cidades.

Outras inovações metodológicas que podem beneficiar potencialmente os modelos urbanos estão relacionadas aos desenvolvimentos no campo de sistemas de informação geográfica (GIS), que, apesar de sua popularidade, surpreendentemente ainda tem contribuído pouco para a inovação metodológica na análise urbana. O mundo do GIS e o mundo de modelagem urbana ainda estão distantes entre si. É um desafio explorar estes dois tipos de análise espacial.

No final dos anos oitenta começaram a ser amplamente utilizados para questões urbanas os modelos dinâmicos espaciais em que os CA (autômatos celulares) são um dos melhores representantes. Os CA são idealizações de

sistemas físicos em que o tempo e o espaço são discretos. Eles se tornaram populares por apresentarem uma simplicidade operacional, por terem uma complexidade que pode reproduzir processos de mudança. Esses modelos podem se articular a dados matriciais comumente usados em GIS.

Os modelos urbanos tiveram sucessivos melhoramentos e passaram a incorporar dimensões ambientais, socioeconômicas, políticas e, finalmente, a articulação de fatores de micro e macroescalas espaciais.

O grande desafio para a modelagem urbana parece ser a descoberta de novos campos de aplicação e novos problemas a enfrentar, como, por exemplo, as questões ambientais.

CAPÍTULO IV: TEORIA SISTÊMICA E TEORIA DA COMPLEXIDADE

4.1 Evolução histórica das teorias científicas de mecanicistas a sistêmicas

Segundo Capra (1982), a abordagem empírica e o uso de uma descrição matemática da natureza são dois aspectos pioneiros do trabalho de Galileu, e se tornaram as características dominantes da ciência no século XVII, subsistindo como importantes critérios das teorias científicas até hoje. Galileu foi o primeiro a combinar a experimentação científica com o uso da linguagem matemática para formular as leis da natureza descobertas por ele.

A filosofia, Capra (1982) acreditava, está escrita nesse grande livro que permanece sempre aberto diante de nossos olhos; mas não podemos entendê-la se não aprendermos primeiro a linguagem e os caracteres em que ela foi escrita. E esta linguagem é a linguagem matemática.

Descartes (2006), assim como Galileu, pensava que a linguagem das ciências da natureza era a matemática, e criou um método que, segundo ele, permitiria construir uma ciência da qual se poderia ter uma certeza absoluta, uma ciência baseada em princípios fundamentais que dispensam demonstração.

“*Cogito, ergo sum*” (penso, logo existo) é o ponto fundamental do Método de Descartes, i.e., a dúvida. Ele duvida de tudo que pode ser submetido à dúvida e seu método propõe decompor os pensamentos e os problemas em suas partes e organizá-las em uma ordem lógica.

“Toda ciência é conhecimento certo e evidente”, escreveu Descartes (2006). “Rejeitamos todo conhecimento que é meramente provável e consideramos que só se deve acreditar naquelas coisas que são perfeitamente conhecidas e sobre as quais não podem haver dúvidas.” (Discurso sobre o Método)

Descartes utilizou o mecanismo do relógio como a principal metáfora do universo. Era como se a natureza funcionasse da mesma forma. Desmonta-se,

reduz-se a um conjunto de peças simples e fáceis de entender, faz-se a análise de cada uma das partes individualmente e aí passamos a entender o funcionamento do todo. Esta visão fragmentada da realidade, a partir da qual se pode obter um conhecimento total, era a essência do pensamento de Descartes.

O método de Descartes (2006) tinha por finalidade apontar o caminho para se chegar à verdade científica, como fica evidente no título do seu livro, *Discurso do método para bem conduzir a razão e procurar a verdade nas ciências*.

“Não admito como verdadeiro o que não possa ser deduzido, com a clareza de uma demonstração matemática. Como todos os fenômenos da natureza podem ser explicados desse modo, penso que não há necessidade de admitir outros princípios da física, nem que sejam desejáveis”.

O método de Descartes tornou-se uma característica essencial do pensamento científico moderno e provou ser extremamente útil no desenvolvimento de teorias científicas. Porém, a ênfase excessiva dada ao método cartesiano levou à fragmentação característica do nosso pensamento em geral e das nossas disciplinas acadêmicas, e levou à atitude generalizada de reducionismo na ciência – a crença de que todos os fenômenos complexos podem ser compreendidos se reduzidos às suas partes. O conhecimento, portanto, é obtido através da intuição e da dedução.

“A revolução Cartesiana tornou o universo acessível através da razão. O poder da análise e da lógica tornaram os homens mestres da ciência e da tecnologia” (Rosnay, (2000).

Segundo Heisenberg (1999), que formulou o princípio da incerteza, há limites na nossa capacidade de medir simultaneamente certos dados e “essa divisão penetrou profundamente no espírito humano nos três séculos que se seguiram a Descartes, e levará muito tempo para que seja substituída por uma atitude realmente diferente em face do problema da realidade”.

Descartes criou uma estrutura conceitual para a ciência do século XVII, mas sua concepção da natureza como uma máquina perfeita, governada por leis matemáticas exatas, foi concretizada por Newton, que foi, segundo Stephen Hawking (2010), quem conquistou a ampla aceitação do conceito moderno de lei científica com suas três leis do movimento e a lei da gravitação universal, que reproduzia as órbitas da Terra, da Lua e dos planetas e explicava fenômenos como as marés.

Stephen Hawking (2010) diz, “As equações que Descartes criou e o elaborado instrumental matemático delas derivado são ensinados ainda hoje e empregados quando um arquiteto desenha um edifício, um engenheiro projeta um carro, ou um físico calcula como fazer com que uma espaçonave pouse em Marte”.

A primeira força descrita em linguagem matemática foi a gravidade. A lei da gravitação universal de Newton, publicada em 1687, diz que todo objeto no universo atrai qualquer outro objeto com uma força proporcional à sua massa.

Essa lei teve um profundo impacto na vida intelectual da época porque mostrou pela primeira vez que ao menos um aspecto do universo poderia ser descrito por um modelo de forma precisa, e criou o aparato matemático para isto.

Segundo Capra (1997), “Newton desenvolveu uma completa formulação matemática da concepção mecanicista da natureza” e, portanto, realizou uma grandiosa síntese das obras de Copérnico e Kepler, Bacon, Galileu e Descartes. Esse enorme feito intelectual foi considerado por Einstein “talvez o maior avanço no pensamento que um único indivíduo teve alguma vez o privilégio de realizar”.

Para os cientistas dos séculos XVIII e XIX, esse enorme sucesso do modelo mecanicista confirmou a convicção de que o universo era, de fato, um gigantesco sistema mecânico que funcionava de acordo com as leis

newtonianas do movimento, e de que a mecânica de Newton era a teoria definitiva dos fenômenos naturais.

Essa visão mecanicista tornou-se o paradigma dominante da ciência no período que se seguiu a Descartes. Passou a orientar a observação científica e a formulação de todas as teorias dos fenômenos naturais, até que a física do século XX provocou uma mudança radical. De acordo com Capra (1997), “a estrutura conceptual criada por Galileu e por Descartes – o mundo como uma máquina perfeita governada por leis matemáticas exatas – foi completada numa forma triunfante por Isaac Newton, cuja grande síntese, mecânica Newtoniana, foi o coroamento da ciência do século XVII”.

Isaac Newton afirma “tudo o que não é deduzido dos fenômenos será chamado de hipótese; e as hipóteses, sejam elas metafísicas ou físicas, sejam elas dotadas de qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na filosofia experimental. Nesta filosofia, proposições particulares são inferidas dos fenômenos e depois tornadas gerais por indução”.

Apesar de a física do século XX ter demonstrado de maneira convincente que não existe verdade absoluta em ciência, que todos os conceitos e teorias são limitados e aproximados, a crença cartesiana na verdade científica é ainda hoje muito difundida e se reflete em diversos campos do conhecimento.

Duas descobertas no campo da física, a teoria da relatividade e a teoria quântica, derrubaram todos os principais conceitos da visão de mundo cartesiana e da mecânica newtoniana. A noção de espaço e tempo absolutos, as partículas sólidas elementares, a substância material fundamental, a natureza estritamente causal dos fenômenos físicos e a descrição objetiva da natureza e independente do observador, nenhum desses conceitos pôde ser estendido aos novos campos da física.

De acordo com a teoria da relatividade, o espaço não é tridimensional e o tempo não é uma entidade separada. Ambos estão infinitamente ligados e formam um *continuum* a quatro dimensões, o espaço-tempo.

A teoria quântica demonstra que não podemos decompor o mundo em unidades menores com existência independente: a única coisa visível é uma teia de relações intrinsecamente dinâmica, em que as propriedades das partículas subatômicas apenas podem ser compreendidas num contexto dinâmico – em termos de movimento, interação e transformação. Nas palavras de Fritjof Capra (1997), “as partículas subatômicas não são coisas, mas interconexões entre coisas, e estas, por sua vez, são interconexões entre outras coisas e por aí fora. Na física quântica nós nunca acabamos com coisas, nós lidamos sempre com interconexões”.

Segundo Stephen Hawking (2010), atualmente a maioria dos cientistas diria que uma lei é uma regra com base em alguma regularidade observada e que fornece previsões que vão além das situações imediatas das quais ela deriva.

Esta distinção é essencial porque ilustra que nem todas as generalizações que fazemos a partir das observações podem ser consideradas leis naturais, e que a maioria das leis naturais existe como parte de um sistema interconectado de leis mais abrangente.

Na ciência moderna, as leis naturais são em geral expressas matematicamente. Podem ser exatas ou aproximadas, mas devem ser válidas sem exceção.

A mudança radical do panorama da física está na origem de uma nova revolução científica que é a que vivemos atualmente – a revolução sistêmica, também denominada como “ciências da complexidade”.

No entanto, grande parte dessas ciências, como o urbanismo e a arquitetura, está ainda muito baseada na estrutura conceitual da física clássica que se

desenvolve de acordo com a concepção geral de realidade predominante nos séculos XVII, XVIII e XIX.

O método de pensamento de Descartes e sua concepção da natureza podem ser ainda hoje muito úteis, mas somente se suas limitações forem reconhecidas.

Com a mudança do paradigma, estamos vivendo atualmente a passagem de uma concepção mecanicista para uma visão sistêmica e holística do mundo. No urbanismo existe uma corrente que explora essa forma holística de investigação da cidade, que considera que mais importante do que perceber as partes constituintes é perceber as relações entre essas partes.

Existem autores, como Batty e colaboradores (2005), que procuraram explicar essas formas de investigação através de modelos matemáticos.

4.2 Teoria Sistêmica

O pensamento sistêmico surgiu de uma reflexão de Bertalanffy sobre a biologia e, a partir dos anos 1950, se difundiu para várias outras disciplinas.

O aspecto mais importante do pensamento ou teoria sistêmica é que as partes são compreendidas pelo todo, e não o todo entendido através das partes, como tradicionalmente se fez.

Segundo Bertalanffy (1975) enquanto no passado a ciência procurava explicar os fenômenos observáveis, reduzindo-os a uma interação de unidades elementares investigáveis, independente umas das outras, na ciência contemporânea aparecem concepções que se referem ao que é chamado um tanto vagamente de “totalidade”, isto é, problemas de organização, fenômenos que não se resolvem em acontecimentos locais, interações dinâmicas manifestadas na diferença de comportamento das partes quando isoladas.

Em resumo, aparecem “sistemas” de várias ordens e que não são inteligíveis pela investigação de suas respectivas partes isoladamente.

Concepções e problemas desta natureza surgiram em todos os níveis da Ciência quer o objeto de estudo fosse coisas inanimadas, quer fosse organismos vivos ou fenômenos sociais. Isto indica uma modificação geral na atitude e nas concepções científicas.

Segundo Bertalanffy (1975), “a única conclusão segura que se pode tirar do grande espectro, da disseminada confusão e das contradições das teorias sociológicas contemporâneas, é saber que os fenômenos sociais devem ser considerados como sistemas, por mais difíceis e mal estabelecidas que sejam atualmente as definições das entidades sócio-culturais.

A teoria geral dos sistemas incorpora a manutenção e a mudança, a preservação do sistema e o conflito interno, estando, portanto apta a servir de esqueleto lógico para uma teoria sociológica melhorada. (...)

Na ciência moderna, a interação dinâmica é o problema básico em todos os campos” (Teoria geral dos sistemas, 1975)”.

A transdisciplinaridade é outra característica do pensamento sistêmico que, segundo Morin (2008), permite simultaneamente conceber a unidade da ciência e a diferenciação das ciências, não apenas segundo a natureza material do seu objeto, mas também de acordo com os tipos e as complexidades na associação e organização dos fenômenos.

Morin (2008) diz: “A história das ciências é feita pela migração de conceitos, ou seja, literalmente a migração de metáforas. A ciência estaria totalmente engarrafada se os conceitos não migrassem clandestinamente”.

As grandes descobertas acontecem, segundo Mendelbrot (1998), como frutos de erros na *migração* dos conceitos de um campo para outro, quando operados por um pesquisador de talento. É preciso talento para que o erro se torne fecundo. Isto mostra também a relatividade do papel do erro e da verdade.

Devemos compreender quando estes fenômenos acontecem e não nos assustarmos com eles.

Morin (2008) afirma: “a ciência funda-se ao mesmo tempo no consenso e no conflito. Caminha sobre quatro patas independentes e interdependentes: a racionalidade, o empirismo, a imaginação, a verificação. Há um conflito permanente entre racionalismo e empirismo: o empírico destrói as construções racionais que se reconstituem a partir das novas descobertas empíricas”.

Consequentemente o pensamento sistêmico é um pensamento complexo, holístico, que representa uma totalidade capaz de compreender a realidade e dialogar com ela.

No entanto, e nas palavras de Edgar Morin (2008) “complexidade não significa completude”, “O pensamento complexo aspira um conhecimento multidimensional com ênfase nas relações, mas sabe desde o início que o conhecimento total é impossível. É o reconhecimento da incompletude, da incerteza e de que o conhecimento que temos sobre a realidade pode apenas ser aproximado”.

O novo espírito científico percebe que não há nada simples no universo, só há coisas simplificadas, porém complexas; e que a ação científica é, por excelência, complexa (Morin, 1977). O autor defende que haja um método capaz de articular aquilo que está separado e unir aquilo que está dissociado, de detectar e não ocultar as ligações, as solidariedades, as implicações, as interdependências e as complexidades, recusando o discurso linear como ponto de partida e fim, e a simplificação abstrata.

Segundo Morin (1977), a visão não complexa das ciências humanas, das ciências sociais, é pensar que há uma realidade econômica de um lado, uma realidade psicológica de outro, uma realidade demográfica de outro etc., isto é, uma fragmentação da realidade.

A consciência do multidimensional nos conduz à ideia de que qualquer visão unidimensional, qualquer visão especializada, parcelar, é pobre. Mas, em outro sentido, a consciência da complexidade nos faz compreender que não poderemos nunca escapar à incerteza e que não poderemos nunca ter um saber total.

Assim, neste método de abordagem sistêmico ou ecológico, como chamado por alguns, as propriedades das partes não são propriedades intrínsecas e só podem ser entendidas no contexto de um todo maior.

Como dizia Pascal (apud Morin 1990): “Considero impossível conhecer as partes enquanto partes, sem conhecer o todo, mas considero ainda menos possível conhecer o todo sem conhecer singularmente as partes”.

A complexidade encontra-se justamente no âmago da relação entre o simples e o complexo, porque esta relação é ao mesmo tempo antagônica e complementar.

No paradigma cartesiano as descrições são objetivas e independentes do observador humano e de suas experiências. No novo paradigma, o sujeito é incluído explicitamente na descrição da realidade, e esta é subjetiva. O observador e os instrumentos utilizados não são neutros no processo de investigação. Sem uma percepção, é impossível saber quais são os dados relevantes para o investigador.

“Aquilo que observamos não é a natureza em si própria, mas antes a natureza exposta ao nosso método de interrogação” (Capra, 1997), “A objetividade é uma construção mental artificial e que pretende criar uma realidade autêntica e confiável. Entretanto a objetividade falha porque a construção lógica aparente é construída inteiramente sobre a subjetividade e a crença. Não existe nenhuma autoridade da verdade inerente para qualquer conceito exceto para o valor subjetivo atribuído a este. Credibilidade é uma decisão subjetiva e puramente

experimentada e indefinível. O que é convincente para uma pessoa pode ser indiferente ou sem sentido para outra (Stephen Hawking, 2003)”.

Segundo Morin (1990), “Estamos condenados ao pensamento inseguro, um pensamento crivado de buracos, um pensamento que não tem nenhum fundamento absoluto de certeza. Mas somos capazes de pensar nestas condições dramáticas. Do mesmo modo, é preciso não confundir complexidade e complicação. A complicação é um dos constituintes da complexidade”.

Por outro lado, devemos saber que, nas coisas mais importantes, os conceitos não se definem nunca por suas fronteiras, mas a partir de seu núcleo. Esta é uma ideia anticartesiana, no sentido de que Descartes pensava que a distinção e a clareza eram caracteres intrínsecos da verdade de uma ideia.

Nunca se deve procurar definir as coisas importantes por fronteiras. As fronteiras são sempre vagas, sempre interferentes. Segundo Morin (2010) “É necessário procurar definir o cerne, e esta definição exige frequentemente macroconceitos”.

A complexidade não substitui o conhecimento analítico, entretanto, a complexidade surge certamente quando este falha. É uma ajuda a mais, sem destruir o conhecimento analítico. Com esta forma de conhecimento podemos finalmente compreender certas estruturas que nos parecem irregulares, desordenadas e complexas.

Com o pensamento sistêmico os cientistas aprenderam a mapear a interconexão, as relações e a interdependência como uma grande rede. A fragmentação e a especialização em partes sucessivas e cada vez mais simples, como a única forma de reconhecer a realidade, demonstraram-se limitadas.

Segundo Echenique (2001), “o conceito de sistema como um todo complexo ou um conjunto de elementos ou partes interconectadas é bastante conhecido. O que é novo é tratar de estudar a complexidade”.

4.3 Teoria da Complexidade e as cidades

Segundo Batty (2005), a teoria da complexidade surgiu inicialmente associada aos sistemas dinâmicos através de ideias sobre o caos, a não linearidade, tecnologias de perturbação, emergência e surpresa. Profissionais de arquitetura, urbanismo e geografia estão tentando importar esta abordagem para seus estudos.

Nas últimas décadas as ciências da complexidade se desenvolveram para dar sentido a esses sistemas. Começaram a construir uma teoria e um método que ganharam crédito nas ciências sociais.

A teoria racionalista, que fazia analogia entre estrutura social e cidade e o funcionamento das máquinas, ignorou a autodeterminação e teve dificuldade para abordar os problemas sociais, mais complexos.

Com a mudança de pensamento, as cidades foram vistas não mais como artefatos a serem projetados, mas como sistemas que se desenvolvem, crescem e mudam, e alteram a maneira como as cidades devem ser administradas e projetadas, não mais de cima para baixo (*top-down*). Isto está de acordo com a noção de que as cidades são o resultado da ação de milhões de pessoas e agências públicas ou privadas que geram estruturas de complexidade, num processo de baixo para cima (*bottom-up*)

Christopher Alexander (2002) levanta uma discussão sobre sistemas que crescem de baixo para cima, *bottom-up*, culminando no seu trabalho *The Nature of Order*.

Jane Jacobs (1961) foi quem primeiro abordou essa questão, em *Life and Death of Great American Cities*. Ela argumenta que “o modo mecanicista pelos quais as cidades eram concebidas e planejadas era contra a diversidade que as fez vibrantes e vivas, e que o resultado do planejamento urbano do pós-guerra (e da arquitetura moderna) estava matando a heterogeneidade e diversidade que caracterizava a vida urbana”.

Isto também revela uma troca da ênfase, antes dada à estrutura e à forma, para outra, dada ao comportamento e ao processo.

O paradigma da complexidade simplesmente muda o foco do *top-down* para o *bottom-up*, enfatizando que as ações devem ser tanto locais quanto globais, porém com a estrutura e a ordem emergindo *bottom-up*. De fato a inspiração, o *leitmotif*, das ciências da complexidade é que a ordem que observamos emerge de ações e decisões em que indivíduos e agentes respondem ao meio ambiente competindo e colaborando uns com os outros de baixo para cima (*bottom-up*).

Segundo Batty (2005), as cidades são bons objetos para esta nova teoria. Seus componentes são pessoas ou grupos unidos espacialmente e economicamente pelo transporte e socialmente por redes de amizade.

O fato de que os sistemas complexos nunca podem ser precisamente definidos se encontra na base de qualquer tentativa de entender sua complexidade.

Colocar a maioria dos problemas urbanos em áreas limitadas mostrou-se pouco sensível e factível, quando muito do nosso entendimento das cidades e do seu planejamento ficou além da abordagem dos sistemas.

O resultado foi uma visão relativamente estreita sobre o modo como os sistemas se comportavam: a maioria dos sistemas não estava em um equilíbrio calmo e passivo, e sim em agitação na maior parte do tempo (Batty, 2005).

A idéia de evolução para novas condições que implicam em novas estruturas e comportamentos simplesmente ficou além desse tipo de pensamento.

Entretanto, as sementes para uma visão mais sofisticada já existiam desde o início, ligadas ao mantra “O todo é maior que a soma das partes”. O argumento nesta *gestalt* é de que a estrutura de um sistema surge de suas partes, mas que isto não é só um processo de somar as partes para se atingir o todo.

A teoria geral dos sistemas aludia para uma dinâmica que estava além do que havia sido especificado (Batty, 2005).

Cidades existem em um espaço em que se estruturam a sua volta trocas econômicas, mercados que formam uma hierarquia de tipos e tamanhos.

Embora as cidades variem de escalas, tipos e tamanhos, existe uma similitude em sua estrutura hierárquica e no modo como dependem umas das outras.

Cidades são consideradas estruturas sociais mudadas por meio de decisões de vários tipos, e é este nexos de decisões, através de todas as escalas e todos os tempos, que forma a rede de complexidade que é básica às ciências sociais.

Há muitas semelhanças na abordagem da complexidade nas ciências naturais e nas sociais, o que se reflete tanto na substância da sua investigação como nos seus métodos. Portanto, há alguma convergência na terminologia e nas idéias.

Essas novas abordagens sugerem que o planejamento, o projeto, o controle, a gestão – qualquer que seja a constelação de perspectivas de intervenções adotadas – são difíceis. Se assumirmos que os sistemas sociais e cidades, assim como os sistemas biológicos, são gerados através de um processo de ajustes, por mutações que aumentam a adequação e reduzem o erro na

filogenia, então intervenções são potencialmente destrutivas, a não ser que tenhamos uma compreensão profunda do seu todo (Batty,2005).

A teoria da complexidade, considerada um paradigma importante da ciência, admite a imprevisibilidade, a incerteza, a ambigüidade e o pluralismo, e joga dúvidas sobre a teoria e a ciência que até agora dominaram nosso pensamento sobre as cidades e o planejamento. O uso genérico da linguagem da complexidade na articulação das questões sociais e políticas e na gestão e nas tomadas de decisão está começando a penetrar em nossas mentes (Capra, 2009).

Estamos agora mais à vontade para usar a linguagem da ciência com suas metáforas físicas, envolvendo difusão, mobilidade, liquidez, fluidez, e assim por diante, como caracterizações da complexidade do mundo social com o qual temos que lidar.

4.4 Complexidade e modelos

Os problemas mais prementes nos anos cinqüenta e sessenta se traduziam em termos de congestionamento e da necessidade de assegurar um transporte eficiente. Assim, os primeiros passos para modelos rudimentares de simulação foram criados baseados em uso do solo e transporte ligados ao modo como populações criavam demanda e oferta para tais usos, com a imagem da cidade como um sistema de interações (Lowry, 1968).

A idéia de que sistemas pudessem ser controlados ou “planejados” para atingir certas metas era uma extensão lógica natural. O objetivo de minimizar as interações entre a casa e o trabalho, por exemplo, ligava esses modelos baseados em transporte à pesquisa e ao desenvolvimento de procedimentos de otimização, e algumas soluções interessantes foram reveladas, se as cidades fossem concebidas desta forma.

De fato, no desenvolvimento de modelos de simulação urbana, a dinâmica temporal sempre esteve no pensamento desde os modelos estáticos dos anos 1960. O equilíbrio era visto como conveniente.

Segundo Batty (2005), os modelos de dinâmica urbana começaram com Forrest em 1969, cujos modelos foram criticados por serem não espaciais, mas demonstraram a força do crescimento exponencial e logístico.

Entretanto, a idéia de que as cidades não deveriam ser tratadas como estando em equilíbrio começou a penetrar no campo da modelagem, empurrando-o para as ciências da complexidade.

Segundo Echenique (1976), em geral, se supõe que a estrutura de um sistema se mantém constante e, em troca, seu estado é variável; por isso, parte da investigação urbana se encaminha para definir *a estrutura do sistema*, e a aplicação a casos específicos que podem acabar por determinar o seu *estado*. O processo de determinar esse sistema se chama *calibração*, que consiste em buscar o valor dos parâmetros ou constantes que definem a magnitude das relações em um caso específico. Uma vez encontrados esses valores ou o estado, é possível manipulá-lo, variando as entradas ou variáveis exógenas para logo poder observar o comportamento do sistema diante desse estímulo, através da mudança gerada nas variáveis exógenas que geram um novo estado.

A utilização da análise de sistemas no planejamento urbano permite, em resumo, ver a forma como certas políticas introduzidas em alguns elementos repercutem em todos os demais.

Tais sistemas são imprevisíveis no sentido da ciência clássica, mas, apesar disso, intrinsecamente temporais na sua dinâmica, o que os faz complexos.

Em termos de planejamento físico, Alexander (1964 e 2001) foi um dos primeiros a explorar o paradigma evolucionista. Mais recentemente, seu

trabalho sobre projetos geradores usou a linguagem de padrões, que é paralela, nas ciências sociais, à modelagem baseada no indivíduo e em agentes (Epstein, 2007).

Um conceito que surge naturalmente de tais ações *bottom-up* é a idéia de que para explorar o bom projeto e o planejamento das cidades os modelos computacionais devem se estabelecer em um contexto similar ao de um laboratório, em que o foco é a exploração de padrões diferentes que tentam alcançar diferentes objetivos, laboratórios em que modelos estão disponíveis de um modo amplo, em rede para que várias pessoas possam acessar e experimentar.

Outras características que introduzimos apóiam a necessidade de uma teoria e prática holística.

Não há dúvida que o tempo e a dinâmica entraram de vez na agenda e que não mais pensamos a cidade como estando em *equilibrium*.

Portanto, somos levados a pensar que intervenções em sistemas complexos devem ser tratadas com grande cautela.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONCLUSÃO

A cidade é composta por vários sistemas que não existem isoladamente e que se cruzam e se sobrepõem gerando estruturas mais complexas.

É através das sinergias entre estes sistemas que é gerada a qualidade de um espaço, que não é propriedade de cada sistema, mas surge do funcionamento de todo o conjunto.

Assim, a cidade é um grande sistema de alta complexidade que não pode ser compreendido apenas através de uma abordagem intrínseca de suas partes. As partes precisam ser entendidas no contexto de um todo maior, isto é, para sua compreensão é necessário usar o pensamento sistêmico.

Duas descobertas no campo da física, a teoria da relatividade e a teoria quântica, derrubaram todos os principais conceitos da visão de mundo cartesiana e mecanicista. No entanto, grande parte das ciências, como é o caso do urbanismo e da arquitetura, estão ainda muito baseadas na estrutura conceitual da física clássica.

O aspecto mais importante do pensamento ou teoria sistêmica é que as partes são compreendidas pelo todo, e não o todo entendido através das partes, como tradicionalmente se fez, e mais importante do que perceber as partes constituintes é perceber as relações entre essas partes.

A crença de que todos os fenômenos complexos podem ser compreendidos se reduzidos às suas partes, o método cartesiano, levou à fragmentação do nosso pensamento e não faz mais sentido. O método de pensamento de Descartes e sua concepção da natureza podem ser ainda hoje muito úteis, mas somente se suas limitações forem reconhecidas.

A teoria quântica demonstrou que não podemos decompor o mundo em unidades menores com existência independente e que a única coisa visível é uma teia de relações intrinsecamente dinâmica na qual as propriedades das partículas apenas podem ser compreendidas num contexto dinâmico – em termos de movimento, interação e transformação.

Numa analogia a estas descobertas, as cidades começaram a ser entendidas como sistemas dinâmicos que não estão em equilíbrio. Este entendimento começou a penetrar no campo do urbanismo e da modelagem, empurrando-os para as ciências da complexidade. Com este novo paradigma, vivemos atualmente a mudança de uma concepção mecanicista para uma visão sistêmica e holística do mundo.

Uma importante mudança que aconteceu na teoria do desenvolvimento urbano e da modelagem foi a mudança gradual do método indutivo de análise para o método dedutivo. A necessidade de uma fundamentação mais sólida para a construção de uma teoria foi em grande parte a responsável por essa mudança.

O urbanismo trata de um tema complexo, a cidade, para cuja compreensão é necessária uma visão sistêmica, complementar à visão analítica, que ainda hoje predomina quase que exclusivamente.

No entanto, e nas palavras de Edgar Morin (2010) “complexidade não significa completude”. O novo espírito científico percebe que não há nada simples no universo, somente coisas simplificadas, porém complexas, e que a ação científica é, por excelência, complexa.

Do mesmo modo, é preciso não confundir complexidade e complicação. A complicação é um dos constituintes da complexidade.

A teoria racionalista, que fazia analogia entre a cidade e o funcionamento das máquinas, ignorou a autodeterminação e teve dificuldade para abordar fenômenos mais complexos.

Com a mudança do modo de pensar, as cidades passaram a ser vistas como sistemas que se desenvolvem, crescem e mudam. Isto está de acordo com a noção de que as cidades são o resultado da ação de milhões de pessoas e agências que geram estruturas de complexidade.

Jane Jacobs (1961) foi quem primeiro abordou essa questão em *Life and Death of Great American Cities*. Ela argumenta que “o modo mecanicista pelos quais as cidades eram concebidas e planejadas era contra a diversidade que as fez vibrantes e vivas, e que o resultado do planejamento urbano do pós-guerra (e da arquitetura moderna) estava matando a heterogeneidade e diversidade que caracterizava a vida urbana”.

A teoria da complexidade, considerada um paradigma importante da ciência, admite a imprevisibilidade, a incerteza, a ambiguidade e o pluralismo e joga dúvidas sobre a teoria e a ciência que até agora dominaram nosso pensamento sobre as cidades e o planejamento.

Existem diversos autores, como Batty, que acreditam que os modelos urbanos¹ podem contribuir para a compreensão da complexidade da cidade contemporânea.

A formalização trazida pela modelagem urbana se mostrou um caminho para um desenvolvimento mais rigoroso do urbanismo, assim como de todas as ciências sociais.

O surgimento de novos problemas teóricos a serem resolvidos mostra a necessidade de maior interesse na utilização de modelos urbanos, já que não

¹ Modelo matemático executado em computador e projetado com o intuito de se analisar e prever o desenvolvimento de estruturas urbanas.

são apenas o reflexo de uma teoria urbana, mas parte essencial no processo de formulação da mesma.

Os modelos urbanos podem ser meios para testar teorias urbanas, apontar suas limitações e ajudar a compreender os fenômenos urbanos através de análises e experimentos num espaço virtual.

Muitos avanços foram feitos na modelagem urbana desde seu surgimento. Desenvolvimentos teóricos, metodológicos, técnicos, avanços da tecnologia de informação e computação e maior disponibilidade de dados ampliaram o escopo de atuação dos modelos, que passaram a incorporar dimensões ambientais, socioeconômicas, políticas e foram, finalmente, bem-sucedidos na articulação e análise de fatores de micro e de macroescalas espaciais.

O crescimento e a forma das cidades estão historicamente ligados à evolução do sistema de transportes. Daí a importância de se estudar a interação entre o uso do solo e transporte e os desafios que ela apresenta para a forma urbana.

Segundo Wegener (1995), o crescente interesse pelos modelos de uso do solo e transporte resulta da atual necessidade de tornar o transporte mais sustentável e lidar com os impactos gerados pela expansão urbana. Faz-se, portanto, necessário uma abordagem integrada de uso do solo e transporte.

A visão de que os sistemas podem ser decompostos e não abrangentes, e de que os problemas de suas partes podem ser tratados separadamente, foi superada pela teoria sistêmica, a teoria da complexidade apresentada neste trabalho.

Segundo Batty (2005), a teoria da complexidade surgiu inicialmente associada aos sistemas dinâmicos através de ideias sobre o caos, a não linearidade, tecnologias de perturbação, emergência e surpresa. Profissionais de

arquitetura, urbanismo e geografia estão tentando importar esta abordagem para seus estudos.

Os autômatos celulares são os melhores representantes desta nova abordagem ao lidarem com as complexidades da dinâmica urbana porque são modelos dinâmicos. Possuem aplicações em diversas áreas e se tornaram populares em parte porque apresentam simplicidade operacional, capacidade de abstrair padrões, ordem e tendências dinâmicas, reproduzir processos tradicionais de mudanças e conter complexidade suficiente para simular mudanças inesperadas. E, mais importante, são úteis na identificação dos principais vetores de crescimento urbano e de suas tendências de uso do solo. São capazes de tornar as simulações de mudanças de uso do solo comunicáveis e transparentes a políticos, planejadores, tomadores de decisão, e o público em geral.

Neste trabalho foi apresentada a definição, a descrição e a evolução dos modelos urbanos com o objetivo de torná-los mais conhecidos e utilizados por urbanistas.

Como observa Wilson (1997), "as complexidades da dinâmica urbana, necessária para representar as cidades, estão ainda longe de serem compreendidas para uma melhor articulação do problema. Portanto, uma visão geral do desenvolvimento urbano é altamente desejável, e é intrinsecamente complicada pela natureza do sistema, independentemente do observador. Estudar e decifrar a complexidade requer uma análise complexa e sofisticada".

E esta análise pode ser apoiada com o uso de modelos urbanos.

Pode se concluir, portanto, que os modelos urbanos são uma ferramenta útil para auxiliar os urbanistas na sua prática profissional.

BIBLIOGRAFIA:

ABRAHAM, J.E. Hunt, J. D. *Policy Analysis using the Sacramento MEPLAN Land Use Transportation Interaction Model*, Transportation Research Record 1685:199-208, apresentado no 1999 Annual Meeting of the Transportation Research Board.

ABRAHAM, J. E.; Hunt, J. D. *Firm Location in the MEPLAN model of Sacramento*. Transportation Research Record 1685:187-198, apresentado no 1999 Annual Meeting of the Transportation Research Board.

ASCHER, François. *Les Nouveaux Principes de l'Urbanisme*. La Tour d'Aigues, France: Éditions de l'Aube, 2004.

ALEXANDER, Christopher. *The Nature of Order. The Phenomenon of Life, Book One*. Berkeley, CA: Center for Environmental Structure, 2002.

ALMEIDA, Cláudia Maria; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; CÂMARA, Gilberto. *Modelos de Simulação e Prognósticos de Mudanças de Uso do Solo Urbano: Instrumento para o subsídio de ações e políticas públicas urbanas*. Salvador: XI Encontro Nacional da Associação Nacional de pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano regional - ANPUR, 2005.

ALONSO, W. *Location and Land Use*. Cambridge, MA, 1964.

BATTY, Michael. *Urban Modelling: Algorithms, Calibrations, Predictions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1976.

BATTY, Michael. *Cities and Complexity. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2005.

BATTY, Michael. *GIS, Spatial Analysis, and Modeling*. Califórnia: ESRI Press, 2005.

BARRA, Tomas de La. *Integrating micro-economic models with spatial interaction theory*. In: Steadman (ed.). *Transactions of the Martin Center for Architectural and Urban Studies*, University of Cambridge, 1979.

BERRY, Brian J. L. *The Human Consequences of Urbanization*. Nova York: St. Martin's Press, 1973.

BERTALANFLY, Ludwig Von. *Teoria geral dos sistemas*. Ed. Vozes, 1975.

- BOHM, David. *O pensamento como um sistema*. São Paulo: Madras, 2007.
- BOHM, David. *Totalidade e a ordem implicada*. São Paulo: Madras, 2008.
- BOWMAN, Ph. D. *A Review of literature on the application and development of land use models*. Prepared for Atlanta Regional Commission, 2006.
- BRIASSOULIS, Helen. *Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches*. Tese de Doutorado. University of Aegean, Lesvos, Grécia, 2000. Disponível em <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>.
- BRUTON, Michael J. *Introdução ao Planejamento dos Transportes*. São Paulo: Interciência, 1979.
- BURGE, Mario. *Teoria e realidade*. São Paulo: Perspectiva, 2008.
- CAPRA, Fritjof. *O ponto de mutação*. São Paulo: Cultrix, 1982.
- CAPRA, Fritjof. *The Web of Life a New Scientific Understanding of Living Systems*. Nova York: Anchor Books, 1997.
- CAPRA, Fritjof. *O Tao da Física*. 3. ed. Lisboa: Editorial Presença, 2009.
- Cervero R., Kochelman K. M. *Travel Demand and the three Ds: Density, Diversity and Design*, Transportation Research D, Vol. 2, p.p. 199-219, 1997
- COOMBS, Clyde Hamilton. *A theory of data*. New York, John Wiley, 1964.
- CHOAY, Françoise. *O Urbanismo*. São Paulo: Perspectiva, 1998.
- CRANE, Randall. *The influence of Urban Form on Travel: An Interpretative Review*. *Journal of Planning Literature*, n. 15, 2000.
- DESCARTES, Rene. *Discurso sobre o método*, Ed. Edipro, 2006
- ECHENIQUE, Marcial. *Cities For the New Millenium*. Londres: Spon Press, 2001.

- ECHENIQUE, Marcial. *Modelos Matemáticos de la Estructura Urbana*. Buenos Aires: SIAP, 1976.
- ECHENIQUE, Marcial. *Models: a discussion*. Cambridge, UK: University of Cambridge, 1968.
- ECHENIQUE, Marcial. MARCH, L.; MARTIN, L. *La Estructura del Espacio Urbano*. Editorial Gustavo Gili, S.A, 1975.
- EWING, R.; Cervero, R. *Travel and The Built Environment: A synthesis*. Transportation Research Record 1780, 2001. Foundations of Urban and Regional Analysis. Londres: Pearson Education, 2000.
- GUERREIRO, Maria Rosália da Palma. *Urbanismo Orgânico e a Ordem Implícita: Uma Leitura Através das Geometrias da Natureza*. Lisboa: Tese de Doutorado Instituto Universitário de Lisboa, 2010. Disponível em < <http://hdl.handle.net/10071/2911>>.
- HAMILTON, A., G. Aound, A. Lee and S. Wu. *Urban information model for city planning*. Environment and Planning B: Planning & Design, 2005.
- HANDY, Susan. *Methologies for Exploring the Link between Urban Form and Urban Behaviour*. Transportation Research 2, 1996.
- HARRIS JR, Walter D. *The Growth of Latin American Cities*. Ohio: Ohio University Press, 1971.
- HARRIS, B. *Science in planning: past, present, future*. Journal of the American Planning Association, n. 60, 1994.
- HARRIS, B. *Urban development models: A new tool for planners*. Journal of the American Institute of Planners, n. 31, 90-95, 1965.
- HEISEMBERG, W. *Physics and philosophy: the revolution in modern science*. Prometheus Books, 1999.
- HERCE, Manuel. *Sobre La Movilidad en la Ciudad*. Barcelona: Editorial Reverté, 2009.
- HESSE, Mary, *Untitled review of Kuhn, The Structure of Scientific revolutions*. Isis 54, 286-7. 1963.
- HUTCHINSON, B. G. *Princípio de planejamento dos sistemas de transporte urbano*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1979.

HAWKING, Stephen; MLODINOW, Leonard. *O grande projeto*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2010.

KUHN, Thomas S. A. *Estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 2001.

LEE, Douglas B. *Retrospective on large-scale urban models*. *Journal of the American Planning Association*, Winter 94, pag. 35, 1994.

LEE, D. *Requiem for Large Scale Urban Models*. *Journal of the American Institute of Planners*, n. 39 (3), pp. 163-178, 1973.

LOWRY, I. S. *Model of Metropolis*. Santa Monica, CA: Memorandum RM-4035-RC, Rand Corporation.

LYNCH, Kevin. *A boa forma da cidade*. Lisboa: Edições 70, 1981.

MENDELBROT, B. *objetos fractais*. Gradiva, 1998.

MORIN, Edgar. *Introdução ao pensamento complexo*. 5. ed. Lisboa: Instituto Piaget, 2008.

MORIN, Edgar. *Ciência com consciência*. Rio de Janeiro: Bertrand, 2010.

NOVAES, A. G. *Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1981.

POPPER, Karl R. *A vida é aprendizagem*. Lisboa: Edições 70, 1999.

POPPER, Karl R. *Conhecimento objetivo*. Belo Horizonte: Itatiaia, 1999.

POPPER, Karl R. *O Mito do Contexto*. Lisboa: Edições 70, 2009.

PROPOLIS (Policies and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability) *Final Report for the Commission of the European Communities*. Helsinque, Finlândia: LT Consultants, 1964.

PUTMAN, Stephen H. *An Empirical Model of Regional Growth*. Filadélfia: Regional Science Research Institute, 1975.

RODIER, Caroline J. *Verifying the Accuracy of Land use Models Used in Transportation and air Quality Planning. A Case Study in the Sacramento, California Region*. Transportation Research Board (TRB), 2005.

ROSNEY, J. *O salto do milênio*. Porto Alegre. Ed. PURCRS 2000.

SAGAN, Carl. *Cosmos*. Lisboa: Gradiva, 1984.

WADDELL, P. *UrbanSim: Modelling urban development for land use, transportation and environmental planning*. Journal of the American Planning Association, n. 68, pp. 97-314, 2002.

WEBSTER, F.V. Paulley, N.J. *An international study on land-use and transport interaction* Transport Reviews, 10, 287-322, 1990.

WEGENER, M. *Current and future land use models*. In: *Travel Model Improvement Program Land Use Modeling Conference Proceedings* (G.A. Shunk, P.L. Bass, C.A. Weatherby, L.J. Engelke, eds.), 13-40. US Department of Transportation, Washington, DC, 1995.

WEGENER, M., Fürst, F. *Land-Use Transport Interaction: State of the Art. Berichte aus dem Institut für Raumplanung 46*. Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, Dortmund. <http://www.inro.tno.nl/transland/Deliverable%202a.pdf>, 1999.

WEGENER, M. *Overview of land-use transport models*. In Henscher, D. A. & Button, K. (eds.) *Handbook in Transport, Vol. 5: Transport Geography and Spatial Systems*, pp 127--146. Kidlington, UK: Pergamon/Elsevier Science, 2005.

WILSON, A.G. *Land use/transport interaction models - past and future*. *Journal of Transport Economics and Policy*, n. 32, pp. 3-23, 1997.

WILSON, A. G. *Complex Spatial Systems: Challengers for Modellers*. Urban Models. 2002

WILSON, A. G. *Models of Cities and Regions*. Leeds: John Wiley & Sons, 1977.

WINGO, London Jr. *Transportation and Urban Land*. Massachusetts: Resources For the Future, INC., 1961.

WOLFRAM, Stephen. *A New Kind of Science*.
<http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html> - 2002