

A utilização do cadastro para análises urbanas avançadas em um Sistema de Informações Geográficas

Renato T. de Saboya¹

Mestrando em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR – UFRGS
Porto Alegre – RS

Edson Luis Cattoni²

Mestrando em Cadastro Técnico Multifinalitário – ECV – UFSC
Florianópolis – SC

¹ ✉ rtsaboya@vortex.ufrgs.br

² ✉ edson@arq.ufsc.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Modelos Urbanos
	2.1 Revisão conceitual
	2.2 Modelos microeconômicos
	2.3 Modelos de interação espacial
	2.4 Modelos configuracionais
	2.5 Modelo de Centralidade
	2.6 Limitações dos modelos
	3 Cadastro e Análises Urbanas
	3.1 O cadastro em modelos agregados
	3.2 O cadastro como fonte de dados para modelos desagregados
	3.3 Monitoramento
	4 Centralidade em Ambiente SIG
	4.1 Dados alfanuméricos
	4.1.1 As estruturas de dados
	4.1.2 Preparação da base de dados de referência
	4.1.3 Reagregação dos dados
	4.2 Dados espaciais
	5 Considerações finais
	6 Referências Bibliográficas

Resumo : A crescente complexidade dos sistemas urbanos cria dificuldades ao entendimento das suas relações internas. Estas dificuldades vêm ressaltando a necessidade de análises urbanas mais refinadas do que as disponibilizadas pelas operações básicas realizadas pelos softwares convencionais de SIG. Neste sentido, destacamos a importância das bases de dados cadastrais como provedoras de informações aos modelos de análise urbana, que podem ser implementados em um SIG. Desta forma, estes modelos podem ser permanentemente alimentados com informações precisas, atualizadas e desagregadas ao nível da propriedade. Assim, a partir de dados descritivos torna-se possível a construção de modelos exploratórios e preditivos para a realização de análises periódicas do sistema urbano. Como exemplo, tomamos o modelo de Centralidade, que pode ser considerado como uma medida de acessibilidade ponderada, levando em consideração a configuração da malha urbana e a distribuição espacial das atividades. Com a ajuda de um SIG, este trabalho mostra a possibilidade de utilização dos dados cadastrais (espaciais e alfanuméricos) para, reestruturados, serem utilizados em modelos avançados de análise urbana.

Abstract : The increasing complexity of urban systems, and the difficulty in understanding its inner relations, is stressing the necessity of finer urban analysis than those afforded by the basic operations made available by conventional GIS softwares. In this context, we emphasize the importance of cadastral databases as information suppliers to urban analysis models, which can be implemented in a GIS. In this way, these models can be constantly fed by precise, up-to-date and disaggregated information. As an example, we use the Centrality Model, that seeks to assign measures of weighted accessibility to parts of a urban system, considering urban grid configuration and the spatial distribution of activities. With the use of a GIS, this work shows the possibility of using spatial and attribute data to – restructured – be used as input to advanced urban analysis models.

1 Introdução

Os Modelos Urbanos têm uma longa história de aplicações e desenvolvimento teórico. Entretanto, a crescente complexidade enfrentada pelos planejadores tem exigido a criação de modelos cada vez mais refinados de análise urbana que, por sua vez, exigem dados de entrada cada vez mais desagregados. Neste sentido, Michael Wegener (1998) defende a idéia de que é necessária uma reformulação do modo como os modelos se organizam, baseada numa visão “microscópica” da realidade.

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem sido apontada por diversos autores (Yeh & Batty, 1990; Harris & Batty, 1992; Wegener, 1998; Sui, 1998) como um possível caminho na solução deste problema. Entre as vantagens de uma vinculação das capacidades de visualização e manipulação de dados oferecidas pelos SIG às capacidades analíticas oferecidas pelos modelos, estão: manipulação de dados desagregados, aproveitamento de dados em formatos diversos, geração de dados de entrada dos modelos a partir de dados brutos, interatividade no processo de análise e a visualização dos resultados.

Este trabalho se concentra nos três primeiros pontos. Argumentamos aqui que a base cadastral é uma fonte valiosa de informações para análises urbanas e que, processada em ambiente SIG, pode fornecer informações desagregadas e precisas para os modelos

urbanos. Para sustentar este argumento, vamos demonstrar como o cadastro pode ser utilizado para gerar automaticamente dados de entrada para um tipo de modelo, especificamente o modelo de Centralidade (Krafta, 1994). Faremos no item 2 uma revisão dos modelos urbanos, com especial ênfase nos modelos de interação espacial e no modelo de Centralidade.

No item 3 exploramos, em nível teórico, algumas das possibilidades de utilização do cadastro em análises urbanas, assim como na fase de monitoramento do plano e seus resultados no sistema urbano.

No item 4 faremos uma descrição das etapas e operações necessárias para a utilização do cadastro para análises urbanas com o modelo de Centralidade, partindo da estrutura de dados da base cadastral até chegar à estrutura de dados requerida pelo modelo.

2 Modelos Urbanos

2.1 Revisão conceitual

O estudo de uma realidade introduz a necessidade de representá-la e manipulá-la de alguma maneira. Segundo Marcial Echenique (1976, p.17 – tradução nossa) *“toda representação é um modelo, e o objetivo deste é prover um quadro simplificado e inteligível da realidade, com o objetivo de compreendê-la melhor”*. Colin Lee (1973, p.7 – tradução nossa) define modelos da seguinte forma: *“Em essência, um modelo é uma representação da realidade. É normalmente uma declaração simplificada e genérica do que parecem ser as características mais importantes de uma situação concreta.”*

Desta forma, a complexidade da realidade é reduzida a níveis aceitáveis de simplificação, com o intuito de conseguir realizar procedimentos de análise sem perda na validade dos resultados.

Chadwick (1966, apud Lee, C. 1973, p. 1 – tradução nossa) define com clareza o uso de modelos em planejamento: *“Através da criação de um sistema conceitual independente, mas correspondente, ao sistema real, podemos buscar entender os fenômenos de mudança, e então antecipá-los e, finalmente, avaliá-los – preocupar-nos com a otimização do sistema real através da busca da otimização do sistema conceitual”*.

Existem diversos tipos de modelos, variando em função da sua finalidade, do modo como se comportam em relação à variável tempo e da natureza dos seus componentes. Marcial Echenique (1972) propõe uma classificação dos modelos segundo estas três categorias. Em relação à finalidade do modelo, ele os sub-divide em:

- a) Modelos Descritivos – têm como principal função o entendimento de uma realidade, através da descrição dos aspectos relevantes do sistema em estudo e suas relações;
- b) Modelos Preditivos – têm como principal objetivo prever o futuro, baseado no pressuposto de que o modelo representa o modo como a realidade está se transformando;
- c) Modelos Exploratórios – procuram identificar realidades possíveis através da manipulação sistemática das variáveis dos modelos; e
- d) Modelos de Planejamento – buscam determinar valores de algumas variáveis com vistas a alcançar o desempenho ótimo do sistema. Também são chamados de modelos prescritivos (Webster, 1994).

Neste estudo, estamos trabalhando com um tipo bastante específico de modelo, chamado a partir deste ponto apenas de “modelos urbanos”, definidos por Wegener (1994, p.18 – tradução nossa) como *“modelos matemáticos implementados em computador e projetados para analisar e prever o desenvolvimento de sistemas urbanos”*.

Os modelos urbanos, na história do seu desenvolvimento, podem ser classificados em duas grandes categorias: modelos microeconômicos e modelos de interação espacial (Barra, 1979; Echenique, 1976; Bertuglia & Wilson, 1987). Estes serão discutidos a seguir, assim como uma nova categoria, mais recente, chamada modelos configuracionais.

2.2 Modelos microeconômicos

Os modelos microeconômicos tiveram início com von Thünen, em 1826, cujo modelo tratava basicamente da localização dos produtores agrícolas ao redor de um centro urbano (Echenique, 1976). Agricultores vendiam seus produtos no mercado (considerado único no sistema) e todas as outras variáveis permaneciam iguais para todos os agentes. Desta forma, a localização dependia apenas do custo de transporte das mercadorias, que era uma função linear a partir do centro consumidor, em todas as direções.

Em 1964, Alonso propôs um modelo no qual a localização das atividades depende do preço da terra, do custo de transporte e da renda dos indivíduos. Seguindo esta lógica, cada indivíduo levaria em consideração, por um lado, as vantagens oferecidas pelos custos de viagem impostos por uma determinada localização, e por outro os benefícios (de natureza econômica) oferecidos por ela. Neste sentido, atividades comerciais estariam dispostas a pagar mais pelas melhores localizações (Echenique, 1976).

Este tipo de abordagem sofreu diversas críticas. A mais significativa é o fato de que o sistema real nunca atinge o equilíbrio, devido a imperfeições no processo. O mercado não funciona de forma perfeita – visto que os indivíduos não têm conhecimento de todas as alternativas ao tomarem suas decisões – e, além disso, abriga elementos monopolísticos.

2.3 Modelos de interação espacial

Paralelamente, a partir da década de 60, desenvolveu-se um outro tipo de abordagem, conhecida como Teoria da Interação Espacial. Esta abordagem trata o espaço não de uma forma contínua, como as teorias microeconômicas, mas de forma discreta (Bertuglia & Wilson, 1987). Assim, o espaço é constituído por unidades individualizáveis que comportam quantidades finitas de empregos, população, etc. As relações entre estas unidades são tratadas fundamentalmente como fluxos, reais (fluxos de pessoas, mercadorias, etc.) ou abstratos (dependências, oportunidades, tensões, etc.) (Barra, 1979).

A teoria de interação espacial derivou inicialmente dos modelos gravitacionais da Física. Aplicada à estrutura urbana, a interação espacial argumenta que a capacidade de geração de fluxos entre duas unidades espaciais é diretamente proporcional à capacidade total de geração de fluxos de interação de cada uma delas, e inversamente proporcional à distância que as separa. Assim uma equação geral para este tipo de modelo é (Wilson, 1974):

$$T_{ij} = \alpha O_i D_j f(C_{ij})$$

Onde:

- T_{ij} é a interação existente entre a zona i e a zona j ;

- O_i é a quantidade total de fluxos saindo da zona i ;
- D_j é a quantidade total de fluxos entrando na zona j ;
- $f(c_{ij})$ é uma função do custo de deslocamento entre i e j ;
- α é uma constante de proporcionalidade.

O modelo de Lowry, *A Model of Metropolis*, de 1964, é considerado a “pedra fundamental” e ponto de partida desta nova abordagem. A partir dele foram desenvolvidos diversos outros modelos, influenciados direta ou indiretamente por seus postulados.

Este tipo de teoria não considerava de forma explícita as questões econômicas, tais como preço da terra, renda dos indivíduos, etc. Os modelos deste tipo 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 destes testes serviam como ajustes à teoria ou mesmo como *insights* para novas formas de entender o fenômeno urbano. Assim, paulatinamente foram introduzidas inovações nestes modelos. Entre elas, as mais significativas foram as tentativas de afastá-los do determinismo e da racionalidade perfeita, como a maximização de entropia (Wilson, 1967 *apud* Bertuglia & Wilson, 1987), e a *random utility* (Domencich e McFadden, 1975 *apud* Wegener, 1994).

Atualmente existem pelo menos 20 grandes centros de pesquisa no mundo, dedicados ao estudo e à aplicação de modelos urbanos. Ao realizar uma análise do estado da arte neste campo, Wegener (1994) criou um “modelo de modelos”, composto por oito sub-sistemas, classificados pela velocidade de suas mudanças:

- Mudanças lentas – redes urbanas e uso da terra;
- Mudanças médias – lugares de trabalho e residências;
- Mudanças rápidas – emprego e população;
- Mudanças imediatas – transporte de mercadorias e viagens.

Os modelos atuais mais elaborados tratam de unir estes sub-modelos dentro de uma estrutura única. Todos eles tratam o espaço como um conjunto de sub-áreas discretas, ou seja, são “descendentes” dos modelos de interação espacial.

2.4 Modelos configuracionais

Atualmente existe outro grupo de modelos, denominados *modelos configuracionais*, que enfatizam a importância das características do traçado no sistema urbano. O primeiro exemplo significativo foi o modelo da Sintaxe Espacial, proposto por Hillier & Hanson (1984). Ele abarca uma série de medidas de desempenho urbano, sendo que a que vem sendo utilizada com mais frequência, e apresentando resultados mais consistentes, é a Real Relativa Assimetria, também chamada de **Integração**.

O conceito de Integração parte do princípio de que todo o sistema de espaços públicos abertos de uma cidade pode ser decomposto em espaços convexos. A partir disso, Hillier & Hanson criam o conceito de linhas axiais, que podem ser definidas como o menor número das maiores linhas retas capazes de cobrir todos os espaços convexos. Estas linhas são então utilizadas para calcular a integração, a partir da seguinte fórmula:

$$RA = \frac{2(MD - 1)}{k - 2}$$

Onde:

- RA = Relativa assimetria;
- MD = Profundidade média;
- k = Quantidade de espaços do sistema.

A profundidade média de cada linha axial é determinada pela média da quantidade de passos topológicos que essa linha precisa dar para alcançar todas as outras linhas do sistema. Assim, para cada espaço (linha axial), é calculado o caminho mínimo para todos os outros espaços, considerando cada conexão entre linhas como uma distância igual a 1. O resultado é então normalizado, utilizando valores de uma tabela, com vistas a permitir comparações entre sistemas de tamanhos diferentes, dando origem à Real Relativa Assimetria.

Este tipo de modelo tem se mostrado eficiente em correlacionar aspectos importantes dos sistemas urbanos, com destaque especial para os fluxos de pedestres (Hillier et al, 1993), além de usos urbanos e, mais recentemente, fluxos de veículos (Penn et al, 1998). Entretanto, algumas dificuldades decorrem do modo como o sistema urbano foi representado, o que impõe algumas restrições às análises que podem ser feitas e às conclusões que podem ser tiradas da sintaxe espacial. Entre estas dificuldades estão:

- A inexistência de atratores, representados pelas atividades urbanas, que acaba prejudicando as correlações encontradas. Neste sentido, é fácil perceber que vias com grande concentração de atividades tendem a atrair mais fluxo que vias com pouca ocupação. Este ponto, entretanto, não é levado em consideração pela Sintaxe Espacial;
- A representação por linhas axiais, apesar de captar aspectos importantes como a conectividade e a linearidade do traçado, não permite uma visão refinada da distribuição da integração, uma vez que extremos opostos de uma mesma linha axial sempre terão necessariamente o mesmo valor, independente de quão diferente seja a real condição de integração que possuem;
- A representação de sentido de trânsito (mão e contramão), no caso de análises de movimento de veículos, é extremamente difícil a partir de linhas axiais. Os estudos realizados com essa intenção (Penn et al, 1998) calculam o caminho mínimo da forma tradicional, apenas eliminando do sistema as linhas não destinadas ao tráfego de veículos.

Outro tipo de modelo configuracional é o modelo de Centralidade (Krafta, 1994), que busca superar algumas destas limitações adicionando às análises informações relativas à quantidade de edificações e aos usos que estas abrigam. Trata-se de um modelo bastante desagregado, e que utiliza informações que podem ser obtidas do cadastro urbano. Por esta razão, adotamos este modelo para mostrar como é possível utilizar dados do cadastro técnico em análises urbanas. O modelo de Centralidade será mais bem explicado no item seguinte.

2.5 Modelo de Centralidade

O modelo de Centralidade (Krafta, 1994) é uma proposta de avaliação da diferenciação espacial entre partes da cidade. Neste sentido, a Centralidade é definida como “uma propriedade dos espaços públicos que consiste na sua capacidade de fazer parte dos caminhos mínimos entre todos os pares de formas construídas de um sistema urbano em particular” (Krafta, 1994, p. 70 – tradução nossa). Assim, o conceito de centralidade parte do princípio de que toda edificação é acessível a partir de qualquer outra edificação, através de um sistema de espaços públicos, e que a distribuição desigual das edificações, combinada com as características da

configuração, gera diferenciação espacial.

A diferenciação espacial pode ser considerada como uma medida das diferenças (ou vantagens) locais existentes entre diversas partes da cidade. O modelo de Centralidade já provou, em estudos anteriores, ser capaz de avaliar o desempenho de variáveis como movimento de pedestres, permeabilidade entre espaço público e privado (Krafta, 1994), tráfego veicular (Borges & Krafta, 1997) e valor do solo urbano (Spinelli & Krafta, 1998). Estas variáveis e as implicações de seus relacionamentos caracterizam um estado do sistema que, por apresentar características de diferenciação das partes entre si, pode indicar importantes tendências de transformação do tecido e da ocupação urbana.

O modelo de Centralidade é essencialmente um modelo exploratório, que busca entender aspectos relevantes do sistema urbano; e estático, pois a partir de um determinado conjunto de dados ele apresenta um único resultado. Não existe, portanto, iteração temporal. Entretanto, o modelo pode ser usado em análises preditivas, para avaliar impactos. Assim, modificando os dados de entrada do modelo, relativos à configuração do traçado e/ou à presença de atratores, é possível observar as alterações nos resultados.

Em síntese, o modelo de centralidade adquire relevância na medida em que:

- a) Permite o entendimento de aspectos relevantes do funcionamento dos sistemas urbanos (movimento de pedestres e veículos, valor do solo, entre outros);
- b) Fornece uma visão refinada da diferenciação espacial inerente aos sistemas urbanos, permitindo *insights* sobre a possibilidade de ocorrência de transformações de diversas naturezas, assim como sobre as repercussões de alterações pontuais no estado do sistema como um todo;
- c) Representa o primeiro passo para a operacionalização de modelos mais complexos e abrangentes que visam prever e explicar o crescimento e a produção da cidade (Krafta, 1999).

Dois variáveis fundamentais são levadas em consideração na concepção do modelo: a configuração do traçado, que pode ser representado por linhas axiais (Hillier & Hanson, 1984) ou por trechos de logradouros; e as unidades edificadas, também chamadas "atratores".

A medida de centralidade é calculada através da soma de duas "tensões":

A **tensão interna** (t_i) (*inner tension*) é aquela originada das tensões entre formas construídas localizadas no mesmo espaço público. A segunda é a **tensão** criada por formas construídas localizadas em **espaços diferentes**, o que cria o conceito de "*betweenness*". Assim, para cada par de formas construídas (na verdade, para cada par de espaços públicos, com a quantidade de formas construídas como atributos) é (são) calculado(s) o(s) caminho(s) mínimo(s). O produto dos atributos das formas construídas é então distribuído de forma igualitária por todos os segmentos que compõem o(s) caminho(s) mínimo(s). Cada espaço, portanto, tem seu índice de Centralidade calculado pela soma da sua própria tensão interna com o somatório das porções de tensão atribuídas por todos os caminhos mínimos do qual ele faz parte.

2.6 Limitações dos modelos

A estrutura de representação dos elementos espaciais dos modelos urbanos pode ser considerada arcaica (Wegener, 1998). Em essência, nestes o espaço é representado por um conjunto de zonas discretas, sendo que estas, por sua vez, são representadas por registros (linhas) em uma tabela, enquanto seus atributos são armazenados nas colunas que compõem a tabela. Desta maneira, cada zona é tratada de forma homogênea, sendo que seus componentes se distribuem de forma igualitária dentro delas. As conexões entre zonas são representadas por custos de viagem ou de tempo, e interações espaciais através dos limites entre zonas adjacentes não são representadas (Wegener, 1998).

Os dados utilizados como *inputs* nestes modelos são excessivamente específicos, uma vez que o modelo descritivo embutido neles obedece a uma lógica própria, guiada pelas necessidades impostas pelas teorias que lhe dão origem. A construção e a formatação destes geralmente apresenta-se trabalhosa e sujeita a erros.

Os *outputs* dos modelos freqüentemente necessitam de alguma forma de visualização, uma vez que ferramentas estatísticas nem sempre são suficientes. Neste sentido, Batty (1992) defende a visualização não apenas como uma forma de absorver as informações de um modo mais fácil, mas como uma forma de possibilitar a detecção de padrões e, com isso, gerar novos *insights* sobre os processos do mundo real. Essa capacidade de visualizar os resultados numéricos em sua distribuição espacial não é contemplada de forma satisfatória pelos modelos.

Outra limitação, citada por diversos autores (Lee, D. 1973; Batty, 1992; Sui, 1998) é o fato de que os procedimentos de análise e mesmo a teoria por trás das operações matemáticas são invisíveis a quem opera os modelos. Apenas as pessoas que os desenvolveram conseguem usá-lo e entender os procedimentos de análise. No processo, os dados são inseridos no modelo, passam por operações invisíveis ao operador, e então saem já modificados.

Em resumo, portanto, as principais limitações dos modelos urbanos são:

- a) A estrutura arcaica de representação dos elementos espaciais;
- b) O que Douglas Lee chamou de "fome de dados": a necessidade de grandes volumes de dados para realizar as análises;
- c) A dificuldade de visualização dos resultados em forma gráfica;
- d) O caráter de "caixa preta" apresentado pelos modelos, nos quais os dados eram introduzidos, para depois saírem já transformados, resultado de uma série de operações invisíveis ao operador.

As limitações do modelo de centralidade, por sua vez, não diferem significativamente daquelas relativas aos modelos urbanos de forma geral. A forma de representação do espaço urbano adotada por este modelo (linhas axiais ou trechos de logradouros carregados com atributos referentes às edificações) deriva-se de uma teoria desenvolvida a respeito de algumas relações entre os elementos urbanos (descrita no item 2.5). No entanto, este modelo conceitual de dados (ou estrutura de dados) não é o mesmo que o adotado pelos órgãos cadastrais, que utilizam os lotes como unidade básica. Isso gera algumas dificuldades relativas à conversão dos dados para o formato necessário para a entrada no modelo. Neste sentido, o SIG, com sua capacidade de manipulação de dados espaciais, pode auxiliar na conversão dos dados, e gerar automaticamente as tabelas alfanuméricas necessárias ao modelo de Centralidade.

Além disso, os resultados provenientes do modelo são constituídos por tabelas de dados numéricos, referentes às medidas de centralidade de cada uma das entidades espaciais adotadas. A visualização destes dados deve ser feita manualmente, através da identificação do valor de cada entidade espacial, ou através de gráficos de distribuição ou correlação com outras variáveis. A espacialização destes dados pode ser bastante beneficiada pela utilização das capacidades de mapeamento dos SIG. Assim, os valores numéricos contidos em um campo do banco de dados podem ser reagrupados facilmente em classes, e representados por uma escala de cores segundo as classes estabelecida.

3 Cadastro e Análises Urbanas

O cadastro pode ser utilizado para análises urbanas em diversos níveis de aprofundamento e refinamento. A mais comum é o mapeamento temático de informações diretamente contidas no cadastro. Como exemplos podemos citar os mapas de cheios e vazios, de usos, de gabaritos, etc. Estes tipos de mapas temáticos, apesar de simples, são bastante úteis em algumas etapas de planejamento, sendo muito utilizados em análises urbanas de forma geral. Podemos ainda aprofundar estas análises com mapas temáticos mais refinados, por exemplo, calculando densidades através de estimativas do número de pessoas por residência.

Os SIG podem estender as possibilidades de análise com sua capacidade de manipulação de dados. Operações como classificação, interpolação e sobreposição de mapas têm se mostrado cada vez mais úteis ao planejamento, e são capazes de oferecer um nível de compreensão mais específico. É possível, por exemplo, buscar lotes vazios ou com edificações abandonadas para termos uma idéia do potencial de renovação de uma área. Podemos determinar o raio de abrangência de um equipamento, e determinar quantas pessoas estão sendo beneficiadas por ele. Podemos ainda definir um *buffer* ao redor de um curso d'água e classificá-lo como área de proteção, e então mapear todas as edificações contidas em sua área de influência.

Entretanto, o nível de entendimento proporcionado por estas análises não é suficiente quando comparado com a imensa complexidade dos fenômenos urbanos. As relações diretas entre os elementos não são suficientes para oferecer um nível satisfatório de entendimento. Um exemplo deste fato é apresentado por Geertman & van Eck (1995): através do SIG é possível calcular o caminho mínimo entre dois pontos sobre uma rede de caminhos. Entretanto, não é possível medir diretamente a acessibilidade. Análises deste tipo necessitam de interpretação teórica e de longas seqüências de análises. Da mesma forma, análises de impactos imediatos podem ser realizadas, mas as conseqüências destes impactos nas outras variáveis do sistema, ao longo do tempo, não são facilmente avaliadas pelos SIG (Harris & Batty, 1992).

Diante disso surge a necessidade de modelos de análise mais elaborados, como os comentados no item 22. Estudos urbanos neste sentido representam enorme potencial, ainda por explorar. Ao mesmo tempo, estes estudos representam novas demandas de dados cadastrais, para além dos já consagrados, evidenciando a relevância do caráter multifinalitário do Cadastro Técnico.

3.1 O cadastro em modelos agregados

Os modelos de interação espacial certamente serão muito beneficiados pela utilização dos dados cadastrais disponibilizados em SIG. Atualmente os dados são normalmente inseridos no modelo a partir de informações já parcialmente agregadas, como por exemplo os levantamentos censitários (organizados por setores). Desta forma, as informações a serem adicionadas, mesmo que obtidas a partir de levantamento *in loco*, devem submeter-se à agregação já existente, sob pena de perda da coerência das informações e, conseqüentemente, da validade dos resultados.

A organização por zonas se presta bem à agregação a partir de dados desagregados, e este tipo de possibilidade tem as seguintes vantagens:

- a) Automatização do procedimento de atribuição dos dados a cada unidade de agregação. Isto resulta em economia de tempo e diminuição da possibilidade de erros;
- b) As informações podem ser precisas, confiáveis e periodicamente atualizadas;
- c) O processo de agregação pode ser realizado com base nos mais diversos critérios, tanto espaciais quanto não-espaciais. Podemos, por exemplo, contar apenas os estabelecimentos comerciais com área maior que um determinado limite;
- d) Flexibilidade na determinação das zonas. Podemos usar os critérios que considerarmos mais convenientes, tendo em vista os objetivos da análise. Neste caso, entra em questão não apenas a definição dos limites das zonas como também sua própria escala. Esta pode ser testada com mais facilidade, com vistas a encontrar o tamanho ideal da unidade de análise adotada.
- e) Possibilidade de realização de análises combinadas entre zonas de escalas diferentes, tendo o SIG como "ponte" entre elas. Desta forma, informações agregadas em escalas maiores poderiam ser usadas em análises em escalas menores, funcionando de forma análoga ao princípio da generalização cartográfica.

3.2 O cadastro como fonte de dados para modelos desagregados

Paralelamente aos modelos de interação, existe uma tendência à construção de modelos desagregados. Isto vem sendo possibilitado pelos avanços tecnológicos, que oferecem equipamentos com capacidades de processamento cada vez maiores, e pela crescente disponibilidade de dados desagregados. Da mesma forma, os recursos de manipulação e comunicação de dados também vem crescendo, o que também contribui para este quadro.

Para Landis & Zhang (1998), dois aspectos fundamentais para a evolução dos modelos urbanos atualmente são: em primeiro lugar, os avanços teóricos, em especial a introdução da teoria da "*random-utility*". O segundo é a disponibilidade de dados desagregados e os recursos de manipulação destes dados introduzidos pelos SIG. E acrescenta: "*A unidade ideal de análise para estudar mudanças de uso do solo urbano é a propriedade. As propriedades têm área, localização, usos do solo identificáveis e, melhor de tudo, são a base para as transações imobiliárias.*" (Landis & Zhang, 1998, p. 662 – tradução nossa).

O próprio modelo de Centralidade pode, até certo ponto, ser considerado um modelo desagregado, pois adota como unidade espacial os trechos de logradouros. As variáveis que são levadas em consideração são os espaços públicos (trechos de logradouros) e as atividades urbanas (edificações), que possuem um alto grau de desagregação, e sobre elas é construída a teoria. A agregação das edificações por trecho acontece por motivos operacionais, e não prejudica o nível de detalhamento dos resultados.

Krafta (1999) propõe ainda um outro modelo, que busca avaliar o potencial de cada lote de ser ocupado ou reconstruído. Para calcular este potencial, utiliza uma equação cujos componentes são a medida de centralidade, a idade da edificação, o potencial construtivo do lote e a proximidade de equipamentos de comércio e serviço, entre outros. A partir disso, o modelo tem a capacidade de alocar uma quantidade total de metros quadrados (definida exogenamente, isto é, fora do modelo), distribuindo-a pelo sistema urbano. Este é um exemplo de um modelo extremamente desagregado, que só pode ter sua implementação tornada viável através de um eficiente sistema de informações que o alimente com os dados do cadastro.

3.3 Monitoramento

O monitoramento dos planos urbanos tem se mostrado necessário, tendo em vista o caráter estático destes em contraste com o dinamismo das cidades. O Planejamento já não pode confiar apenas nas definições de natureza normativa como condição suficiente para guiar o desenvolvimento urbano, ainda mais levando em consideração o alcance dos planos em termos temporais (Levy, 1997). Caminhamos então na direção do planejamento estratégico, que introduz a necessidade de monitoramento constante dos resultados parciais das normativas aplicadas.

Uma rotina de atualização eficiente, em sintonia com as atividades de licenciamento e emissão de alvarás de ocupação, portanto, fornece uma base constante de informações atualizadas e precisas, que podem ser usadas nas diversas situações com as quais o planejador se depara. Neste sentido, este tipo de procedimento automatizado possibilita o permanente monitoramento do sistema

urbano, já que em intervalos regulares de tempo podem ser gerados novos resultados pelo(s) modelo(s), pois o tempo de confecção dos dados de entrada no modelo são drasticamente reduzidos. Desta forma podemos acompanhar de forma minuciosa a evolução do sistema e detectar com mais propriedade problemas e tendências.

Esse tipo de sistema de armazenamento de dados permite também alguns refinamentos. Por exemplo: a partir de um campo na tabela de lotes indicando a situação da edificação, podemos saber quais delas estão abandonadas, e excluí-las dos cálculos do modelo de análise. Assim, a partir do momento em que um registro de lotes passe a indicar que aquela edificação está abandonada, ela não mais interfere nos resultados. Entretanto, assim que a edificação for revitalizada ou reconstruída, ela volta a integrar as rotinas de cálculo.

Introduzimos, assim, a dimensão temporal ao processo de planejamento, que até então era baseado em dois momentos apenas: o instante em que o plano começava a vigorar e o estado final previsto por ele, dentro de um horizonte de 15 a 20 anos. Este estado, entretanto, nunca era alcançado, como demonstraram estudos posteriores. Caminhamos agora na direção de um planejamento em maior sintonia com a dinâmica das cidades.

4 Centralidade em Ambiente SIG

O primeiro problema a ser enfrentado é a conversão de uma estrutura de dados para outra. Isto acontece em dois âmbitos: primeiro, os dados alfanuméricos, relativos à quantidade e qualidade das edificações e, em segundo lugar, os dados espaciais, relativos às relações de conectividade entre os elementos espaciais. Descrevemos a seguir os modelos de dados e os procedimentos a serem implementados em um Sistema de Informações Geográficas para superar esta etapa.

4.1 Dados alfanuméricos

4.1.1 As estruturas de dados

Os dados não-espaciais contidos no cadastro urbano são tabelas de dados alfanuméricos, contendo a inscrição imobiliária, a área do lote, a área da edificação, o tipo de uso, o número de pavimentos, o código do logradouro e o número da edificação, entre outros, conforme o exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de estrutura de dados alfanuméricos em cadastro urbano

Insc_Imob	Área_Lote	Área_Edif	Uso	Pavimentos	Cód_Lograd	Número	...

A estrutura de dados do modelo de Centralidade compõe-se basicamente de registros com dados relativos às unidades espaciais. Neste estudo estamos trabalhando com trechos de logradouros, pelo fato de estes permitirem uma visão mais refinada da distribuição da centralidade. Estes são definidos como trechos de ruas compreendidos entre duas interseções. Cada unidade espacial tem um atributo numérico que se refere à quantidade e qualidade das edificações que se abrem para ela. Este atributo é o único valor a ser levado em consideração pelo modelo. Entretanto, existem várias maneiras de calculá-lo. A primeira, e mais simples, é uma contagem simples do número de edificações. Outra possibilidade, mais comum, é atribuir pesos diferenciados para as edificações de acordo com as atividades que abrigam. Estes pesos são definidos através de calibração. Além disso, podemos ainda introduzir ponderações por área.

Adicionalmente, devemos fornecer informações sobre a conectividade de cada uma destas unidades espaciais. Assim todos os pares de espaços que se conectam diretamente são listados seqüencialmente. Esse procedimento será detalhado no item 4.2.

Atualmente, a confecção destes dados é feita manualmente, através de contagem. As listas de adjacência também devem ser entradas a mão. O que estamos propondo neste trabalho, portanto, é a geração de dados na estrutura específica para entrada nos modelos de análise a partir dos dados da base cadastral, utilizando um SIG para automação desta tarefa.

Os passos necessários para isso estão descritos a seguir, levando em consideração a estrutura inicial do cadastro e a estrutura final do modelo de centralidade, assim como as estruturas e operações de manipulação de dados suportadas pelos SIG.

4.1.2 Preparação da base de dados de referência

O primeiro passo é preparar a base de dados que servirá como vínculo entre os dados alfanuméricos contidos nas tabelas e as informações espaciais representadas pelos trechos de logradouros e tabelas de adjacência. Esta base de dados é composta por elementos espaciais representando os trechos de logradouros, vinculada a uma tabela de dados alfanuméricos. Segundo Drummond (1995), os campos necessários para esta tabela são: Endereço Inicial Direito (EID), Endereço Final Direito (EFD), Endereço Inicial Esquerdo (EIE), Endereço Final Esquerdo (EFE), Prefixo direcional (PD), Código do Logradouro (Cód_Log), Tipo do Logradouro (Tipo_Log) e Sufixo Direcional (SD). Podemos acrescentar a estes campos o próprio código do trecho, que será utilizado para fazer a vinculação com os elementos espaciais. Esta estrutura está exemplificada na figura 1 e na Tabela 2.

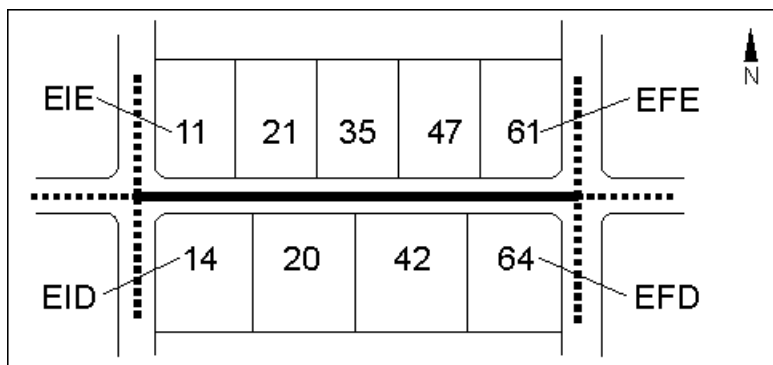


Tabela 2 – Campos obrigatórios em uma tabela de referência

Cód_Trecho	EID	EFD	EIE	EFE	PD	Cód_Log	Tipo_Log	SD	...
00101	14	64	11	61	O	001	R.	L	

Este tipo de estrutura de dados não é usualmente encontrada nos cadastros urbanos. Entretanto, o trabalho de confecção desta base se justifica na medida em que ela possa ser usada por um grande número de aplicações, além das já mencionadas atividades de planejamento. Uma grande parte das instituições públicas e privadas mantêm bases de dados exclusivamente alfanuméricas, contendo uma única referência espacial, que é exatamente o endereço para correspondência. Uma base com este tipo de estrutura, portanto, uma vez confeccionada e disponibilizada a outros órgãos, poderia auxiliar, por exemplo, no controle das ocorrências criminais ou na distribuição de vagas em escolas públicas (Drummond, 1995).

4.1.3 Reagregação dos dados

Os passos necessários à reagregação dos dados por trecho (unidade espacial adotada) são os seguintes:

1. Para cada registro de lote identificamos a que logradouro pertence. Temos a identificação dos trechos que fazem parte deste mesmo logradouro. Então identificamos os lotes que fazem parte de um mesmo trecho, comparando o número do lote com os limites de numeração de cada trecho (mostrados na Tabela 2). Caso o número do lote esteja entre os limites, então o número do trecho será acrescentado ao registro do lote.
2. O passo seguinte é agrupar os resultados por trecho e por atividade. Assim, criamos uma consulta que conte os usos comerciais e residenciais, e mostre os resultados agrupados por trechos de logradouros.
3. O último passo é atualizar a tabela de trechos com informações sobre o número de atividades comerciais, residenciais e o total de atividades no trecho.

Temos, portanto, como resultado final, a Tabela 2 acrescida dos campos: “Quantidade Total de Edificações”, “Quantidade de Edificações Residenciais”, “Quantidade de Edificações Comerciais”, “Quantidade de Edificações de Serviços”. A partir desta tabela podemos gerar a tabela que será introduzida no modelo, utilizando um ponderador para cada uso no cálculo do valor do atributo de cada trecho.

4.2 Dados espaciais

Os dados espaciais do cadastro urbano são cartas ou plantas na escala da propriedade, normalmente variando entre as escalas de 1:10.000 a 1:500, contendo informações como os limites de quadras, lotes e edificações, a inscrição imobiliária do lote, os eixos de logradouros, a altimetria, e infra-estrutura urbana de iluminação, arborização, etc.

A operação a ser feita aqui é a transformação dos eixos de logradouros em trechos de logradouros, e a detecção da conectividade de cada trecho. Ambos os problemas são resolvidos a partir das funções de topologia existentes na maioria dos softwares de SIG. Ela trata basicamente das relações espaciais existentes entre os elementos e, no caso de análises de rede, estrutura o espaço da seguinte forma: os elementos lineares são chamados de *arcos*. Estes podem ser um segmento de reta ou um conjunto de segmentos de reta. Cada arco está necessariamente definido por dois *nós*. Dois arcos estão conectados apenas quando têm ao menos um nó em comum. No caso de se cruzarem, mas não haver nenhum nó em comum entre eles, então os arcos são ditos não conectados (como no caso de passagem de nível, como um viaduto, por exemplo).

A criação dos trechos é relativamente simples. Os softwares de SIG possuem rotinas prontas de leitura de elementos lineares e criação de todo o sistema de arcos e nós. O único cuidado necessário é revisar as conexões, editando, se necessário, os casos em que forem criadas conexões que não existem.

O segundo passo é a detecção das conectividades: tendo a topologia criada, para cada trecho identificamos seus nós, e comparamos com todos os outros nós que definem o restante dos trechos. Aqueles que possuem um ou dois nós em comum estão conectados.

5 Considerações finais

Podemos perceber, pelo que foi exposto, que o potencial isolado de cada um destes elementos – cadastro, modelos urbanos e sistemas de informações geográficas – pode ser ampliado se considerarmos o potencial de uma ferramenta que realmente os integre. Eles se complementam, visto que as limitações de cada um são exatamente os pontos fortes dos outros.

Uma ferramenta deste tipo traria benefícios não apenas às análises espaciais, mas também a outros aspectos do processo de planejamento. A visualização dos resultados, por exemplo, seria bastante beneficiada, pois gráficos e tabelas seriam substituídos por mapas temáticos. Isto introduz a possibilidade de geração de material com vistas a prover subsídios para discussões, não só entre técnicos como também com a comunidade. Neste sentido, o entendimento das análises elaboradas pode ser melhor proporcionado pelas informações visuais contidas em mapas temáticos com *design* apropriado.

Outra possibilidade importante é o aumento da interação entre setores, através do intercâmbio de informações. Isto permite que dados provenientes de outros setores podem ser incorporados aos modelos urbanos adotados. Por exemplo, é possível realizar um estudo sobre a acessibilidade do transporte público utilizando dados sobre a quantidade e o percurso das linhas de ônibus armazenados no setor de transportes. Os requisitos técnicos para este tipo de compartilhamento de informações já existe. O que falta é investimento na estrutura organizacional dos órgãos de planejamento e de cadastro.

A tendência é, portanto, que com o desenvolvimento destes modelos, alcancemos análises cada vez mais refinadas dos sistemas urbanos, realizadas com maior precisão e de forma mais fácil e rápida. A consequência disto são avaliações melhores, e maior apoio à tomada de decisões. Neste sentido, uma ressalva deve ser feita: não defendemos a idéia de que possíveis ferramentas resultantes da união destes três elementos apresentem soluções para todos os problemas urbanos. Nosso argumento é de que quanto melhor instrumentalizado estiver o planejador, maiores serão as chances de gerar alternativas conscientes e de tomar decisões acertadas. Segundo Portugal (1996), quanto mais um sistema se torna aberto e complexo, maior é a importância da experiência e do

6 Referências Bibliográficas

- BARRA, Tomas de la** (1979) *Integrating micro-economic models with spatial interaction theory*. In Steadman (ed.) Transactions of the Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge – 1^a e 3^a partes.
- BATTY, Michael** (1992) *Urban modeling in computer-graphic and geographic information system environments*. Environment and Planning B, vol. 19, p.663-668.
- BERTUGLIA, C.S. & WILSON A.G.** (1987) *Urban Systems*. London: Croom Helm – 1^o e 2^o capítulos.
- BORGES, Luciane & KRAFTA, Romulo** (1997) *Configuração espacial e tráfego veicular*. In Anais do VII Encontro Nacional da ANPUR, Recife.
- CHADWICK, G. F.** (1966) *A systems view of planning*. Journal of the Town Planning Institute, May.
- DOMENCICH, Thomas & McFADDEN, Daniel** (1975) *Urban travel demand: a behavioral analysis*. Amsterdam/Oxford: North Holland Publishing Company.
- DRUMMOND, W. J.** (1995) *Address matching – GIS technology for mapping human activity patterns*. Journal of the American Planning Association, vol. 61, p. 240 – 251.
- ECHENIQUE, Marcial** (1972) *Models: a discussion*. in MARTIN, L. and MARCH, L. (eds.), 1972, *Urban Space and Structures*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ECHENIQUE, Marcial** (1976) *Modelos matemáticos de la estructura urbana*. BsAs, SIAP, 1^o capítulo.
- FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE** (1998) *Road data model - content standard & implementation guide (Working Draft)*. Washington, D.C.
- GEERTMAN, Stan & VAN ECK, Jan** (1995) *GIS and models of accessibility potential: an application in planning*. International Journal of Geographical Information Systems, vol.9, n.1, p.67-80.
- HARRIS, Briton & BATTY, Michael** (1992) *Locational models, geographic information, and planning support systems*. Technical Paper 92-1, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) - State University of New York at Buffalo.
- HILLIER, Bill & HANSON, Julienne** (1984). *The social logic of space*. Cambridge: Cambridge University Press.
- HILLIER, Bill; PENN, A.; HANSON, J.; GRAJEWSKI, T. & XU, J.** (1993) *Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement*. Environment & Planning B, vol. 20, p. 29-66.
- KRAFTA, Romulo** (1994) *Modelling intraurban configurational development*. Environment & Planning B, vol. 21, p.67-82.
- KRAFTA, Romulo** (1999) *Spatial self-organization and the production of the city*. In Revista Urbana, vol.24, Caracas.
- LANDIS, J. & ZHANG, M.** (1998) *The second generation of California urban futures model. Part 1: Model logic and theory*. Environment and Planning B, vol. 30, p.657-666.
- Colin** (1973) *Models in planning – an introduction to the use of quantitative models in planning*. Oxford: Pergamon Press.
- Douglas B.** (1973) *Requiem for large-scale models*. Journal of the American Institute of Planners, vol.39, p.163-178.
- John** (1997) *Contemporary urban planning*. New Jersey: Prentice Hall.
- A.; HILLIER, B.; BANISTER, D. & XU, J.** (1998) *Configurational modelling of urban movement networks*. Environment & Planning B, vol. 25, p. 59 – 84.
- PORTUGALI, J.** (1996) *Notions concerning the nature of world urbanization*. In D. Diamond & B.H. Massam (ed.) Contemporary perspectives on urbanization, Progress in Planning vol. 46.
- Spinelli, J. & Krafta, R.** (1999) *Configuração espacial e distribuição do valor do solo urbano*. In Cadernos IPPUR ano XII, n. 2, Rio de Janeiro.
- Daniel** (1998) *GIS-based urban modelling: practices, problems and prospects*. International Journal of Geographical Information Science, vol.12, n.7, p. 651-671.
- WEBSTER, C.J.** (1994) *GIS and the scientific inputs to planning. Part 2: prediction and prescription*. Environment and Planning B, vol. 21, p.145-157.
- WEGENER, M.** (1994) *Operational urban models – state of the art*. Journal of the American Planning Association, vol.60, n.1, p.17-29.
- WEGENER, M.** (1998) *GIS and spatial planning*. Environment and Planning B, Anniversary Issue, 1998, p.48-52.
- WILSON, A. G.** (1967) *A statistical theory of spatial distribution models*. Transportation research, vol.1, p. 253-269.
- WILSON, A. G.** (1974) *Urban & regional models in geography & planning*. London: John Wiley & Sons.
- A. G. O. & BATTY, M.** (1990) *Guest editorial - Applications of geographic information systems in urban and regional planning*. Environment & Planning B, vol.17(4), p.369-374.