

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E
REGIONAL – PROPUR

Centralidade Espacial

Uma nova operacionalização do modelo baseada em um Sistema
de Informações Geográficas

Dissertação de Mestrado

Renato T. de Saboya

Porto Alegre, RS

2001

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E
REGIONAL – PROPUR**

Centralidade Espacial

Uma nova operacionalização do modelo baseada em um Sistema de
Informações Geográficas

Renato T. de Saboya

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Planejamento Urbano e
Regional (PROPUR) da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Romulo Krafta, PhD

Porto Alegre, RS
2001

Dedicatória

A minha mãe, Elizabeth, que com sua fé inabalável me ensinou a acreditar num futuro sempre melhor.

Agradecimentos

A **Romulo Krafta**, pela orientação nesta longa e penosa – porém gratificante – caminhada. Obrigado pelos conselhos sempre precisos e esclarecedores nos momentos certos, e pela motivação constante para avançar em busca de novos desafios.

A **Décio Rigatti**, representando o corpo docente e discente do Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR), pela ótima acolhida e pelo ambiente altamente favorável à troca de idéias e à geração de conhecimento.

À **CAPES**, pela concessão da bolsa de estudos, fundamental na viabilização deste trabalho.

A **Antonio Carlos Mariani** (INE/UFSC), pela orientação na resolução de problemas de grafos, sempre com boa vontade e disposição.

A **Marco Aurélio Martins** e **Edson da Silva Castro** pela inestimável e decisiva ajuda nesse outro mundo que é programação em Delphi.

Ao Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Pato Branco (IPPUPB), representado especialmente por **Adriano Scarabelot**, que acreditou neste trabalho e lutou pelo estabelecimento do convênio que forneceu todos os dados necessários à sua realização.

A **Edson Luis Cattoni** pelas incontáveis horas de discussões, questionamentos e busca de respostas em conjunto. Obrigado pelo suporte sempre presente, pelas idéias valiosas e pelas “perguntas simples”.

Sumário

Lista de Figuras

Resumo

Abstract

1. Introdução	1
1.1. Delimitação do Tema	1
1.2. Relevância do Tema	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Hipóteses	3
1.5. Metodologia	4
2. Considerações Iniciais	5
2.1. Modelos de Análise Urbana	5
<i>2.1.1. Modelos Urbanos: definição conceitual</i>	5
<i>2.1.2. Finalidade dos Modelos</i>	6
<i>2.1.3. Modelos Urbanos: revisão histórica</i>	8
<i>2.1.4. Limitações dos modelos</i>	12
2.2. Sistemas de Informações Geográficas	14
<i>2.2.1. Estruturas de dados</i>	14
<i>2.2.2. Funcionalidade do SIG</i>	15
<i>2.2.3. Aplicações dos SIGs</i>	17
<i>2.2.3. Limitações dos SIGs</i>	18
3. Vinculação de Modelos Urbanos e Sistemas de Informações Geográficas	20
3.1. Vantagens da vinculação Modelos Urbanos – SIG	21
<i>3.1.1. Aproveitamento de dados existentes em formatos diversos</i>	21
<i>3.1.2. Geração de dados de entrada a partir de dados brutos</i>	21
<i>3.1.3. Desagregação dos dados</i>	22
<i>3.1.4. Interatividade no processo</i>	23

3.1.5. <i>Visualização dos resultados</i>	24
3.1.6. <i>Avanços na teoria embutida nos modelos</i>	25
3.2. Classificação dos tipos de vinculação	25
3.3. Vinculações já realizadas	27
3.3.1. <i>Interactive Land Use and Transportation Modeling</i>	27
3.3.2. <i>California Urban Futures Model II</i>	28
3.3.3. <i>Comprehensive Regional Modeling for Long-range Planning</i>	29
4. Centralidade Espacial	30
4.1. O Modelo de Centralidade Espacial	30
4.2. A importância da Centralidade	32
4.3. Representação das variáveis	36
4.4. A medida de Centralidade	38
4.4.1. <i>Procedimentos matemáticos</i>	38
4.4.2. <i>Medidas possíveis</i>	39
5. Sistemas de Suporte ao Planejamento	41
5.1. Definição Conceitual	41
5.2. Processo de planejamento e o papel do PSS	45
5.2.1. <i>Funções Operacionais</i>	45
5.2.2. <i>Funções Administrativas</i>	46
5.2.3. <i>Funções Estratégicas</i>	48
5.2.4. <i>Funções de Comunicação</i>	51
6. Uma nova operacionalização do Modelo de Centralidade	53
6.1. Considerações Iniciais	54
6.2. Estrutura básica da vinculação	56
6.3. O processo tradicional de análise da Centralidade	57
6.4. Preparação dos dados	60
6.5. Estágio 1 – Vinculação Fraca	65
6.5.1. <i>Confecção do arquivo com os dados de entrada</i>	65
6.5.2. <i>Importação do arquivo de resultados</i>	65
6.6. Estágio 2 – Vinculação Forte	67
6.7. Comparação entre os tipos de vinculação	69
7. Contribuições ao Modelo de Centralidade	72

7.1. Considerações Iniciais	72
7.2. O problema da representação	73
7.3. Representação dos elementos espaciais: uma alternativa possível	76
8. O Estudo de Caso:	
A cidade de Pato Branco – PR	80
8.1. Caracterização	80
8.2. A base de dados existente	82
8.3. O processo	83
8.4. Visualização dos resultados: novas possibilidades	89
9. Conclusões	93
9.1. Quanto à nova operacionalização do modelo	93
9.1.1. <i>Aproveitamento de dados existentes em formatos diversos</i>	93
9.1.2. <i>Geração de dados de entrada a partir de dados brutos</i>	94
9.1.3. <i>Desagregação dos dados</i>	94
9.1.4. <i>Interatividade no processo</i>	95
9.1.5. <i>Visualização dos resultados</i>	96
9.1.6. <i>Avanços na teoria embutida nos modelos</i>	96
9.2. Quanto ao estudo de caso	97
9.3. Quanto às conseqüências no Planejamento Urbano	98
9.4. Desdobramentos da pesquisa	99
9.5. O fim?	100
Referências Bibliográficas	101
Apêndice: Aspectos técnicos	106
Glossário	109

Lista de Figuras

Figura 2.1	Vinculação dos elementos espaciais às tabelas de dados alfanuméricos em um SIG. Fonte: SABOYA (2000)	p. 14
Figura 2.2	Estruturas raster e vector de dados espaciais em um SIG. (Adaptado de MAGUIRE & DANGERMOND, 1991)	p. 15
Figura 3.1	Integrando SIG e modelagem urbana: práticas atuais (adaptado de SUI, 1998)	p. 25
Figura 4.1	Conceito de Centralidade	p. 31
Figura 4.2	Diferentes formas de representação de um sistema urbano: a) Aerofoto; b) Restituição Aerofotogramétrica; c) Trechos de logradouros; d) Grafos.	p. 36
Figura 4.3	Representação dos espaços públicos por (a) linhas axiais e (b) trechos de logradouros	p. 37
Figura 4.4	Grafos de espaços públicos e edificações – adaptado de KRAFTA (1994)	p. 37
Figura 5.1	Estrutura básica de um Sistema de Suporte ao Planejamento	p. 44
Figura 5.2	Funções Operacionais	p. 46
Figura 5.3	Funções Administrativas	p. 47
Figura 5.4	Análise de impactos – adaptada de KRAFTA (1998) e WEBSTER (1993)	p. 47
Figura 5.5	Predição de problemas futuros	p. 49
Figura 5.6	Formulação de Alternativas	p. 50
Figura 5.7	Funções de comunicação	p. 52
Figura 6.1	Interface do ArcView	p. 55
Figura 6.2	Exemplo de uma fração do modelo de dados do Avenue	p. 55
Figura 6.3	Esquema de integração da ferramenta proposta	p. 56
Figura 6.4	Estrutura de (a) entrada de dados; (b) saída de resultados no software de Centralidade.	p. 58
Figura 6.5	Tela do software de Centralidade já existente	p. 59
Figura 6.6	Representação em forma de gráfico dos resultados de Centralidade. Fonte: BORGES & KRAFTA (1998)	p. 59
Figura 6.7	Representação em forma de Mapa dos resultados de Centralidade. Fonte: SPINELLI & KRAFTA (1997)	p. 60
Figura 6.8	Modelo de dados da base cadastral	p. 61
Figura 6.9	Modelo de dados do modelo de Centralidade	p. 62
Figura 6.10	a) Possibilidade de escolher entre mudar ou não os parâmetros de calibração; b) Mudança do parâmetro para uso comercial.	p. 63

Figura 6.11	Seleção de elementos espaciais e edição da tabela de estado no ArcView	p. 63
Figura 6.12	Funcionamento da fase de preparação dos dados	p. 64
Figura 6.13	Interface para a importação do arquivo de resultados do software de Centralidade	p. 66
Figura 6.14	Interface para a escolha do campo que receberá os valores de Centralidade, com a possibilidade de criação de novos campos	p.66
Figura 6.15	Múltiplos campos de Centralidade em uma Tabela de Estado do Sistema	p. 67
Figura 6.16	Interface do ArcView para o cálculo da Centralidade	p. 68
Figura 6.17	Funcionamento da ferramenta proposta na etapa de vinculação forte	p. 69
Figura 7.1	Caminhos com 4 passos topológicos em representações por trechos	p. 75
Figura 7.2	a) Representação Point-Axial; b) Grafo resultante.	p. 75
Figura 7.3	Ponderação pelo ângulo de deflexão entre trechos de logradouros	p. 77
Figura 7.4	Processo de aproximação dos ângulos dos trechos	p. 78
Figura 8.1	Localização do município de Pato Branco no Estado do Paraná (Fonte: DATASUS)	p. 80
Figura 8.2	Recorte adotado. Fonte: IPPUPB	p. 81
Figura 8.3	Lote selecionado para simular a implantação de um Shopping Center	p. 84
Figura 8.4	Resultado da Centralidade Planar	p. 85
Figura 8.5	Resultado da Centralidade Morfológica para o Estado t1	p. 85
Figura 8.6	Resultado da Centralidade Real para o Estado t0	p. 86
Figura 8.7	Resultado da Centralidade Real para o Estado t1	p. 87
Figura 8.8	Resultado da Centralidade Real para o Estado t2	p. 87
Figura 8.9	Centralidade Real com ponderação por ângulos	p. 88
Figura 8.10	Difference map entre Centralidade Real e Planar – Estado t1.	p.89
Figura 8.11	Difference Map entre estados t2 e t1 (implantação do shopping-center)	p. 90
Figura 8.12	Representação de Centralidade Real com ajuda de Aerofoto.	p. 90
Figura 8.13	Mapa de Centralidade Real (t1) aplicada aos lotes	p. 91
Figura 8.14	Difference Map entre estados t1 e t2 aplicado aos lotes	p. 92
Figura A.1	Caixa de diálogo da ferramenta Drawing Cleanup no AutoCad Map	p. 107

Resumo

Neste trabalho realizou-se a vinculação entre o Modelo de Centralidade e um Sistema de Informações Geográficas. A motivação para a realização dessa tarefa surgiu do reconhecimento de que as principais ferramentas utilizadas atualmente em análises espaciais urbanas – Modelos Urbanos e SIGs – apresentam sérias limitações, e que sua união em uma nova ferramenta pode superar muitas dessas limitações.

Propôs-se então uma estrutura básica de Sistemas de Suporte ao Planejamento (PSS) que fosse capaz de oferecer suporte efetivo às diversas etapas do processo de planejamento. Essa estrutura serve como base de apoio para a construção da nova ferramenta, cujo objetivo foi testar duas hipóteses:

- a) A união de Sistemas de Informação Geográficas e o Modelo de Centralidade pode aumentar a qualidade de análises espaciais urbanas, através de aspectos como visualização e precisão dos resultados, e rapidez, facilidade e flexibilidade na realização das análises.
- b) Sistemas de Informações Geográficas podem contribuir para operacionalizar novos aportes teóricos no Modelo de Centralidade, principalmente através das capacidades de manipulação de elementos espaciais.

A ferramenta foi construída através de rotinas de personalização do ArcView (*scripts*), em conjunto com módulos analíticos externos, em forma de DLL, construídos em Delphi. Os *scripts* se encarregam de compilar os dados necessários à análise de Centralidade, referentes ao traçado e à quantidade e qualidade das formas edificadas, e alimenta o módulo analítico com as informações necessárias. Este as processa e retorna os resultados aos *scripts*, que então preenchem as tabelas de atributos referentes às unidades espaciais, deixando-as prontas para serem submetidas aos procedimentos de geração de mapas e cruzamentos de dados usualmente realizadas pelos SIGs “comuns”.

Para testar a hipótese “a”, realizou-se um estudo de caso na cidade de Pato Branco (PR) para avaliar o desempenho da ferramenta quando aplicada a uma

situação próxima da realidade. O desempenho da ferramenta mostrou-se bastante satisfatório, quando comparado com o método tradicional de análise da Centralidade. A organização dos dados foi beneficiada, assim como o tempo de realização das análises, aumentando a flexibilidade para a realização de testes com diferentes configurações.

Para testar a hipótese “b”, propôs-se uma pequena alteração no Modelo de Centralidade, que atribuiu pesos diferenciados às conexões entre elementos espaciais, como forma de tentar superar algumas das limitações das representações utilizadas até o momento. Dessa forma, os ângulos entre os trechos de logradouros passaram a definir custos diferenciados entre trechos, que por sua vez influenciavam na determinação dos caminhos mínimos entre trechos, dado essencial para o conceito de Centralidade.

Ficou provado então que é possível operacionalizar novos aportes teóricos ao modelo de Centralidade utilizando as capacidades de manipulação de dados espaciais oferecidas pelos SIGs, ainda que a validade do aporte utilizado neste trabalho não tenha sido testada.

Outras conclusões do estudo são a adequação da estrutura modular da ferramenta, a necessidade de bases de dados completas e adequadas desde o ponto de vista do modelo de dados, e o reconhecimento de um vasto campo de experimentações a serem feitas como evolução natural das idéias apresentadas aqui.

Abstract

In this study we link the Centrality Model to a Geographical Information System. The need for the accomplishment of this task comes from the understanding that both tools most used nowadays in urban spatial analysis – Urban Models and GIS – have severe limitations, and that their fusion in a new tool can overcome many of such limitations.

We propose a basic framework for Planning Support Systems which should be capable to offer support to the various stages of planning process. This framework acts as a basis for the construction of the new tool, which must be able to test two hypothesis:

- a) The union of a Geographical Information System to the Centrality Model can optimise the quality of urban spatial analysis, through aspects such as speed, flexibility and ease of use, and in visualisation and accuracy of results.*
- b) Geographical Information Systems can help the operationalization of new theoretical insights into the Centrality Model, mainly through their good capacity of handling spatial elements.*

Finally, we made a study using the city of Pato Branco, in order to test the tool when confronted to a situation close to reality. The performance of the tool may be considered satisfactory, when compared to the traditional method of analysis of Centrality. There was an improvement in the capacity of organization of data, and the amount of time required for the realization of the analysis was reduced, improving the flexibility to test different alternate configurations.

Additionally, we propose a slight modification in the Centrality Model, attaching “costs” to the connections of spatial elements, in order to overcome some of the shortcomings of the traditional spatial elements representations. This was able to prove the validity of hypotheses “b”.

Capítulo 1. Introdução

1.1. Delimitação do Tema

Os modelos de análise urbana, ou simplesmente “modelos urbanos”, têm uma longa história de aplicações e desenvolvimento teórico. Atualmente, as teorias embutidas nesses modelos alcançaram um grau avançado de refinamento, conforme atestam WEGENER (1994) e BATTY (1994). Independentemente de como se estruturam os diversos modelos existentes, e da forma como representam o sistema urbano, todos os modelos necessitam de dados de entrada para alimentar as análises, sendo que essa necessidade vem aumentando à medida que aumenta também a complexidade das teorias.

O modelo de Centralidade, proposto por KRAFTA (1994), é um exemplo claro desse fenômeno, uma vez que utiliza, como dados de entrada, informações referentes às atividades urbanas na escala do lote. Isso resulta em grande quantidade de esforço e consumo de tempo na confecção dos dados. Além disso, o fato de não utilizar o sistema de zonas para agregar as informações, e sim trechos de logradouros, introduz dificuldades ainda maiores à sua utilização, visto que a quantidade de elementos a serem manipulados aumenta consideravelmente.

Por outro lado, o surgimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) introduziu novas possibilidades no que diz respeito à manipulação, edição, análise e visualização de dados espaciais e não-espaciais. Como consequência natural, modelos urbanos e SIG estão convergindo – e complementando-se – num terceiro tipo de ferramenta conhecido como *Planning Support Systems* (PSS), ou Sistemas de Suporte ao Planejamento (HARRIS, 1989). Esforços nesse sentido estão sendo feitos em diversos centros de pesquisa pelo mundo, apesar de encontrarem-se ainda em estágio inicial (BATTY, 1992a; LANDIS & ZHANG, 1998)

O tema deste trabalho é, portanto, construir uma nova forma de operacionalização do modelo de Centralidade, explorando as vantagens advindas da incorporação das novas capacidades introduzidas pelos SIGs às capacidades analíticas e explanatórias oferecidas pelo modelo, assim como investigar a possibilidade de realização de novos aportes à teoria que lhe dá suporte.

1.2. Relevância do Tema

O processo de planejamento vem passando por profundas reformulações. A visão racional do planejamento, caracterizada por planos abrangentes e com grande horizonte de tempo (Levy, 1997), vem sendo substituída por uma visão mais flexível, negociada, estratégica e paulatina (Portugali, 1999). A essa mudança de visão deve necessariamente corresponder uma mudança no instrumental que fornece apoio às tarefas que fazem parte do processo de planejamento.

Nesse sentido, vem crescendo a necessidade de análises formais do ambiente urbano, entendidas como análises baseadas em formulações teóricas conscientes e mecanismos concretos de teste dessas teorias. A complexidade com que se apresentam os sistemas urbanos atualmente já não permite que apenas a intuição e o conhecimento acumulado sejam utilizados na confecção de planos urbanos. Krafta (1997, p.3) argumenta que “*para se conhecer por antecipação os efeitos de uma proposta de transformação urbana é preciso meios técnicos aprimorados*”. Tornam-se necessários, portanto, métodos formais de análise e predição de problemas, e de avaliação de alternativas.

Por outro lado, é necessário que esses métodos formais tenham a capacidade de ser efetivamente aplicados nas avaliações e análises realizadas pelos órgãos de planejamento. Para isso, eles precisam ser práticos, amigáveis ao uso, e fornecer respostas com rapidez e eficiência. A vinculação dos SIGs aos modelos urbanos parece estar caminhando nesse sentido, conforme já

mencionamos, e este trabalho avança nessa direção, aprofundando a questão e procurando trazer respostas objetivas, recomendações e possíveis sugestões de desenvolvimentos futuros, baseados na construção de uma nova ferramenta (e processo) de análise aplicada a uma situação concreta.

1.3. Objetivos

a. Aumentar a capacidade de realização de análises espaciais através da incorporação do Modelo de Centralidade a um Sistema de Informações Geográficas.

b. Investigar formas de refinamento do modelo de Centralidade através dos novos recursos de manipulação de dados espaciais e atributos alfanuméricos introduzidos pelo SIG.

1.4. Hipóteses

Hipótese 1 - A união de Sistemas de Informação Geográficas e o Modelo de Centralidade pode aumentar a qualidade de análises espaciais urbanas.

Essa hipótese baseia-se no argumento de que essa união pode trazer benefícios tais como **resolução dos resultados** (através do aproveitamento de dados desagregados, disponíveis em bases de dados já existentes); **visualização dos resultados** (através da facilidade de criação de diversos tipos de mapas temáticos); e **rapidez, facilidade e flexibilidade na realização das análises** (através da facilidade de adoção de diferentes unidades espaciais, de atualização dos dados e da geração automática ou semi-automática de dados de entrada).

Hipótese 2 – O Sistema de Informações Geográficas pode contribuir para operacionalizar novos aportes teóricos no Modelo de Centralidade.

A teoria embutida em um modelo está diretamente relacionada com o modelo descritivo do espaço adotado. Com o SIG, a facilidade de adoção de novos modelos descritivos (incluindo a seleção das variáveis relevantes, o meio de representação destas variáveis, suas inter-relações, e suas unidades de agregação) oferece a possibilidade de testar a teoria da Centralidade sob outras condições, pondo à prova sua robustez e permitindo a implementação de novos mecanismos com vistas a melhorar seus resultados.

1.5. Metodologia

1. Revisão bibliográfica com o objetivo de esclarecer aspectos conceituais do trabalho, com o intuito de posicionar a problemática adotada num contexto mais amplo. Essa revisão inclui as características e limitações de Modelos Urbanos e SIGs, e exemplos de uniões já realizadas. Inclui ainda a contextualização da ferramenta no processo de planejamento.
2. União do Modelo de Centralidade ao SIG, de duas formas: a primeira, chamada de vinculação fraca, acontece mediante troca de arquivos. A segunda, chamada de vinculação forte, funciona de maneira invisível ao usuário. Nela, o SIG formata os dados convenientemente e passa-os automaticamente ao módulo de análise, que realiza as operações necessárias e lhe repassa os resultados;
3. Geração de rotinas em linguagem de programação (no caso deste trabalho, a linguagem adotada foi o *Avenue*, embutida no software *ArcView – ESRI, 1999*) que realizem a interface com o usuário de um SIG e formate os dados do cadastro de acordo com a(s) análise(s) pretendida(s);
4. Geração de rotinas em linguagem de programação que permitam um maior refinamento da representação da distância no cálculo da centralidade, através da atribuição de custos de deslocamento entre elementos espaciais baseados no ângulo formado entre eles;
5. Revisão e adequação das bases de dados para inserção num SIG. Os dados espaciais (mapas) devem respeitar a estrutura de representação dos SIGs, que utilizam ponto, linha e polígono. Assim, diversos ajustes têm que ser feitos, tais como assegurar que os polígonos dos lotes estejam fechados, e que não há sobreposições. Os dados não-espaciais (tabelas de atributos) também necessitam de edição, com vistas a adequar os códigos dos diversos elementos a fim de evitar incoerências;
6. Teste da hipótese 1 – Comparação do processo de análise proposto com o processo “tradicional”;
7. Teste da hipótese 2 – implementação de modificações no Modelo de Centralidade com vistas a oferecer uma alternativa de solução ao problema da representação dos elementos espaciais;
8. Análise da performance da ferramenta em uma situação real. Aplicação da ferramenta a um estudo de caso, com o objetivo de testar seu comportamento frente a questões como facilidade de uso, manipulação das bases de dados, geração de cenário alternativos (simulações) e tempo consumido nas análises;

Capítulo 2. Considerações Iniciais

2.1. Modelos de Análise Urbana

2.1.1. Modelos Urbanos: definição conceitual

O estudo de uma realidade introduz a necessidade de representá-la e manipulá-la de alguma maneira. Segundo ECHENIQUE (1976, p.17) *“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”*. LEE, C. (1973, p.7) 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 (apud LEE, C., p.1) ¹ 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*”.

ECHENIQUE (1976) propõe uma classificação dos modelos segundo três categorias: finalidade do modelo, natureza de seus componentes e modo como se comportam em relação à variável tempo.

Os modelos, segundo a natureza de seus componentes, podem ser **icônicos**, **análogos** ou **conceituais**. Segundo o modo como se comportam em relação à variável tempo, podem ser **estáticos** ou **dinâmicos**. A classificação dos modelos segundo sua finalidade está descrita no item seguinte.

2.1.2. Finalidade dos Modelos

Em relação à finalidade, ECHENIQUE (1976) estabelece as seguintes categorias de modelos, levando em consideração a intenção do criador do modelo e as perguntas a que este se propõe a responder:

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. Essa definição é compartilhada por WEBSTER (1993) e LOWRY (apud LEE, C.)². Este acrescenta ainda que modelos descritivos podem ser construídos para a obtenção de variáveis cujos dados sejam difíceis de serem coletados, através de estimativas feitas a partir de outras variáveis, de coleta mais fácil.

Já NYERGES (1991) apresenta uma definição diferente desse tipo de modelo. Segundo ele, os modelos descritivos são aqueles onde apenas as relações essenciais do sistema estão representadas. Assim, relações de causa e efeito não estariam incluídas. Essa diferenciação é importante neste trabalho, por motivos que serão explicados mais adiante. Portanto, utilizaremos a expressão “estritamente descritivo” para denotar esse tipo de modelo sugerido por NYERGES.

¹ CHADWICK, GF. A systems view of planning. Journal of the Town Planning Institute, May, 1966. Apud LEE, C. Models in planning: an introduction to the use of quantitative models in planning. Oxford: Pergamon Press, 1973.

² LOWRY, IS. A short course in model design. Journal of the American Institute of Planners. Maio, 1965. Apud LEE, C. (op. cit.)

b. Modelos Exploratórios

Procuram identificar realidades possíveis através da manipulação sistemática das variáveis dos modelos, e testar hipóteses construídas pela teoria acerca do funcionamento do sistema (ECHENIQUE, 1976).

A categoria análoga proposta por NYERGES (1991) é a de modelos explanatórios. Segundo ele, esse tipo de modelo tem necessariamente um modelo descritivo (ou “estritamente descritivo”) embutido.

c. 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, e podem ser subdivididos em duas categorias: na primeira, o modelo apenas extrapola para o futuro as tendências observadas no presente (como os modelos demográficos, por exemplo); na segunda, os mecanismos de causa e efeito que governam as variáveis é que determinam os resultados (ECHENIQUE, 1972).

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). Neles, os objetivos devem ser claramente explicitados, como a maximização de uma variável (como acessibilidade ao transporte público, por exemplo) ou a minimização de um custo.

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) como *“modelos matemáticos implementados em computador e projetados para analisar e prever o desenvolvimento de sistemas urbanos”*.

LEE, C. (1973, p.7) argumenta que o uso de modelos acontece mesmo quando não nos damos conta disso. *“Comportamento racional envolve o exame das conseqüências possíveis de linhas de ação, e a seleção daquela que aparentemente fornece os melhores resultados. (...) Planejadores lidam regularmente com modelos do sistema urbano ou seus componentes. Eles podem não se dar conta de que estão usando um modelo, e seus modelos podem não estar necessariamente corretos. Eles são simplesmente construções para substituir, no nosso pensamento, o sistema real que está sendo representado.”*

Nesse sentido, portanto, o uso de modelos matemáticos implicaria na definição clara e consciente da estrutura e do funcionamento do modelo: “*Todos nós usamos modelos, na forma de imagens mentais. Traduzir essas imagens para uma formulação matemática precisa força-nos a examinar e ter bem claro a maneira como acreditamos que o sistema realmente funciona.*” (LEE, C., 1973, p.8).

PORTUGALI (1996) argumenta que o uso de modelos é uma forma de adquirir uma espécie de “experiência artificial” sobre a cidade, já que é impossível utilizar a cidade real como objeto de experiências para cada nova teoria a ser testada. Isso funciona de forma análoga às cabines de simulação de voo, onde os pilotos são obrigados e se confrontar com uma diversidade de situações fictícias, tomando decisões e aprendendo com seus erros, sem correr o risco de provocar acidentes.

A finalidade dos modelos, portanto, não é substituir o planejador, nem fornecer todas as respostas aos problemas urbanos, e sim fornecer suporte ao seu entendimento e à construção e teste de alternativas para resolvê-los.

2.1.3. Modelos Urbanos: revisão histórica

Os modelos urbanos, na história do seu desenvolvimento, podem ser classificados em duas grandes categorias: modelos microeconômicos e modelos de interação espacial (de la BARRA, 1979; ECHENIQUE, 1976; BERTUGLIA & WILSON, 1987).

Os **Modelos Microeconômicos** tiveram início com von Thünen, em 1826, cujo modelo tratava basicamente da localização dos produtos 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. Dessa 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.

WEBER (apud de la BARRA, 1979)³ analisou o problema da localização de indústrias, levando em consideração a localização de matérias-primas e dos mercados consumidores. Assim como no modelo de von Thünen, a oferta e a

³ WEBER. Über den standort der industrien. Tübingen, 1909. Apud de la BARRA, T. Integrating micro-economic models with spatial interaction theory. In: STEADMAN (Ed.) Transactions of the Martin Centre for Architectural and Urban Studies, v. 4, University of Cambridge, 1979.

demanda por terra são consideradas iguais, levando o sistema a um estado de equilíbrio.

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 (ECHENIQUE, 1976). 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. Nesse sentido, atividades comerciais estariam dispostas a pagar mais pelas melhores localizações.

Esse 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.

Paralelamente, a partir da década de 60, desenvolveu-se um outro tipo de abordagem, conhecida como **Teoria da Interação Espacial**. Essa 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 essas unidades são tratadas fundamentalmente como fluxos, reais (fluxos de pessoas, mercadorias, etc.) ou abstratos (dependências, oportunidades, tensões, etc.) (de la BARRA, 1979).

A Teoria da 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 esse tipo de modelo, proposta por WILSON (1974), é:

$$T_{ij} = \alpha O_i D_j f(c_{ij}) \quad (2.1)$$

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 proporcionalidade⁴.

O modelo de Lowry, *A Model of Metropolis*, de 1964, é considerado um marco dessa nova abordagem (de la BARRA, 1979). A partir dele foram desenvolvidos diversos outros modelos, influenciados direta ou indiretamente por seus postulados.

Entretanto, esse tipo de teoria não considerava de forma explícita as questões econômicas, tais como preço da terra, renda dos indivíduos, etc. Os modelos desse 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 desses testes serviam como ajustes à teoria ou mesmo como *insights* para novas formas de entender o fenômeno urbano. Assim, paulatinamente foram introduzidas inovações nesses modelos. Entre elas, as mais significativas foram a integração com princípios econômicos e as tentativas de afastá-los do determinismo e da racionalidade perfeita, com a maximização de entropia (WILSON apud BERTUGLIA & WILSON, 1987)⁵, e a *random utility* (DOMENCICH & McFADDEN apud WEGENER, 1994)⁶.

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 nesse campo, WEGENER (1994) criou um “modelo de modelos”, composto por oito sub-sistemas, classificados pela velocidade de suas mudanças:

- a) Mudanças lentas – redes urbanas e uso da terra;
- b) Mudanças médias – lugares de trabalho e residências;

⁴ Segundo Echenique (1976, p.16), geralmente se supõe que a **estrutura** de um sistema se mantenha constante, e que seu **estado** é variável. “O processo de determinar este estado se chama, geralmente, *calibração*, que consiste na busca dos valores dos parâmetros ou constantes que definem a magnitude das relações em um caso específico”.

⁵ WILSON, AG. A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation research*, v.1, p. 253-269, 1967. Apud BERTUGLIA, CS; WILSON AG. Urban Systems. London: Croom Helm, 1987.

⁶ DOMENCICH, T; McFADDEN, D. Urban travel demand: a behavioral analysis. Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1975. Apud WEGENER, M. Operational urban models: state of the art. Journal of the American Planning Association, v.60, n.1, p.17-29, 1994.

- c) Mudanças rápidas – emprego e população;
- d) Mudanças imediatas – transporte de mercadorias e viagens.

Os modelos atuais 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.

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 de 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. Essas linhas são então utilizadas para calcular a integração, a partir da seguinte equação:

$$RA = \frac{2(MD - 1)}{k - 2} \quad (2.2)$$

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.

Esse 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 essas dificuldades estão:

- A inexistência de atratores, representados pelas atividades urbanas, que acaba prejudicando as correlações encontradas. Nesse sentido, é fácil perceber que vias com grande concentração de atividades tendem a atrair mais fluxo que vias com pouca ocupação. Esse ponto, entretanto, não é levado em consideração pela Sintaxe Espacial⁷;
- 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 possuam.
- A representação de mãos de trânsito é extremamente difícil a partir de linhas axiais, no caso de análises de movimento de veículos. 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), tema deste trabalho. Ele será explicado com mais detalhes no item 4 – *Centralidade Espacial*.

2.1.4. Limitações dos modelos

Segundo WEGENER (1998), a estrutura de representação dos elementos espaciais dos modelos urbanos pode ser considerada arcaica. Em essência, nestes

⁷ Sobre isso, HILLIER et al (1993) argumentam que o movimento originado exclusivamente pela configuração pode ser chamado de “*Natural Movement*”, ou movimento natural. Os atratores, portanto, atuam como *multiplicadores* dos fluxos. Por essa razão, as correlações são feitas com base nos *logaritmos* dos fluxos verificados experimentalmente.

o espaço é representado por um conjunto de zonas discretas, sendo que estas, por sua vez, são representadas por registros (linhas) em um tabela, enquanto seus atributos são armazenados nas colunas que compõem a tabela. Dessa maneira, cada zona é tratada de forma homogênea, assumindo-se 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* nesses 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 dados, portanto, é 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. Nesse sentido, BATTY (1992a) 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, DB, 1973; BATTY, 1992a; 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 do 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.

2.2. Sistemas de Informações Geográficas

Existem inúmeras definições para o que seja um Sistema de Informações Geográficas. Isso se deve ao amplo espectro de utilizações abarcado por esse tipo de sistema, o que acaba gerando diversos enfoques (MAGUIRE, 1991).

O SIG pode ser definido como um sistema implementado em computador que tem como função adquirir, armazenar, manipular, analisar e visualizar dados do mundo real sob três aspectos (BURROUGH, 1988): a) **dados geográficos**, que são aqueles definidos espacialmente e representados normalmente por mapas; b) suas características, ou **atributos**, normalmente compostos por valores alfanuméricos armazenados em forma de tabelas; e c) as relações espaciais entre os elementos, chamadas “**relações topológicas**”. A possibilidade de vincular dados de naturezas diversas é uma das principais características dos SIGs que os diferenciam de outros tipos de sistemas de informações (Figura 2.1).

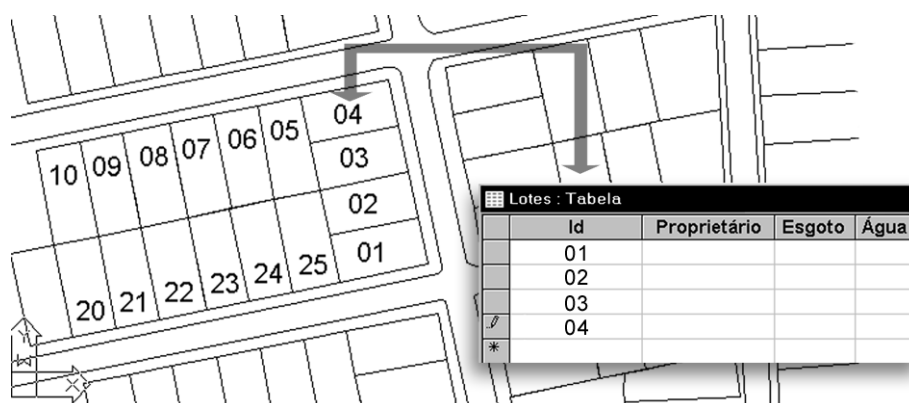


Figura 2.1– Vinculação dos elementos espaciais às tabelas de dados alfanuméricos em um SIG.
Fonte: SABOYA (2000)

2.2.1. Estruturas de dados

Existem dois tipos de estruturas de dados espaciais em sistemas de informações geográficas: estrutura *raster* e estrutura *vector*. Ambas baseiam as formas de representação dos objetos espaciais em três elementos – ponto, linha e polígono – mas condicionam maneiras diferentes de realizar a vinculação entre dados espaciais e não-espaciais.

A estrutura *raster* é composta por uma matriz de pontos (ou células) com dimensões constantes, representando cada um uma porção quadrada de área. Sua localização é determinada pelas coordenadas geográficas do centróide da célula. Dessa forma, cada ponto é definido por dois valores, representando as

coordenadas x e y, e mais um terceiro, que representa um atributo não-espacial associado àquela localização no espaço. Exemplos de atributos não-espaciais que podem ser representados numa matriz de pontos são o tipo de solo ou vegetação de um sítio, ou a quantidade de chuvas em um determinado período de tempo. A estrutura *raster* é a mais indicada para representar elementos de *variação contínua* no espaço.

A estrutura *vector* baseia-se em pares de coordenadas, que se combinam para compor as três formas de representação citadas acima. Assim, um par de coordenadas define um ponto. Uma cadeia de pares de coordenadas define uma linha. E uma cadeia de pares de coordenadas onde o primeiro e o último são coincidentes define um polígono. Neste caso a vinculação aos atributos acontece por meio de um identificador (*Id*) atribuído a cada elemento vetorial, correspondente ao campo-chave de uma tabela de atributos que contém outros campos. Assim, cada registro de uma tabela, contendo um identificador em um campo-chave, corresponde àquele elemento – ou elementos – espaciais que possuem o mesmo *Id*. A estrutura *vector* é a mais indicada para lidar com elementos *discretos*, assim como nos casos em que são necessárias análises refinadas de topologia de redes. A Figura 2.2 ilustra os dois tipos de estruturas de dados.

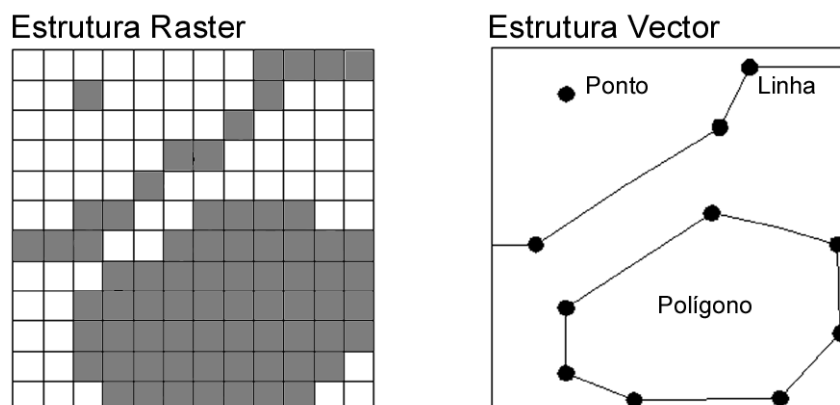


Figura 2.2 – Estruturas raster e vector de dados espaciais em um SIG. Adaptado de MAGUIRE & DANGERMOND (1991)

2.2.2. Funcionalidade do SIG

Os procedimentos realizados pelos SIGs podem ser classificados, segundo MAGUIRE & DANGERMOND (1991), em:

- a) **Captura, importação, validação e edição** – envolve as etapas necessárias à alimentação do sistema com dados digitais precisos e confiáveis. Os dados

podem ser adquiridos através da importação de dados em outros formatos, ou podem ser confeccionados especificamente para introdução no sistema, através de técnicas de aquisição como sensoriamento remoto, restituição aerofotogramétrica ou digitalização manual. Depois disso, os dados precisam ser analisados, e eventuais incoerências e imperfeições devem ser corrigidas.

- b) **Armazenamento e estruturação** – envolve o armazenamento dos dados de forma estruturada, de modo a possibilitar e facilitar a realização de análises. A forma como os dados são estruturados é crucial para o sistema, pois dela dependem os tipos de análises que poderão ser realizados.
- c) **Reestruturação, generalização e transformação** – a reestruturação envolve a transformação das estruturas dos dados, muitas vezes de *vector* para *raster* e vice-versa. A generalização refere-se aos processos de suavização de contornos e agregação de dados, para mudanças nas unidades de análise. Transformação envolve translação, rotação e escalonamento de dados geográficos, assim como transformações lineares e não-lineares em atributos alfanuméricos.
- d) **Consulta e análise** – Envolve as operações de: 1) Recuperação – operações básicas de seleção de informações baseadas em critérios espaciais ou não-espaciais; 2) Sobreposições – funcionam a partir da sobreposição vertical de *layers* de informações, com o intuito de realizar operações entre eles. É realizada de forma mais eficiente pelos SIGs baseados em estrutura *raster*, o que possibilita operações aritméticas e *booleanas* entre os valores das células posicionadas na mesma coordenada e pertencentes a *layers* diferentes. Por esta razão é muito utilizada em modelos numéricos de análises ambientais; 3) Vizinhança – avalia as características da área ao redor de uma localização específica; e 4) Conectividade – envolve principalmente análises de rede e, em menor grau, análises em três dimensões. A utilização mais comum das análises de redes é o cálculo do caminho mínimo, que pode levar em consideração não apenas as condições de conectividade entre as linhas ou suas dimensões, mas também os atributos associados a elas contidos em tabelas alfanuméricas, tais como velocidade do trecho, capacidade de fluxo, etc.
- e) **Apresentação** – consiste na apresentação dos resultados, seja em forma de mapas, gráficos, tabelas, listas, resumos ou relatórios estatísticos,.

2.2.3. Aplicações dos SIGs

Por ser uma ferramenta genérica, os SIGs são utilizados numa ampla gama de aplicações, com as mais diversas finalidades. Normalmente são aplicações construídas sobre softwares básicos através da incorporação de módulos específicos de análise ou através de personalização por programação.

Um exemplo é na análise de rotas. Nessa categoria se incluem as análises de linhas de transportes coletivo, coleta de lixo e transporte de cargas perigosas. Normalmente apresentam os principais elementos espaciais organizados em redes e poucos atributos relacionados a esses elementos, e concentram grande parte dos esforços nas análises topológicas entre os trechos da rede, notadamente com a utilização de algoritmos de caminho mínimo.

Recursos sofisticados podem ser incorporados às análises, tais como velocidade máxima e níveis de impedância dos trechos ou dos cruzamentos, limitações de sentidos a serem percorridos, etc. O principal resultado dessas análises são as rotas consideradas “ótimas”, que podem ser as mais curtas entre dois pontos importantes (no caso de uma emergência a ser atendida pelo corpo de bombeiros, por exemplo) ou a melhor rota para atender a um número determinado de pontos (como no caso do carteiro que precisa entregar as cartas em certo número de residências).

Outro exemplo de aplicação em SIG são os cadastros municipais de propriedades. Nesta aplicação, as principais funções se referem à busca e consulta de propriedades, recuperando informações sobre o proprietário, a legislação incidente ou o andamento de processos de compra, venda e construção. Adicionalmente, é possível combinar análises espaciais do tipo *buffer* para selecionar as propriedades que estão dentro de uma determinada área e enviar correspondências aos seus proprietários automaticamente.

Entretanto, é nas análises ambientais que os SIGs têm se mostrado mais versáteis nas possibilidades analíticas. Conforme já foi mencionado, a representação raster se presta bem à representação de fenômenos de variação contínua no espaço, característicos dos estudos ambientais.

Dessa forma, cruzando informações de uso do solo, cobertura vegetal e hidrografia, por exemplo, pode-se ter um mapa de espaços mais adequados aos depósitos de lixo. Análises de *buffer* podem garantir o afastamento adequado dos cursos d'água, enquanto análises booleanas simples (pode / não pode) combinando as classificações de vegetação e uso do solo podem eliminar do universo de

possibilidades aquelas área que sofreriam impacto negativo com a presença do lixo.

Existe também a possibilidade de incorporar valores numéricos às análises, tais como declividade, altitude ou índice pluviométrico. Na verdade, as possibilidades de cruzamentos e de realização de análises são infinitas, dependendo apenas da capacidade do analista de descrever fenômenos e relações de uma forma que estes possam ser representados nos SIGs.

2.2.4. Limitações dos SIGs

A disseminação dos SIG por diversos setores da sociedade, e para as mais variadas finalidades, juntamente com a ênfase dada na sua capacidade inovadora de armazenamento, manipulação e visualização de dados espaciais e seus respectivos atributos, tem elevado os SIGs à categoria de grande ferramenta capaz de resolver a maioria dos problemas de planejamento. No entanto, isso tem mascarado algumas limitações que reduzem a aplicabilidade desse tipo de sistema em problemas de planejamento urbano.

Segundo WEGENER (1998), o SIG ainda não está completamente difundido pelos departamentos de planejamento e, mesmo onde ele está implementado, seu uso se restringe basicamente a atividades de mapeamento. Este argumento é defendido também por outros autores, entre eles BATTY (1992a), HARRIS & BATTY (1992) e SUI (1998). HUXHOLD (apud HARRIS & BATTY, 1992)⁸ afirma ainda que o SIG é utilizado apenas como uma ferramenta eficiente de armazenamento e visualização de dados espaciais.

Isso acontece porque as capacidades analíticas embutidas nos sistemas comerciais de informações geográficas são genéricas, e não se baseiam na lógica específica de funcionamento do sistema adotado como objeto de estudo (HARRIS & BATTY, 1992). Dessa maneira, relações existentes no fenômeno urbano que não possam ser representadas através de análises de *buffer*, cálculo de distâncias, interseções, etc., (como as comentadas no item anterior) não são facilmente realizadas pelos SIG.

⁸ HUXHOLD, WE. An introduction to urban geographic information systems. New York: Oxford University Press, 1991. Apud HARRIS, B; BATTY, M. Locational models, geographic information, and planning support systems. Technical Paper 92-1, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1992.

Um exemplo desse 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 a acessibilidade. Isso mostra a diferença existente entre as possibilidades de análise oferecidas pelo SIG, orientadas à manipulação de dados espaciais e a relações diretas entre eles, e o modo como essas relações realmente acontecem. O grau de complexidade existente no mundo real é muito maior do que as relações de continuidade, contigüidade e sobreposição oferecidas pelo SIG, e necessariamente precisam de uma interpretação teórica e de longas seqüências de análises para subsidiar avaliações de alternativas.

É importante ressaltar que as críticas feitas por esses autores não se referem ao SIG enquanto ferramenta genérica, e sim especificamente aos sistemas efetivamente implementados quando confrontados às necessidades impostas pelo processo de planejamento urbano. Isso inclui os modelos de dados adotados por esses sistemas, ou seja, os elementos do mundo real que estão sendo representados e principalmente seus relacionamentos, o que condiciona os tipos de análises possíveis.

Nesse sentido, os SIGs, da forma como vêm sendo utilizados atualmente, mostram-se inaptos a trabalhar com dados relativos a predições (HARRIS & BATTY, 1992), o que seria de grande utilidade para a prática do planejamento. Assim, análise de impactos imediatos podem ser realizadas, mas as conseqüências desses impactos nas outras variáveis do sistema, ao longo do tempo, não são facilmente avaliadas. Para que isso fosse possível eles deveriam estar vinculados de alguma forma a modelos preditivos urbanos (WEGENER, 1994).

Capítulo 3. Vinculação de Modelos Urbanos e Sistemas de Informações Geográficas

Concluimos do que foi exposto até aqui que muitas das limitações de uma ferramenta são exatamente os pontos fortes da outra, o que explica o grande interesse existente na década de 90 em unir essas duas ferramentas. Esse interesse é ainda reforçado pelo fato de que até hoje nenhuma delas conseguiu modificar o processo de planejamento de forma tão incisiva quanto se esperava.

Já em 1990, YEH & BATTY (1990, p.371) defendiam a importância dessa tarefa: *“De fato, um dos maiores pontos a serem pesquisados em SIG é o desenvolvimento de interfaces para outros métodos estabelecidos e/ou o desenvolvimento de funcionalidade adicional dentro do SIG”*. WEGENER (1998) chama a atenção para a capacidade de personalização de seqüências de análises através das linguagens embutidas (macros) nos softwares, e acrescenta: *“Entretanto, provavelmente a inovação com maiores conseqüências é que o SIG pode ser vinculado a modelos analíticos ou preditivos projetados pelo usuário, e este pode ser o impacto mais importante do SIG no planejamento no futuro”* (p.49).

Analisando o que foi discutido até este ponto, os modelos urbanos podem ser considerados mais úteis ao planejamento do que o SIG, da forma como ambos vêm sendo utilizados atualmente (HARRIS & BATTY, 1992). Isso acontece porque,

apesar da estrutura espacial arcaica apresentada pelos modelos, seu funcionamento baseia-se na lógica específica do sistema estudado, e é fortemente direcionado para a análise. Partindo desse pressuposto, e tomando os modelos como ponto de partida, as vantagens da união desses dois elementos, descritas a seguir, partem de uma possível incorporação das capacidades dos SIGs aos modelos urbanos.

3.1. Vantagens da vinculação Modelos Urbanos – SIG

3.1.1. Aproveitamento de dados existentes em formatos diversos

Um dos grandes problemas na construção de análises urbanas é a base de dados necessária. Isso é verdade tanto para os modelos urbanos quanto para os SIGs (BATTY, 1992a). Estes últimos, entretanto, oferecem maior facilidade de aquisição e manipulação de dados provenientes de fontes diversas, em formatos diferentes.

A disseminação dos SIGs, ainda que em grande medida destinada apenas à confecção de mapas, apresenta ao menos uma grande vantagem: os dados adquiridos e confeccionados por setores diversos do planejamento podem ser intercambiados através desse tipo de sistema de informações. Isso tende a se tornar ainda mais fácil com a intenção existente atualmente de que seja criado um padrão de dados geográficos a ser adotado por todos os softwares (HEIKKILA, 1998; OPENGIS CONSORTIUM TECHNICAL COMMITTEE, 1998), eliminando a necessidade de conversão de formatos de arquivos, sempre problemática.

HARRIS (1989) argumenta que o próprio mapa da cidade é uma base de dados. Incorporando a possibilidade de aproveitar dados geográficos já existentes, assim como as facilidades oferecidas pelo módulo de gerenciamento de bancos de dados do SIG, os modelos expandem sua capacidade de se valer de dados já produzidos, reduzindo a duplicação de esforços.

3.1.2. Geração de dados de entrada a partir de dados brutos

A capacidade de manipulação de dados espaciais oferecida pelo SIG oferece uma possibilidade especialmente promissora aos modelos. As relações topológicas entre elementos espaciais podem ser utilizadas como forma de gerar novos *inputs* para as análises, até então impossíveis ou inviáveis (COWEN & SHIRLEY, 1991). Portanto, além de ser possível obter dados espaciais provenientes de outras fontes, o SIG oferece a possibilidade de transformar esses dados em dados numéricos a serem inseridos nos modelos. Através das capacidades de manipulação de dados

espaciais dos SIGs, é possível converter ou reformatar informações descritivas (como as contidas em cadastros municipais) de modo que sejam utilizadas em modelos exploratórios, preditivos e prescritivos.

Nesse sentido, é interessante ressaltar a relevância da base de dados cadastrais como provedora de informações a modelos urbanos. BLACHUT et al (1980) descrevem as três funções básicas de um cadastro urbano: (a) função fiscal, que se refere à identificação dos bens imóveis e de seus proprietários com a finalidade de regulamentar o recolhimento de impostos; (b) função jurídica, que se refere à determinação dos direitos de propriedade; e (c) função de planejamento. Esta última, segundo os autores, “*está deslocando-se rapidamente para o ponto central das operações cadastrais, e como resultado disso o cadastro está adquirindo uma certa característica multifinalitária*” (BLACHUT et al, 1980, p.351)

Isso, na verdade, tem outra conseqüência importante: os modelos podem ter seu funcionamento interno melhorado, uma vez que o espaço pode ser melhor representado, e incorporar relações tais como proximidade, coincidência e contigüidade (GEERTMAN & VAN ECK, 1995).

Outra potencialidade é utilizar os recursos de interpolação e *overlay* presentes nos SIGs para gerar, por exemplo, dados sobre a declividade ou elevação média de zonas (GEERTMAN & VAN ECK, 1995). Esse tipo de informação é extremamente difícil de ser obtida ou gerada com os modelos urbanos tradicionais.

3.1.3. Desagregação dos dados

Segundo WEGENER (1998), é cada vez maior a necessidade de representações contínuas do espaço, em contraposição à representação discreta, principalmente em função da incorporação de variáveis ambientais. Em análises desse tipo são utilizadas variáveis tais como dispersão aérea, propagação de ruídos e fluxos hidrológicos. O que importa, portanto, não são apenas as características dos elementos espaciais, mas também suas características configuracionais, relativas à localização com um nível apurado de detalhe. A estrutura *raster* de armazenamento de dados espaciais se presta bem a esse tipo de análise.

O SIG se especializa em desagregação, enquanto a maioria dos outros processos se especializa em agregação (HARRIS & BATTY, 1992). Isso pode ser útil em casos onde a informação está disponível de forma desagregada mas precisa ser agregada para servir como *input* a um modelo. Além dos atributos

alfanuméricos, também características espaciais, como a distribuição de um certo elemento geográfico, podem ser usadas como critério para a agregação. Através do cadastro de imóveis, por exemplo, é possível agregar por zonas as atividades comerciais, habitacionais, etc., atribuindo a cada uma delas a quantidade de cada tipo de atividade, num modelo gravitacional como o descrito no item 2.1.1 – *Modelos Urbanos: definição conceitual*. E isso pode ser realizado de forma automática, e o que é mais importante: com precisão e facilidade de atualizações periódicas. Nesse caso, os dois itens anteriores se somam a este, visto que dados em outros formatos são agregados segundo critérios espaciais (portanto fora da capacidade dos sistemas tradicionais de informações) para gerar variáveis de entrada para as análises.

3.1.4. Interatividade no processo

DOUGLAS LEE (1973, p.167), em seu *Requiem for Large-Scale Models*, critica o funcionamento dos modelos, segundo ele uma “caixa preta” onde “o que entra e o que sai são perfeitamente conhecidos, mas o processo pelo qual um [o input] é transformado no outro [o resultado] é um mistério”. Acontecendo dessa forma, o poder de persuasão junto aos tomadores de decisão fica prejudicado, uma vez que estes tendem a resistir a idéias que vão contra sua intuição. Além disso, a própria credibilidade do modelo entre os demais setores do planejamento se enfraquece, na medida em que seus mecanismos e postulados teóricos não ficam claros.

Nesse sentido, HARRIS (1989) e SUI (1998) defendem a utilização do SIG como uma forma de tornar os modelos mais “amigáveis” ao usuário, de forma a comunicar os resultados das operações para um grupo maior de pessoas. BATTY (1992a) trata esse ponto de forma mais aprofundada. Segundo ele, os computadores estão evoluindo na direção de interfaces gráficas, no que diz respeito às suas interações com o usuário. Dessa forma, estas interfaces podem atuar como mediadoras dos contatos do usuário com os dados, sejam estes em forma de números, textos ou gráficos. Isso pode aumentar o entendimento do funcionamento do modelo, através de diagramas e animações gráficas.

Esse argumento de BATTY parece estar se concretizando, na medida em que é possível perceber que diversos *softwares* avançaram a interface gráfica não apenas nas suas atividades corriqueiras, mas também através da criação de pequenos módulos, chamados de assistentes (ou *wizards*), destinados a guiar o usuário de forma intuitiva em algumas operações-chave. No caso específico de

softwares de SIG, por exemplo, existem pacotes contendo *wizards* que auxiliam passo-a-passo a criação de mapas temáticos e a construção de consultas aos bancos de dados. Caso isso seja alcançado também para operações analíticas mais complexas e refinadas, um passo importante pode ser dado para uma penetração maior dos modelos urbanos na prática do planejamento.

3.1.5. Visualização dos resultados

Os resultados dos modelos urbanos seguem a estrutura de representação espacial adotada por eles, ou seja, tabelas contendo valores numéricos referentes às unidades espaciais adotadas. Caso seja necessário confeccionar mapas a partir desses valores, eles precisam ser submetidos a um processo de classificação, atribuindo cores ou símbolos a valores ou faixas de valores, e realizados manualmente (ainda que com a ajuda do computador, os elementos teriam que ser coloridos um a um). Com a ajuda de um SIG, este processo torna-se quase imediato. A geração de mapas temáticos simples é uma tarefa corriqueira nesse tipo de sistema.

No entanto, o potencial do SIG na visualização dos resultados das análises vai muito além disso, porque podemos detectar informações implícitas nos valores, cuja depuração por processos manuais seria extremamente difícil, ou mesmo impossível. Esse processo é chamado de *análise exploratória de dados*, e compreende a busca por padrões reconhecíveis e relações ainda não identificadas entre as variáveis.

A capacidade de manipulação de dados espaciais também pode ser usada para concentrar a atenção apenas nos atributos essenciais a uma determinada análise. Podemos visualizar os índices de crescimento apenas das zonas que obedecerem a alguma espécie de condicionante espacial, como distância de cursos d'água, por exemplo.

Além disso, os SIGs oferecem outros recursos na visualização, além da classificação por cores. Podem ser usados *pie-charts*, representações do tipo *dot-density*, símbolos criados pelo usuário com tamanhos proporcionais aos atributos numéricos, etc.

Segundo HARRIS (1989, p.86), "*muitos planejadores são visualmente orientados, e as informações mais úteis envolvem distribuição espacial e suas inter-relações de contigüidade, coincidência e proximidade de diferentes atividades, eventos e condições*". O atendimento a essa necessidade talvez seja um dos principais benefícios da união entre SIGs e modelos urbanos .

3.1.6. Avanços na teoria embutida nos modelos

Outra vantagem advinda da integração entre modelos urbanos e SIGs é a possibilidade de fazer avançar a teoria embutida nos modelos. Isso é possível porque os modelos urbanos, com suas capacidades limitadas de representação espacial, acabam restringindo o número de possibilidades a serem testadas. Em outras palavras, nem todas as hipóteses levantadas sobre o comportamento de algumas variáveis, principalmente aquelas com forte ênfase nos aspectos espaciais, podem ser testadas utilizando-se apenas os modelos urbanos. Os SIGs com suas formas mais refinadas de representação espacial, poderiam ser utilizados para operacionalizar novas teorias acerca dos sistemas urbanos.

Esse é o argumento que sustenta a hipótese 2 deste trabalho. Conforme será demonstrado mais adiante, o Modelo de Centralidade apresenta algumas limitações quanto à representação espacial, e a incorporação deste ao SIG trará importantes contribuições à teoria que sustenta o conceito de Centralidade.

3.2. Classificação dos tipos de vinculação

A união entre modelos urbanos e SIG pode ser alcançada de várias maneiras (Figura 3.1). As mais comuns são chamadas de *vinculação fraca* e *vinculação forte* (BATTY, 1992a; GEERTMAN & VAN ECK, 1995; SUI, 1998). Mas existem também a *incorporação do SIG dentro do modelo* e a *incorporação do modelo dentro do SIG* (SUI, 1998). Estas últimas depositam o esforço de produção da união nos fabricantes de *softwares*, enquanto as primeiras depositam o esforço nos usuários. A seguir, uma breve descrição dos tipos de união e das vantagens e desvantagens de cada uma.

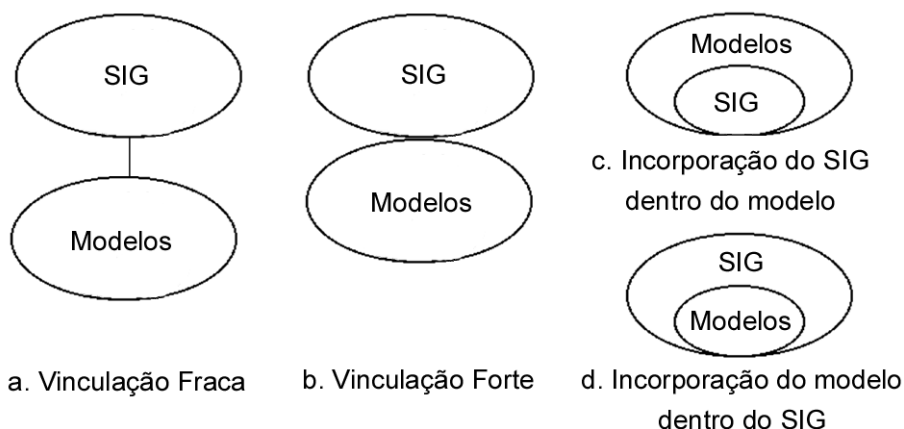


Figura 3.1 – Integrando SIG e modelagem urbana: práticas atuais (adaptado de SUI, 1998)

A **vinculação fraca** consiste em realizar a união entre modelos urbanos e SIG através da conversão de arquivos, evitando esforços excessivos em programação, gerando apenas a necessidade de possibilitar ao modelo exportar seus arquivos em um dos formatos de intercâmbio dos pacotes comerciais de SIG. Neste caso, o SIG é utilizado para armazenar e manipular dados, e para gerar novos dados de entrada para os modelos. Esses dados são exportados para um arquivo que possa ser lido pelo modelo, onde então serão manipulados de acordo com a sua lógica interna. Posteriormente, os resultados obtidos serão novamente exportados e lidos no SIG, que se encarregará de mostrá-los.

Esse método apresenta algumas deficiências caso seja necessário realizar diversas análises com diferentes dados de entrada. Além disso, o processo de conversão de arquivos pode ser tedioso e muito sujeito a erros (GEERTMAN & VAN ECK, 1995). Outra desvantagem desse tipo de união é a perda do caráter interativo das análises convencionais em SIG. No entanto, pela simplicidade do processo, essa talvez seja a maneira mais realista de alcançar essa união (SUI, 1998).

A **vinculação forte** utiliza técnicas de programação para conferir aos SIGs capacidades analíticas avançadas. A programação é feita via “macros”, que são conjuntos de procedimentos escritos numa linguagem própria embutida no SIG.

Neste caso a vinculação é invisível ao usuário, uma vez que a interface para todas as operações é única. Esta é personalizada para oferecer comandos que acessam rotinas criadas para realizar as operações analíticas dos modelos. Essas rotinas podem tanto estar dentro do arquivo, armazenadas como macros, quanto em arquivos separados, funcionando como módulos que são carregados apenas quando necessário.

Essa é, a princípio, a forma “ótima” de vinculação entre modelos e SIG. Ela depende, entretanto, de uma boa interface entre o usuário e as estruturas de dados utilizadas por eles (SUI, 1998). O acesso aos dados espaciais e o preparo para a análise devem ser cuidadosamente pensados, não apenas na sua lógica de funcionamento, mas também na relação com o usuário.

A **incorporação do SIG dentro do modelo** consiste em conferir aos modelos algumas das capacidades dos SIGs, principalmente aquelas relacionadas à visualização de dados em forma de mapas (SUI, 1998). Como vantagem, existe o fato de que as operações não precisam levar em conta as estruturas de dados dos

pacotes de SIG já existentes, possibilitando a criação de modelos potentes e que incorporam os últimos avanços teóricos nesta área. Entretanto, as capacidades de visualização e de manipulação de banco de dados não se comparam àquelas oferecidas pelos pacotes comerciais de SIG, e os esforços em programação tendem a ser redundantes (SUI, 1998), pois é preciso recriar procedimentos largamente utilizados pelos SIGs em aplicações normalmente bastante especializadas.

A **incorporação do modelo dentro do SIG** é similar à vinculação forte, com a diferença de que aqui a união é produzida desde o começo. Existem alguns exemplos já bastante difundidos desse tipo de união, como o TransCAD⁹ e os módulos *Spatial Analyst* e *3D Analyst*, do *Arc View*¹⁰. Apesar de tirar proveito de toda a funcionalidade do SIG, as técnicas de modelagem são geralmente simplistas, e a calibração deve ser realizada fora do *software*.

3.3. Vinculações já realizadas

3.3.1. “Interactive Land Use and Transportation Modeling” – BATTY (1992a)

Michael Batty propõe nesse estudo uma interface visual aos modelos de transportes e uso do solo que seja capaz de possibilitar ao operador interagir de forma mais fácil e amigável com as diversas etapas de construção e aplicação de um modelo urbano. Apesar de não ser, segundo o próprio autor, um SIG propriamente dito, ele apresenta algumas de suas características.

Através de janelas, o usuário pode percorrer as etapas de construção de um modelo, definidas por BATTY como exploração dos dados, calibração do modelo, predição e prescrição. No protótipo apresentado neste artigo, esta última etapa não foi explorada. O fluxograma contendo essas etapas fica visível em uma janela própria, orientando o usuário sobre qual a fase em que este se encontra, e qual a relação desta com as demais etapas. Cada uma delas tem o apoio de janelas de visualização dos resultados, que permitem operações como *zoom* ou comparação entre resultados de operações distintas.

Esse protótipo representa apenas o início de uma pesquisa sobre a interação entre modelos e usuários através de recursos comuns aos SIGs. Ele coloca

⁹ CALIPER TransCAD. Newton, MA: CALIPER Corporation.

¹⁰ ESRI. ArcView GIS 3.2. [S.l.]: Environmental Systems Research Institute, Inc., 1999.

bastante ênfase na interatividade do processo, com uma clara intenção de facilitar a aceitação de modelos urbanos nos órgãos de planejamento.

3.3.2. “California Urban Futures Model II” – LANDIS & ZHANG (1998)

LANDIS & ZHANG (1998) levantam dois grandes avanços recentes na construção de modelos urbanos mais eficientes: os avanços teóricos, entre eles a incorporação da teoria da *random utility*, e a crescente disponibilidade de dados em micro escala, através da tecnologia dos Sistemas de Informações Geográficas. A primeira versão do *California Urban Futures Model* (CUFM) foi um dos primeiros modelos a utilizar essa tecnologia (WEGENER, 1994). Isto permitiu representar o espaço urbano como um conjunto de sítios e localizações individuais, ao invés de zonas agregadas (LANDIS & ZHANG, 1998). Outra vantagem é poder detectar padrões “reais” de mudança de uso do solo, sem depender de mudanças perceptíveis nas zonas.

A primeira versão do CUFM utilizava uma estrutura vetorial para representar o espaço. A segunda versão utiliza um *grid* de 100m x 100m (1 hectare), valendo-se para isso de uma série de mapas disponíveis que representam, entre outras coisas, usos do solo em 1985 e 1995, declividades, estradas principais e terrenos alagadiços. Com a ajuda do SIG foi possível dispor de uma série de dados já confeccionados por diversos órgãos públicos.

Todas as operações são realizadas sobre essa célula de 1 hectare, tendo como base o ponto de vista do agente imobiliário. Dessa forma, para que uma área seja (re)desenvolvida, é preciso que a rentabilidade gerada pelo novo uso seja maior que a rentabilidade do uso antigo. O modelo permite, assim, que exista competição por localizações entre diferentes usos. Através de operações probabilísticas sobre as rentabilidades atuais e esperadas, é calculada a probabilidade de que uma determinada área tenha seu uso alterado. O modelo é *path-dependent*, o que significa que a ordem das alterações afeta o resultado final do modelo. Isso reforça ainda mais a necessidade de integração com o SIG, principalmente no que diz respeito à sua capacidade de visualização (conforme levantado por WEBSTER, 1994).

A representação *raster* do espaço propiciou algumas melhorias no modelo, mas também tem algumas desvantagens. A principal é que a célula não é uma entidade identificável do mundo real. Elas não são “regulamentáveis” ou negociáveis e, portanto, não são o objeto de estudo. O autor sugere o lote como

unidade básica de análise. No entanto, devido à falta de um mapeamento já disponível dessas unidades, foi necessário recorrer à divisão por células.

Com a tendência à penetração cada vez maior dos SIGs nos institutos de planejamento de gestão urbanos, espera-se que cadastros detalhados e atualizados da composição da cidade sejam construídos e mantidos. Com isso, dentro de algum tempo (contando também com o aumento na capacidade dos computadores) será possível utilizar os lotes como unidade básica tanto para as análises quanto para a representação do espaço, o que sugere um retorno à estrutura vetorial de representação para esse tipo de análise.

3.3.3. *“Comprehensive Regional Modeling for Long-range Planning” (JOHNSTON & de la BARRA, 1998)*

Nesse trabalho, os autores avançam na utilização de modelos diferentes em uma análise abrangente, utilizando os dados obtidos como resultado em um modelo para alimentar as análises realizadas pelo outro. O primeiro modelo, TRANUS, realiza a análise segundo uma agregação por zonas. Essas zonas estão conectadas por ligações representando vários modos de transporte (rodovias, ferrovias, etc.). Através da alteração da demanda por bens e serviços básicos, o modelo aloca primeiramente o emprego básico, depois a população, em seguida o emprego não básico e a população novamente, numa série de iterações que tendem ao equilíbrio.

Os resultados são então introduzidos num modelo mais desagregado, uma adaptação do CUFM (que utiliza capacidades dos SIGs, conforme apresentado acima). Através de relações simples de acessibilidade a vias e serviços, a taxa de lucro dos empreendedores é calculada. A partir disso são alocados, respectivamente, usos industriais, usos comerciais de alta densidade, usos residenciais de alta densidade, usos comerciais de baixa densidade, usos residenciais de baixa densidade e usos residenciais de densidade muito baixa.

Utilizando o SIG, portanto, 58 zonas foram desagregadas em 272.000 polígonos, produzindo resultados com resolução muito maior do que a suportada inicialmente pelo modelo.

Capítulo 4. Centralidade Espacial

4.1. O Modelo de Centralidade Espacial

O Modelo de Centralidade Espacial, desenvolvido por KRAFTA (1994), foi adaptado de estudos nas áreas de comunicações e sociologia. FREEMAN (1977) propõe um conjunto de medidas de centralidade em redes de comunicação baseadas na capacidade de um ponto em fazer parte dos menores caminhos entre outros pares de pontos e, portanto, de exercer algum tipo de controle na comunicação entre eles: *“Outros membros da rede seriam considerados “influenciáveis” por pessoas localizadas nesses espaços centrais, que poderiam influenciar o grupo monopolizando informações ou distorcendo-a na transmissão”* (FREEMAN, 1977, p. 35).

Entretanto, Freeman enfatiza também que esses espaços centrais têm o potencial de coordenar as atividades dos outros pontos da rede.

Para adaptar esses conceitos aos sistemas urbanos, KRAFTA adotou dois elementos essenciais: **formas construídas e espaços públicos abertos**.

As formas construídas são as edificações presentes no espaço urbano. Podem ser tanto uma residência unifamiliar quanto um grande edifício comercial com muitos pavimentos. Sua distribuição gera um campo de interação potencial,

que KRAFTA chamou de *tensões*. Essas tensões variam em forma e intensidade de acordo com a combinação de alguns dos seus atributos, tais como o tipo de atividade que abrigam e sua escala (que pode ser medida em número de pavimentos, quantidade de metros quadrados e/ou número de economias).

Já os espaços públicos são as ruas, praças e parques, entendidos como espaços possibilitadores dos fluxos humanos entre edificações.

O conceito de Centralidade Espacial parte do princípio de que toda edificação pode ser alcançada a partir de qualquer outra edificação, através do sistema de espaços públicos. Nesse sistema, os espaços desempenham papéis diferenciados em relação à interação que proporcionam entre edificações, tendo em vista a heterogeneidade das características de conectividade do traçado e de distribuição das edificações. Assim, alguns espaços podem ser mais centrais que outros. Em outras palavras, a Centralidade Urbana pode ser definida como “*uma propriedade dos espaços públicos que consiste na capacidade de fazer parte dos menores caminhos entre todos os pares de forma construída em um sistema urbano.*” (KRAFTA, 1994, p. 70).

A Figura 4.1 a seguir ilustra essa definição. Se imaginarmos três pares de espaços dentro de um sistema, como nas Figuras 4.1a, 4.1b e 4.1c, percebemos que, para cada par de espaços, haverá um ou mais caminhos mínimos interligando-os (na figura, por motivo de simplificação, cada par de espaço tem apenas 1 caminho mínimo representado). Se sobrepujarmos os três caminhos mínimos (Figura 4.1d), veremos que alguns trechos são mais utilizados que outros, fazendo parte de um maior número de caminhos mínimos. Esses espaços são ditos mais “centrais”. Realizando esse procedimento para todos os pares de origem e destino de um sistema, teremos os trechos mais centrais do sistema como um todo.

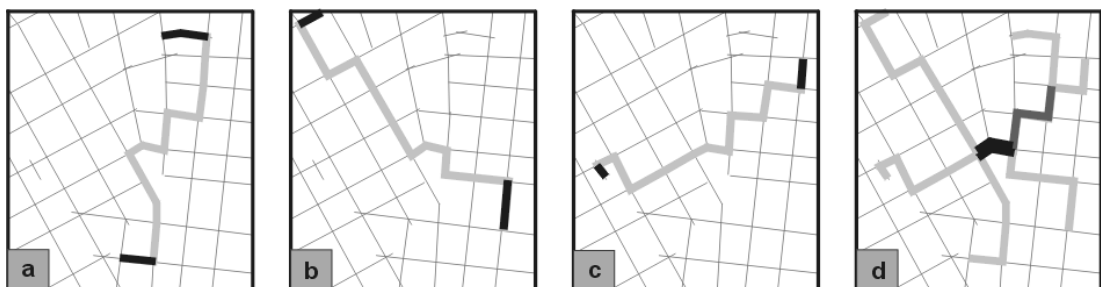


Figura 4.1 – Conceito de Centralidade

Para representar o estoque de edificações, atribuímos um ponderador a cada elemento do par de origem e destino. Esse ponderador é estimado em função dos atributos das edificações que se abrem para ele. O produto dos “pesos” dos dois elementos é então distribuído por todos os segmentos que compõem o(s) caminho(s) mínimo(s). Fazendo uma analogia gráfica, seria como representar os caminhos mínimos das Figuras 4.1a, 4.1b e 4.1c com espessuras proporcionais aos pesos dos espaços de origem e destino. Essas espessuras, então, acabariam por influenciar a espessura final (ou seja, a Centralidade) de cada espaço na Figura 4.1d. Os procedimentos matemáticos para o cálculo da Centralidade estão mais claramente explicitados no item *A medida de Centralidade*.

Em síntese, um espaço pode ser considerado de alta centralidade em um sistema urbano se ele for capaz de realizar, de forma mais intensa que outros espaços, os seguintes papéis (KRAFTA, 1991):

- a. ser um pólo gerador de tensões que serão irradiadas a outras porções do sistema;
- b. ser um destino para as tensões geradas por outros pólos do sistema; e
- c. fazer parte dos caminhos mínimos que unem outros pares de origem/destino de tensões.

4.2. A importância da Centralidade

O Modelo de Centralidade pode ser considerado um modelo exploratório, visto que, partir de uma dada situação (representando a situação real, ou atual), é possível testar alternativas modificando as suas variáveis. Assim, modificando a configuração dos espaços públicos e/ou modificando a distribuição do estoque de edificações do sistema, é possível observar como os índices de Centralidade se reorganizam. Em função da necessidade de alocar um grande equipamento, por exemplo, podemos testar diversas localizações e formas de inserção na malha existente. O mesmo tipo de análise pode ser efetuado a respeito de novas possibilidades de traçado. Vias podem ser abertas ou fechadas, desviadas ou conectadas, com vistas a equalizar movimentos urbanos, ou criar vantagens locais em determinadas áreas. Isso contribui para um maior entendimento do sistema, e das consequências de certas decisões. Os meios pelos quais esse “entendimento” pode ser alcançado estão descritos a seguir.

O estudo da Centralidade, em essência, procura estabelecer uma medida da **diferenciação espacial** entre partes de um sistema urbano. Essa diferenciação

implica em facilidades e dificuldades impostas às ações sucessivas de transformação urbana (KRAFTA, 1991). Portanto, é necessário encarar a medida de Centralidade de um ponto de vista dinâmico. “*Centralidade, nesse sentido, deve ser vista não apenas como uma descrição de um estado de uma certa morfologia, mas também como uma força, um vetor em direção à transformação*”. (KRAFTA, 1991, p. 43).

Nesse sentido, KRAFTA ainda acrescenta: “*o estado morfológico de uma área, por não estar em equilíbrio, seria capaz de orientar sua própria transformação, fazendo com que certas modificações fossem mais prováveis que outras*” (KRAFTA, 1991, p. 44).

A interpretação desse potencial de mudança, entretanto, não é direta. Estudos foram realizados nesse sentido, onde algumas variáveis importantes dos sistemas urbanos foram correlacionadas com sucesso com medidas de Centralidade.

KRAFTA (1994) realizou testes em Porto Alegre – RS, avaliando variáveis tais como localização das atividades, movimento de pedestres e permeabilidade entre público e privado. Alguns dos resultados estão listados na Tabela 4.1 a seguir. As letras A, B, C e D referem-se aos grafos resultantes das combinações entre duas formas de representar os espaços públicos (linhas axiais e trechos de logradouros) e edificações (constituições e unidades de forma construída). Os grafos C e D, que obtiveram melhores resultados, são composto por linhas axiais.

Tabela 4.1 – Correlações a partir dos resultados do Modelo de Centralidade.

Atividade	C_A	C_B	C_C	C_D
<i>(a) “Within-place”</i>				
Serviços	0.018	0.011	0.532	0.539
Comércio	0.012	0.212	0.782	0.863
Residências	0.108	0.112	0.750	0.758
<i>(b) “Between-place”</i>				
Movimento de pedestres	0.272	0.314	0.920	0.905
Permeabilidade	0.148	0.227	0.869	0.911

Fonte: KRAFTA (1994)

Como podemos perceber, os resultados foram bastante satisfatórios, principalmente com relação ao movimento de pedestres e à permeabilidade.

Quanto ao primeiro, os resultados foram superiores aos estudos de HILLIER et al (1993), onde as correlações obtidas foram da ordem de 0,542¹¹.

BORGES & KRAFTA (1998) realizaram estudos sobre a influência dos níveis de Centralidade no movimento de veículos, adotando como estudo de caso a cidade de Bento Gonçalves. Os resultados mostraram uma correlação de 0,706, calculada com índices da Centralidade Real (ponderada pelas atividades, conforme será discutido no item *Medidas possíveis*), sendo considerada satisfatória pelos autores.

SPINELLI & KRAFTA (1998) estudaram a influência da Centralidade no valor do solo urbano também na cidade de Bento Gonçalves. As correlações encontradas não foram satisfatórias: 0,5908 para Centralidade Real e 0,6610 para uma medida combinada entre Centralidade Real e um Fator Local, representando as amenidades e benfeitorias locais (presença de pavimentação, iluminação pública, etc.). Os valores foram correlacionados ao valor conhecido do solo, obtido do Cadastro imobiliário – Exatonia Estadual / Bento Gonçalves.

Os autores atribuíram as baixas correlações a dois fatores principais: em primeiro lugar, à existência de variáveis difíceis de serem quantificadas, tais como mudanças no nível socioeconômico de determinada localidade urbana. Em segundo lugar, ao modo como as variáveis foram agregadas no modelo. Em relação à área dos lotes, por exemplo, os autores adotaram o critério de estimar a média das áreas dos lotes pertencentes a cada unidade espacial, no caso, a linha axial. Isto criou um grau de generalização das informações que provavelmente influenciou nos resultados, visto que ao longo de uma linha axial pode existir uma grande heterogeneidade nas dimensões de lotes.

Nesse sentido, outro aspecto relativo às linhas axiais, não citado pelos autores, merece ser ressaltado: muitas vezes elas podem ser demasiadamente extensas, o que acaba criando generalizações em outros tipos de informação, como por exemplo no próprio Fator Local. Linhas axiais longas normalmente apresentam diferenças significativas em termos de infra-estrutura existente e índices de aproveitamento dos lotes ao longo do seu percurso, o que causa perda na resolução dos resultados.

¹¹ $r^2=0,542$, obtida a partir da correlação entre índices de integração para 249 linhas axiais de Londres, e o logaritmo dos seus respectivos tráfegos de pedestres.

BEVILACQUA (1994) estudou a influência da implantação do campus da Universidade Federal de Santa Maria, utilizando medidas de Centralidade para detectar tendências de crescimento e densificação, assim como os espaços públicos mais importantes na estruturação do espaço da cidade. Para isso, realizaram uma análise da evolução histórica, compreendendo os períodos de 1946, 1967, 1978 e 1993, assim como uma projeção para o ano de 2000. De modo geral, as tendências observadas em cada momento se confirmaram nos estados seguintes do sistema. A partir dos resultados de Centralidade foi possível, portanto, antecipar os locais mais prováveis de sofrerem crescimento e/ou densificação.

Observando os resultados obtidos em todos esses estudos, torna-se mais claro o significado do termo “diferenciação espacial”, e a relevância de uma metodologia que consiga avaliá-la. A diferenciação espacial reflete-se em comportamentos sociais concretos, importantes para o entendimento da cidade e para a avaliação dos seus problemas e potencialidades. E, se esses processos sociais podem ser descritos pelos resultados do Modelo de Centralidade, “*então também predições de performance, ou futuras organização espaciais alternativas, também seriam possíveis*” (KRAFTA, 1991, p.36).

KRAFTA (1991) argumenta ainda que essas diferenças espaciais se traduzem em vantagens locacionais e que, portanto, têm influência direta na localização espacial das atividades e na escolha das áreas a serem construídas, densificadas ou apresentarem mudança de uso. Ele propõe então um modelo (KRAFTA, 1999) que utiliza a Centralidade como um dos componentes de uma equação que descreve a possibilidade de maximização dos lucros por parte dos agentes imobiliários.

Como conclusão, portanto, o Modelo de Centralidade torna-se relevante na medida em que:

- a) Permite o entendimento de aspectos relevantes do funcionamento dos sistemas urbanos (movimento de pedestres e veículos, permeabilidade entre público e privado, 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 global do sistema;

- 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.

4.3. Representação das variáveis

NYERGES (1991) sugere que nossa interpretação da realidade é formada a partir de abstrações. No caso dos modelos urbanos, da mesma forma, são necessárias abstrações que sejam capazes de focalizar os aspectos mais importantes da estrutura urbana, aqueles considerados essenciais para lidar com o problema a ser enfrentado. Na Figura 4.2 estão ilustradas quatro possibilidades de representação de um sistema urbano, baseadas em níveis diferentes de abstração: a) Aerofoto; b) Restituição Aerofotogramétrica; c) Trechos de logradouros; d) Grafos. Cada uma delas pode ser mais adequada a uma aplicação específica, dependendo das intenções do criador do modelo.



Figura 4.2 – Diferentes formas de representação de um sistema urbano: a) Aerofoto; b) Restituição Aerofotogramétrica; c) Trechos de logradouros; d) Grafos.

As variáveis fundamentais a serem consideradas na construção da medida de Centralidade são **espaços públicos abertos** e **forma edificada**. KRAFTA (1994) realizou alguns testes para avaliar a melhor forma de representar essas variáveis. Para cada uma delas, portanto, foram testadas duas formas de representação, descritas a seguir.

Para os espaços públicos foram testados **linhas axiais** e **trechos de logradouros**. Linhas axiais são as maiores linhas retas capazes de cobrir todo o sistema de espaços públicos (conforme comentado no item *Modelos Urbanos: revisão histórica*). Os trechos de logradouros são representados pelas porções dos eixos de logradouros localizadas entre duas interseções, ou entre uma interseção e uma extremidade do eixo. A Figura 4.3 mostra estes dois tipos de representação para uma fração da cidade de Pato Branco – PR. É interessante notar que a

representação por trechos (onde cada unidade está compreendida entre dois pontos) não se limita a apenas um segmento de reta. Ao contrário, podem existir trechos compostos por vários segmentos.

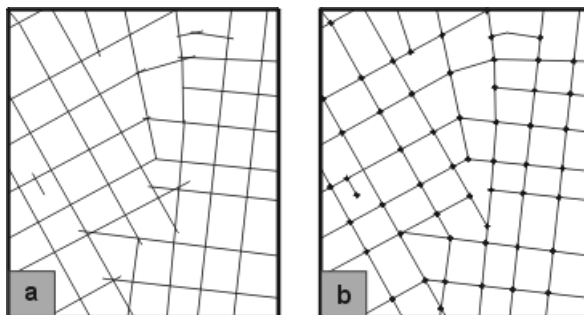


Figura 4.3 – Representação dos espaços públicos por (a) linhas axiais e (b) trechos de logradouros

Para a forma edificada, KRAFTA testou a representação por **Unidades de Forma Construída** ou por **Constituição**. Uma Unidade de Forma Construída (BFU) pode ser definida como “*um espaço construído independente, como uma casa, um apartamento, uma loja ou uma fábrica*” (KRAFTA, 1994, p.69). Constituição é o número de portas que se abrem para o espaço público (HILLIER & HANSON, 1984).

As relações entre esses dois elementos podem ser resumidas a **permeabilidade e conectividade**. Entre edificações e espaços públicos existe permeabilidade, caracterizada pela possibilidade de transição de um para outro. Assim, todos os edifícios cujos acessos se encontrem abertos para um determinado espaço público são ditos permeáveis a ele. Entre espaços públicos, existe conectividade. A **alcançabilidade** entre edificações, uma das premissas básicas da teoria da Centralidade, não é diretamente representada. Ela pode, entretanto, ser depreendida de um grafo que represente o sistema, conforme a Figura 4.4.

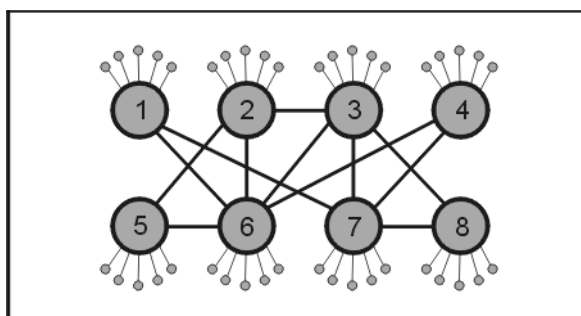


Figura 4.4 – Grafos de espaços públicos e edificações – adaptado de KRAFTA (1994)

Neste grafo, os espaços públicos estão representado pelos círculos maiores e as edificações pelos pontos menores; as relações de permeabilidade pelas linhas mais finas e as relações de conectividade pelas linhas mais grossas. Assim, uma edificação com permeabilidade para o espaço 1 pode alcançar outra edificação localizada no espaço 2 (e portanto não adjacente) através do espaço 6.

Dentre as combinações testadas por KRAFTA, as que apresentaram melhores resultados foram as que adotaram as linhas axiais e as Unidades de Forma Construída como forma de representação (grafo C na Tabela 4.1). As linhas axiais, entretanto, apresentam sérias limitações, que serão analisadas mais detalhadamente no item *O problema da representação*, o que levou à adoção dos trechos de logradouros como unidade para os elementos espaciais neste trabalho.

4.4. A medida de Centralidade

4.4.1. Procedimentos matemáticos

Conforme mencionado, o conceito de Centralidade baseia-se na idéia de que uma edificação é acessível a partir de qualquer outra edificação. Essa relação entre pares de edificações é considerada pelo modelo como uma “*tensão*”. Dois tipos de tensões são levados em consideração pelo modelo:

- Aquela originada das tensões entre formas construídas localizadas no mesmo espaço público, chamada **tensão interna** (t^I);
- A **tensão** criada por formas construídas localizadas em **espaços diferentes** (t_{ij}), o que cria o conceito de “*betweeness*”.

A tensão interna é calculada a partir da equação (KRAFTA, 1994):

$$t^I = \frac{n \cdot (n - 1)}{2} \quad (4.1)$$

Onde n = número de edificações em um mesmo espaço.

A tensão (t_{ij}) de um espaço k é definida por (KRAFTA, 1994):

$$t_{ij}(k) = \sum_{\substack{i,j \\ i < j}}^n \frac{f_i f_j}{n} \cdot p \quad (4.2)$$

Onde:

- f_i, f_j = atributos de forma construída em i e j ;
- n = número de segmentos que compõem os caminhos mínimos;

- p = número de vezes que o espaço k faz parte dos caminhos mínimos.

Assim, para cada par de formas construídas são calculados os caminhos mínimos. O produto dos atributos das formas construídas é então distribuído de forma igualitária por todos os segmentos que compõem os caminhos mínimos. 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, de acordo com a equação:

$$C(k) = t^l + t(k) \quad (4.3)$$

Entretanto, essa medida de Centralidade não permite que se compare sistemas de tamanhos diferentes. Por isso, KRAFTA (1994) propôs a medida de **Centralidade Relativa**. Ela é calculada com base no valor máximo de Centralidade que um espaço pode assumir, em um sistema com um certo número de espaços e considerando a forma construída como homogeneamente distribuída. Isso equivale ao espaço central de um grafo semelhante a uma roda de bicicleta. A equação que determina esse valor máximo é:

$$t^{\max} = \frac{L^2}{2}(n-1) + \left(\frac{n^2 - 3n + 2}{2} \right) \quad (4.4)$$

Onde:

- L = Número médio de BFUs no sistema;
- n = Número de espaços no sistema.

A Centralidade Relativa de um espaço k é calculada, portanto, segundo a equação:

$$C^R = \frac{C(k)}{C^{\max}} \quad (4.5)$$

4.4.2. Medidas possíveis

A partir dessas equações, é possível encontrar três medidas de Centralidade, em função da utilização ou não da forma edificada nos cálculos, e da ponderação ou não dessas formas edificadas. As medidas são Centralidade Planar, Centralidade Morfológica e Centralidade Real (SPINELLI & KRAFTA, 1998).

A **Centralidade Planar** é obtida atribuindo-se peso igual a 1 a todos os espaços do sistema ($f_i = 1$ para todo i), independentemente do seu carregamento

em termos de edificações. Assim, apenas a influência da malha viária na Centralidade é avaliada.

A **Centralidade Morfológica** é calculada atribuindo-se valor 1 para todas as edificações do sistema, e então somando os valores referentes a cada espaço. Cada espaço, portanto, tem um atributo referente à quantidade de edificações que se abrem para ele. Dessa forma, as tensões a serem distribuídas pelo sistema são proporcionais ao “carregamento” de cada espaço.

A **Centralidade Real** é calculada da mesma forma que a Centralidade Morfológica, com a única diferença de que, para cada tipo de atividade, são atribuídos parâmetros de ponderação, com vistas a reproduzir com maior fidelidade as capacidades de atração e geração de tensões de cada uma delas. Entretanto, é possível acrescentar mais elementos aos ponderadores, como por exemplo a área construída da edificação ou o seu número de pavimentos. Essa ponderação pode ser realizada de diversas maneiras. A mais comum é simplesmente calcular os pesos de cada atividade com base em análises de regressão, comparando os resultados do modelo com variáveis conhecidas do sistema (como fluxos de pedestres, por exemplo).

A medida de Centralidade Real é a que vem apresentando melhores correlações nos estudos realizados. Entretanto, a medida de Centralidade Planar também pode oferecer algumas possibilidades interessantes de análise. Para isso, precisamos entendê-la como uma descrição razoavelmente apurada de uma força (a configuração do traçado) exercida sobre a apropriação do território, a distribuição de fluxos humanos e a alocação de usos.

Quando comparada com os resultados da Centralidade Real, podemos detectar com clareza os pontos onde os atratores não seguiram a tendência indicada pelo traçado. Em um primeiro momento, podemos pensar em algumas razões para que isso ocorra: determinações do Plano Diretor (que podem indicar tanto decisões equivocadas quanto proteção necessária a pontos críticos), aspectos da topografia (como alta declividade), especulação imobiliária, disponibilidade de áreas vagas, entre outras.

A possibilidade de avaliar o grau de “determinismo” imposto somente pela configuração também é propiciada por esse tipo de comparação, e constitui-se em outra motivação para esse tipo de investigação.

Capítulo 5. Sistemas de Suporte ao Planejamento

Neste capítulo estabelecemos uma base teórica sobre a qual apoiamos a ferramenta proposta neste trabalho. Essa base teórica servirá como guia para as decisões tomadas quanto à construção da ferramenta e sua proposta de implementação. Argumentamos que a vinculação do Modelo de Centralidade ao SIG deve fazer parte de uma ferramenta mais ampla denominada Sistema de Suporte ao Planejamento, ou PSS (HARRIS, 1989), e propomos uma estrutura básica para esse tipo de sistema, definindo seus componentes e explorando as interações possíveis com o processo de planejamento.

5.1. Definição Conceitual

Como acontece em relação ao SIG, a definição de Sistemas de Suporte ao Planejamento (PSS) não é unânime. Além de diversas definições, existem ainda vários termos que vêm sendo usados para designar sistemas muitas vezes bastante semelhantes.

HAN & KIM (1989, p. 297) definem **Sistemas de Informações Urbanas** (UIS) como “*sistemas formais baseados em computadores capazes de integrar dados de fontes diversas para prover a informação necessária a uma tomada de decisões eficaz em planejamento urbano*” . Segundo estes autores, esse é um

conceito amplo, que abrange todos os tipos de sistemas de informações aplicados em planejamento urbano.

O critério adotado por HAN & KIM para a classificação dos UIS baseia-se nas tecnologias envolvidas na construção do sistema¹². Segundo esse critério, os UIS seriam subdivididos em Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (DBMS), Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Sistemas de Suporte à Decisão (DSS) e Sistemas Especialistas (ES).

Os **Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados** (DBMS - sigla em inglês para *Database Management Systems*) são os sistemas encarregados de realizar todas as operações necessárias em uma base de dados, constituída na maioria das vezes por tabelas de valores alfanuméricos organizadas em um banco de dados relacional.

Os **SIGs** já foram definidos no item *Sistemas de Informações Geográficas* 2.2, e têm como uma de suas partes um DBMS.

Os **Sistemas de Suporte à Decisão** (DSS), por sua vez, também incorporam um DBMS, mas adicionam a ele modelos analíticos refinados. Não têm, necessariamente, uma dimensão espacial, podendo ser implementados até mesmo em planilhas eletrônicas.

Os **Sistemas Especialistas** (*Expert Systems*) procuram incorporar o julgamento, a experiência e a intuição à resolução de problemas, através de técnicas de inteligência artificial. Esse tipo de sistema, entretanto, não se desenvolveu de forma notável, pelo menos até o momento.

Outro termo utilizado com frequência é **Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão** (SDSS – de *Spatial Decision Support Systems*). Segundo DENSHAM & GOODCHILD (apud COWEN & SHIRLEY, 1991, p. 301)¹³, SDSS podem ser considerados “*analogias espaciais para os Sistemas de Suporte à Decisão (...) [Eles] fornecem uma estrutura para a integração de capacidades analíticas,*

¹² Outro critério possível para classificação dos UIS seria o objeto principal de investigação do sistema, o que incluiria, por exemplo, *Land Information Systems*.

¹³ DENSHAM, P.; GOODCHILD, M.F. Spatial decision support systems: a research agenda. *Proceedings of GIS/LIS '89*, v.2, p. 707-716. Apud COWEN, D.J.; SHIRLEY, W.L. Integrated planning information systems. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed.). *Geographical information systems: principles and applications*. London: Longmans, 1991. p. 297-310.

sistemas gerenciadores de bancos de dados e capacidades de visualização gráfica para aperfeiçoar os processos de tomada de decisões”.

BRITON HARRIS (1989) usa pela primeira vez o termo **Planning Support Systems** (PSS), e sugere que esse tipo de sistema é constituído por um SIG unido a modelos analíticos.

Como podemos perceber, a definição é praticamente a mesma de Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão, sendo que essas denominações são usualmente utilizadas designando sistemas semelhantes. Neste trabalho, entretanto, propomos uma diferenciação entre essas duas denominações, entendendo que a tomada de decisões é apenas uma parte do processo de planejamento e, portanto, Sistemas de Suporte ao Planejamento englobam Sistemas de Suporte à Decisão, devendo ser capazes de oferecer suporte a outras funções além da tomada de decisões.

Sistemas de Suporte ao Planejamento, portanto, são sistemas de informações urbanas implementados em computador, compostos por ferramentas de aquisição, manipulação, análise e visualização de dados integradas entre si e capazes de oferecer suporte efetivo e eficiente ao processo de planejamento como um todo. Entre essas ferramentas, as mais importantes serão os modelos urbanos e as ferramentas estatísticas.

As ferramentas de estatística espacial podem ser divididas em três categorias gerais (LEVINE, 1996):

- a) Medidas de Distribuição Espacial – Descrevem a dispersão, direção, forma e centro da distribuição de uma variável. Alguns exemplos são os índices obtidos a partir da curva de segregação (Duncan & Duncan, 1954), como o coeficiente de Gini e o índice de Hoover, utilizados para medir a distribuição de uma determinada variável em um sistema de zonas.
- b) Medidas de Autocorrelação Espacial – Descrevem a relação entre localizações diversas, indicando o grau de concentração ou dispersão para uma única variável. A correlação espacial, portanto, analisa de que forma elementos distribuídos espacialmente apresentam características semelhantes ou diferentes daqueles que estão próximos ou contíguos a si.
- c) Medidas de Associação Espacial – Descrevem a correlação ou associação entre duas ou mais variáveis, indicando se a ocorrência de uma delas está relacionada espacialmente com a ocorrência das demais.

Uma estrutura básica possível para um PSS, portanto, seria a seguinte (Figura 5.1):



Figura 5.1 – Estrutura básica de um Sistema de Suporte ao Planejamento

Os fluxos de informações assinalados na Figura 5.1 podem ser descritos da seguinte maneira:

1. Aquisição de dados para a base geral de dados do sistema. Envolve a adaptação de dados já existentes, digitalização, edição e validação de dados espaciais e atributos alfanuméricos. É nesta etapa que os dados provenientes de diversas formas de representação devem ser adequados aos métodos de representação adotados pelo SIG. Normalmente é feita por softwares específicos para manipulação de dados espaciais (CAD, softwares de manipulação de imagens de sensoriamento remoto e softwares específicos de cartografia) e alfanuméricos (sistemas gerenciadores de bancos de dados – DBMS).

2. Alimentação do módulo analítico com os dados. Estes serão acessados diretamente pelo software de SIG adotado, que se encarregará de fazer as conversões necessárias para alimentar as outras ferramentas.

3. Alimentação das ferramentas estatísticas com os dados necessários. Envolve a manipulação desses dados pelo SIG, através de consultas (ou *queries*) ao banco de dados, com vistas a adequá-los aos requisitos das ferramentas estatísticas. Nesse ponto o SIG deve permitir que questões como escala de análise, unidade espacial adotada, agregação/desagregação de dados e precisão e resolução dos dados sejam tratadas convenientemente. Os meios para que essa integração possa ser alcançada, na prática, estão descritos no item *Classificação dos tipos de vinculação*.

4. Retorno dos resultados gerados pelas ferramentas estatísticas, que podem ser usados em outras análises (passo 3 ou passo 5), visualizados (passo 8) ou repassados à base de dados (passo 7).

5. Alimentação dos modelos urbanos com os dados necessários. Envolve as mesmas operações que o passo 3.

6. Retorno dos dados do modelo, que podem ser modelos com finalidades preditivas ou exploratórias e que, assim como no passo 4, podem ser usados em outras análises (passo 3 ou passo 5), visualizados (passo 8) ou repassados à base de dados (passo 7)

7. Modificação, atualização e/ou complementação da base de dados com os resultados das operações de análise. Com a integração entre as bases de dados de diferentes setores do planejamento (setor de transportes, infra-estrutura urbana, cadastro técnico), este passo adquire maior importância na medida em que possibilita que os resultados das análises e simulações realizadas por um setor sejam acessados por outro setor, como forma de enriquecer suas próprias análises.

8. Visualização dos resultados. Pode ser feito em forma de mapas ou em forma de gráficos de dispersão, perspectivas tridimensionais, etc.

5.2. Processo de planejamento e o papel do PSS

Neste item serão explorados os meios pelos quais o PSS pode ajudar o processo de planejamento. Para isso, adotamos uma divisão baseada nas diferentes funções do Planejamento, proposta por COUCLELIS (1991) que, por sua vez, baseou-se na obra de HARRIS (1989).

5.2.1. Funções Operacionais

Envolvem atividades como a manutenção e atualização da base cadastral, emissão de alvarás e licenças de construção, interpretação das regulamentações do plano diretor e assim por diante. Essa classe de funções coloca ênfase na base de dados. Dois tipos principais de operações podem ser distinguidos: operações de consulta à base de dados e operações de manutenção da base de dados. A primeira utiliza uma interface construída diretamente no SIG, enquanto que a segunda utiliza as interfaces dos softwares mais adequados à natureza do dado a ser manipulado (CAD ou outros softwares específicos para atributos espaciais, e sistemas gerenciadores de bancos de dados – DBMS – para atributos alfanuméricos).

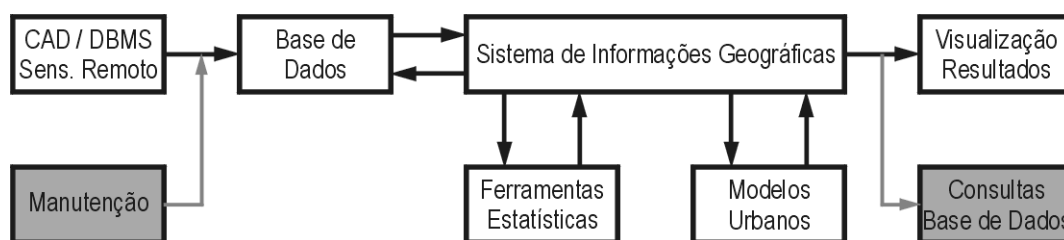


Figura 5.2 – Funções Operacionais

Um tipo de estrutura como a ilustrada na Figura 5.2 possibilitaria a integração entre o setor de licenciamento de obras e os setores de cadastro e de planejamento. Dessa forma, assim que um projeto fosse aprovado, a base de dados (espaciais e alfanuméricos) seria devidamente alterada. Uma espécie de “registro provisório” poderia ser criado, entre a aprovação do projeto e a efetiva conclusão da obra, o que permitiria uma visão com alguma antecedência do padrão de crescimento da cidade.

5.2.2. Funções Administrativas

São aquelas ligadas, direta ou indiretamente, à otimização de recursos (COUCLELIS, 1991). Inclui, entre outros, avaliação de impactos, monitoramento de mudanças e prevenção de desastres. A definição de WEBSTER (1993) para a *descrição* em planejamento faz parte dessa categoria de funções. Segundo ele, esse processo compõe-se de três estágios: (a) identificar a *oferta* de infra-estrutura, isto é, definir sua localização e quantidade; (b) Identificar os *consumidores* de infra-estrutura (localização e quantidade); e (c) determinar a *demanda* dos consumidores por infra-estrutura. Isso implica numa descrição de um ou mais aspectos de um sistema e na detecção de eventuais disparidades entre oferta e demanda de um determinado tipo de infra-estrutura, através da comparação entre a situação existente e um padrão eleito como ideal ou desejável.

Como podemos perceber, esse tipo de análise relaciona-se em maior grau com as ferramentas estatísticas. O processo está ilustrado na Figura 5.3. O SIG acessa a base de dados e fornece as informações sobre oferta e demanda devidamente estruturadas às ferramentas estatísticas, que realizam então a comparação.

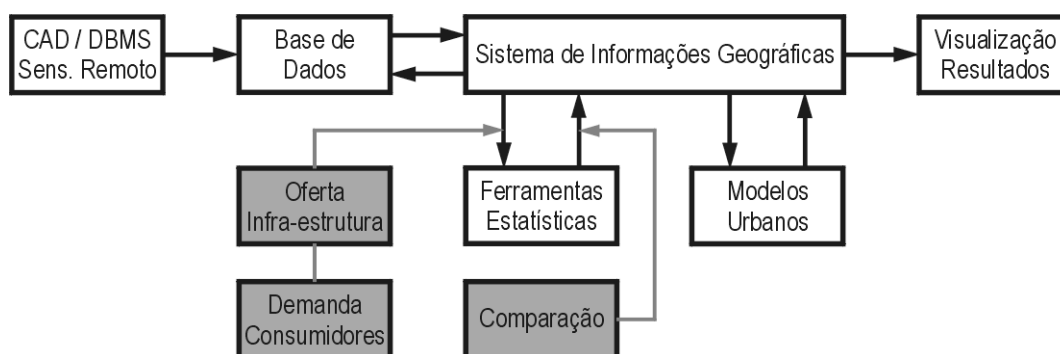


Figura 5.3 – Funções Administrativas

Entretanto, essa comparação entre oferta e demanda pode também ser realizada com base em resultados provenientes de modelos urbanos. Nesse sentido, KRAFTA (1998), numa proposta de um sistema de avaliação de impactos, divide estes em três tipos: (a) impactos sobre os usuários ou consumidores da cidade; (b) impactos sobre as instituições; e (c) impactos sobre o sistema urbano, ou sobre a produção da cidade. Enquanto os dois primeiros são basicamente estáticos, e análogos ao processo de *descrição* de WEBSTER, o terceiro é dinâmico, e refere-se aos efeitos ao longo do tempo causados por alterações no sistema.

Esse tipo de impacto será abordado no item seguinte, referente às funções estratégicas. Entretanto, uma vez analisados, seus resultados devem ser testados em relação a eventuais disparidades entre oferta e demanda. O processo, portanto, é exatamente o mesmo que o proposto por WEBSTER, com a diferença que a identificação da oferta de infra-estrutura e dos consumidores é feita com base no resultado de modelos de simulação aplicados ao sistema, conforme mostra a Figura 5.4, adaptada de KRAFTA (1998) e WEBSTER (1993). Nela, a proposta de Webster aparece destacada em cinza.

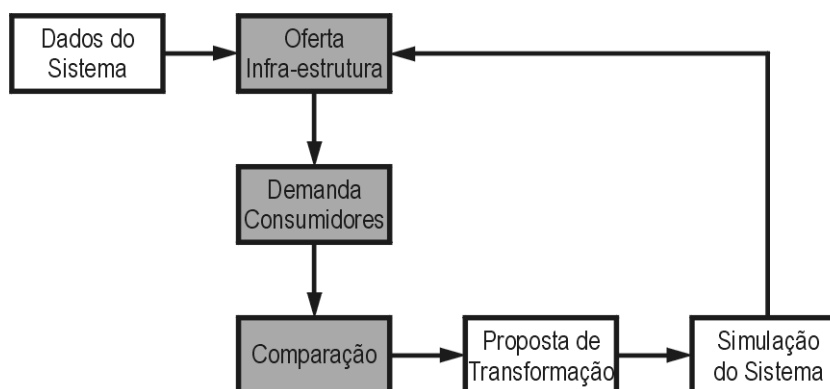


Figura 5.4 – Análise de impactos – adaptada de KRAFTA (1998) e WEBSTER (1993)

5.2.3. Funções Estratégicas

COUCLELIS (1991, p.12) define as funções estratégicas do planejamento como “*aquelas pelas quais o planejamento afeta deliberadamente os processos socioeconômicos em uma área através da manipulação de relações espaciais*”. Elas envolvem as etapas de detecção de problemas (em conjunto com a *descrição*, apresentada no item anterior), definição de alternativas, avaliação e seleção da melhor alternativa e implementação do plano.

a. Detecção de problemas futuros

A detecção de problemas futuros funciona conforme o descrito no item anterior. O caráter dinâmico dos sistemas urbanos deve ser levado em consideração aqui, portanto algum tipo de predição deve ser feita acerca da oferta e demanda por infra-estrutura em um ou mais intervalos de tempo, correspondendo à “simulação do sistema” na Figura 5.4 acima. Segundo WEBSTER (1994), a predição sobre a localização e a quantidade de consumidores pode ser feita com base em modelos demográficos ou pode ser obtida diretamente de predições realizadas por terceiros (como o Censo, por exemplo). Já a predição de oferta de infra-estrutura pode acontecer de três maneiras: (a) através da perspectiva de investimentos dos atores urbanos (conforme descrito no item *Funções Operacionais*, ou de modos ainda mais informais); (b) através de um modelo urbano de uso do solo; e (c) através da construção de cenários por especialistas.

Os modelos urbanos (item b) podem assumir as mais variadas formas, assim como tratar dos mais variados aspectos de um sistema urbano. Podem ser usados, por exemplo, para simular a resposta do comércio varejista à implantação de uma nova linha de transporte coletivo, ou ainda medir a quantidade de despejos tóxicos em um curso d’água afetado pela construção de um novo loteamento. O processo é, portanto, análogo ao apresentado na Figura 5.3, conforme mostra a Figura 5.5. A diferença é que, nesta última, as informações passadas às ferramentas estatísticas (*Oferta de Infra-estrutura e Demanda imposta pelos Consumidores*) são provenientes da simulação do sistema realizada pelos modelos urbanos preditivos.

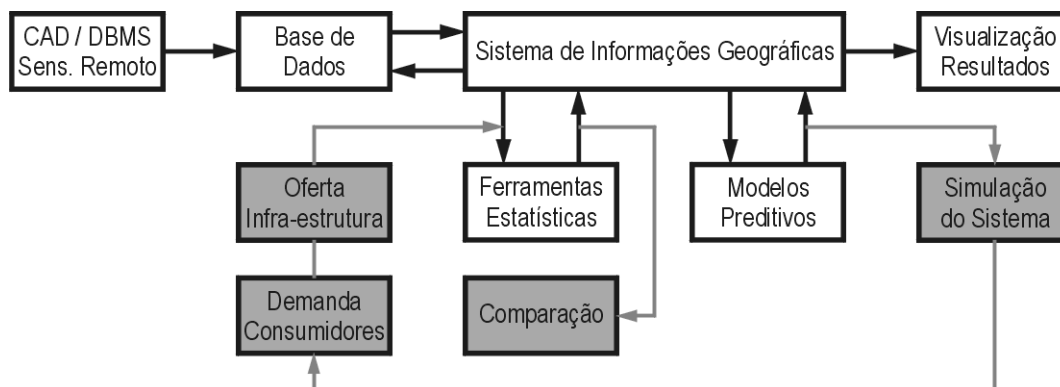


Figura 5.5 – Predição de problemas futuros

Já a construção de cenários (item c) representa um modo mais informal de predição. Nela, a intuição e o conhecimento acumulado são essenciais à construção de um estado futuro do sistema. Entretanto, os modelos exploratórios também podem ser usados nessa etapa.

Isso acontece porque, apesar de esse tipo de modelo não resultar em predições, eles oferecem meios de testar teorias sobre relações de causa e efeito em sistemas urbanos e compará-las com dados empíricos, oferecendo assim condições de diminuir as incertezas na construção de cenários futuros. O Modelo de Centralidade (KRAFTA, 1994), adotado neste trabalho, é um exemplo de modelo exploratório.

b. Definição de alternativas

Conforme argumentam HARRIS & BATTY (1992), é impossível a geração automática de planos urbanos e, portanto, a confecção de um bom plano depende de um “processo informado” de tentativa e erro, que gera alternativas e as prepara para serem testadas. Esse processo é “informado” pela intuição e pela experiência acumulada, mas pode também valer-se de modelos exploratórios já que, segundo PORTUGALI (1996), isso seria uma forma do planejador ganhar uma espécie de “experiência artificial”.

Dessa forma, os resultados dos modelos exploratórios, combinados com as experiências feitas com estatística espacial (teste de correlações, detecção de padrões, etc.) e com os resultados apresentados em forma visual, podem oferecer suporte ao entendimento do sistema (Figura 5.6). Este, por sua vez, é fundamental para a formulação de alternativas, pelo fato de conferir maior entendimento da influência das variáveis sob o domínio do planejador no desenvolvimento do sistema. Essas variáveis, segundo WEBSTER (1993), se manifestam sob duas

formas : atuação pública direta (provisão de infra-estrutura) e políticas de controle (regulamentação).

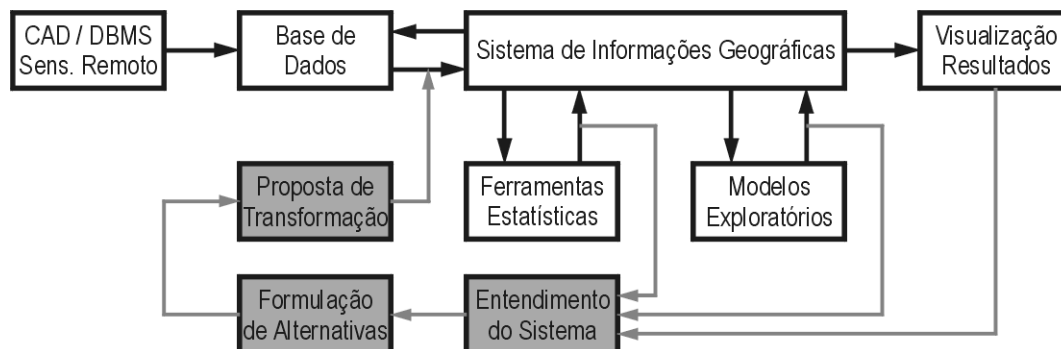


Figura 5.6 – Formulação de Alternativas

c. Avaliação e seleção da melhor alternativa

A avaliação implica no teste das alternativas levantadas segundo os passos descritos no item *Funções Administrativas (descrição)*. Na Figura 5.4, cada alternativa corresponde à etapa “proposta de transformação”. Assim cada alternativa será avaliada da mesma maneira que os problemas futuros são detectados, com a diferença que neste caso a simulação do sistema leva em consideração as mudanças introduzidas pela alternativa que está sendo avaliada. Em outras palavras, a partir do processo de formulação de alternativas (Figura 5.6), o processo de planejamento voltaria à detecção de problemas futuros (Figura 5.5), ou seja, o sistema seria novamente simulado, e as influências da alternativa no desenvolvimento seriam julgadas normalmente em termos de discrepância entre oferta e demanda de infra-estrutura.

A seleção da melhor alternativa, entretanto, é um processo com um grau significativo de subjetividade, visto que os valores e as prioridades dos diversos atores urbanos não são homogêneos (KRAFTA, 1995). Entretanto, a definição de metas e objetivos a serem alcançados pelo plano também pode ser ajudada pelos PSS, conforme será explicado no item *Funções de Comunicação*.

d. Implementação do Plano

O processo de implementação de planos urbanos pode ser informado pela etapa de *descrição*, mostrando por exemplo as áreas onde existem as maiores disparidades entre oferta e demanda de infra-estrutura, determinando prioridades de investimento público direto.

Além disso, algumas funções de comunicação (item seguinte) podem desempenhar papel fundamental na aceitação do plano pela população e, conseqüentemente, criar comprometimento com sua implementação e respeito às políticas de controle criadas.

5.2.4. Funções de Comunicação

As funções de comunicação são vitais para o planejamento, e estão embutidas nas outras funções descritas até este ponto. A comunicação é necessária para manter o público informado sobre teor do plano, assim como sobre suas restrições; para facilitar a explanação dos objetivos e metas estabelecidos, tanto à população quanto aos políticos responsáveis por sua aprovação e aos empresários diretamente afetados por ele; para alimentar discussões públicas acerca das prioridades de investimentos; e para possibilitar o intercâmbio de informações entre setores públicos diferentes.

Dentre essas funções, as três primeiras referem-se a uma tendência atual de envolver a população na elaboração do plano, criando comprometimento com a sua implementação. Essa tendência surge como um contraponto ao planejamento tecnocrata, de cima pra baixo, onde as decisões são tomadas arbitrariamente e impostas à população (KRAFTA, 1995). O que se procura atualmente é informar a população, de forma que ela possa não apenas expressar seus desejos e prioridades, mas fazê-lo com maior conhecimento de causa. Nesse sentido, os PSS podem ser úteis, uma vez que sua grande capacidade de manipulação de dados, aliada às capacidades de visualização, transformam-no num poderoso instrumento de comunicação.

O intercâmbio de informações entre setores diferentes também é uma tendência que se observa, e que tende a aperfeiçoar o processo de planejamento, aumentando sua eficácia e sua eficiência.

A eficácia, nesse sentido, será aumentada pela possibilidade de maior intercâmbio de informações e – como conseqüência – de conhecimentos entre setores, resultando em projetos mais “coletivos” (BATTY, 1992b). Do ponto de vista prático, isso implica que as análises realizadas em um setor poderão utilizar dados gerados em outro.

A eficiência do processo de planejamento será beneficiada à medida em que os processos possam ser realizados com maior rapidez e praticidade, e sem duplicação de esforços. Assim, órgãos ambientais podem acessar diretamente a base de dados da companhia de saneamento básico, ao invés de manter, eles

próprios, bancos de dados contendo essas informações, o que os obrigaria a esforços de confecção e manutenção desnecessários.

Em suma, as formas de suporte dos PSSs às funções de comunicação em planejamento baseiam-se em dois tipos: (a) entendimento dos processos de análise e tomada de decisões, assim como do teor do plano, através de visualização, explicação de conceitos e consultas às regulamentações; e (b) compartilhamento de dados e informações (Figura 5.7).

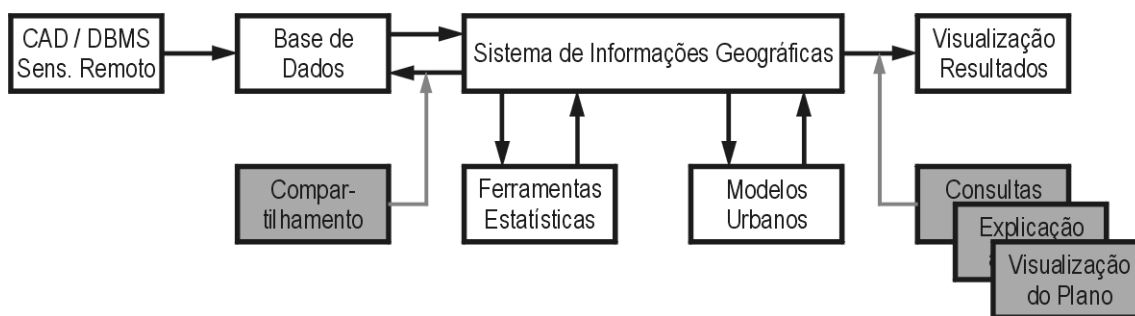


Figura 5.7 – Funções de comunicação

Tendo estabelecido esta estrutura básica para um Sistema de Suporte ao Planejamento, faremos no item seguinte a vinculação do Modelo de Centralidade a um SIG, buscando inserir a nova ferramenta no contexto mais amplo conceitualizado neste item.

Capítulo 6. Uma nova operacionalização do Modelo de Centralidade

Este capítulo trata da estruturação e concepção de uma ferramenta de apoio à tomada de decisões, que deve fazer parte de um sistema mais amplo de suporte ao planejamento. Neste ponto é interessante retomar a hipótese inicial deste trabalho:

Hipótese 1 - A união de Sistemas de Informação Geográficas e o Modelo de Centralidade pode aumentar a qualidade de análises espaciais urbanas;

Para testar esta hipótese, realizamos a vinculação do modelo de Centralidade de KRAFTA, tal como ele foi concebido, em um Sistema de Informações Geográficas. Esse passo foi realizado de duas formas: vinculação fraca e vinculação forte (ver *Classificação dos tipos de vinculação*). Os procedimentos adotados para realizar os dois tipos de vinculação serão apresentados a seguir, e no item *Comparação entre os tipos de vinculação* faremos uma comparação examinando as vantagens e limitações de cada uma delas.

6.1. Considerações Iniciais

O *software* adotado para realizar a vinculação foi o ArcView (ESRI, 1999). Ele possui a maior parte dos recursos convencionais de manipulação de bases de dados e visualização de informações espaciais e alfanuméricas próprias dos SIGs. Além disso, possui uma linguagem de programação embutida, denominada *Avenue*, que se revelou bastante flexível, poderosa e de fácil aprendizado.

O principal elemento de uma aplicação no ArcView é o Projeto (*project*). Ele é responsável pelo gerenciamento de todos os outros componentes da aplicação, assim como de suas relações e vinculações. As informações espaciais são visualizadas em Vistas (*views*), que por sua vez são compostas por Temas (*themes*). Cada tema pode ser considerado uma camada de informação, e deve representar um aspecto geográfico através de uma das três formas de representação aceitas pelos SIGs (ponto, linha ou polígono).

As Tabelas (*tables*) são bancos de dados alfanuméricos compostos por Campos (*fields*) e Registros (*records*). As informações contidas nas tabelas podem ser editadas pelo usuário e vinculadas aos temas de elementos espaciais para a geração de mapas temáticos.

Scripts são conjuntos executáveis de comandos em linguagem de programação (*Avenue*) que podem personalizar a interface do software, acessar os valores dos dados armazenados em tabelas, realizar seqüências de análises ou até mesmo acessar módulos externos compilados em outras linguagens de programação. Na Figura 6.1 podemos observar alguns elementos da interface do ArcView. Em sentido horário, partindo do canto superior esquerdo, temos o projeto, um *script*, uma tabela, e uma vista.

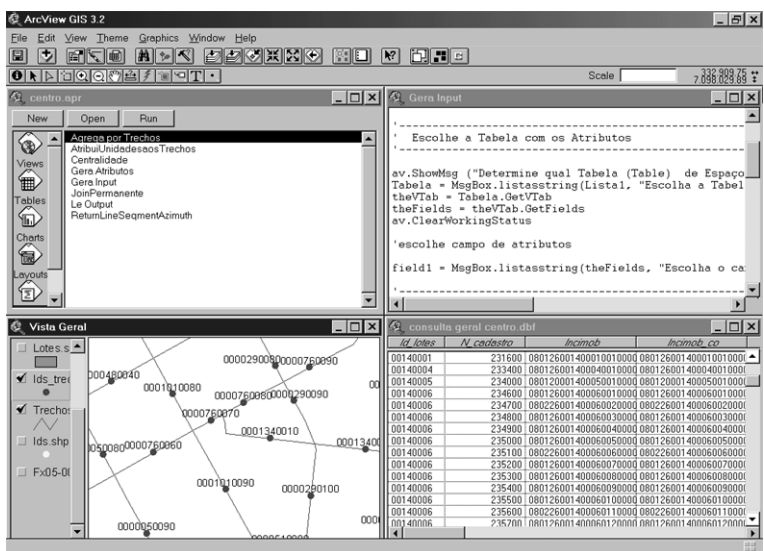


Figura 6.1 – Interface do ArcView

O Avenue é uma linguagem orientada a objetos, o que significa que ele funciona segundo uma estrutura baseada em Objetos e Classes. Estes são definidos por RUMBAUGH et al (1991) da seguinte maneira: “*Definimos objeto como um conceito, uma abstração ou alguma coisa com limites definidos e com significado para o problema em questão.*” (p.21). “*Uma classe de objetos refere-se a um grupo de objetos com propriedades (atributos) similares, comportamentos (operações) similares e relações similares com outros objetos*”. (p.22).

Os objetos, portanto, pertencem a classes, e estas muitas vezes englobam outras classes. Na Figura 6.2 vemos uma fração do modelo de dados do Avenue, onde notamos a existência de diversas subclasses para a classe “Shape”. Entre elas, a classe “MultiPoint”, que por sua vez se subdivide em “MultiPointM” e “PolyLine”.

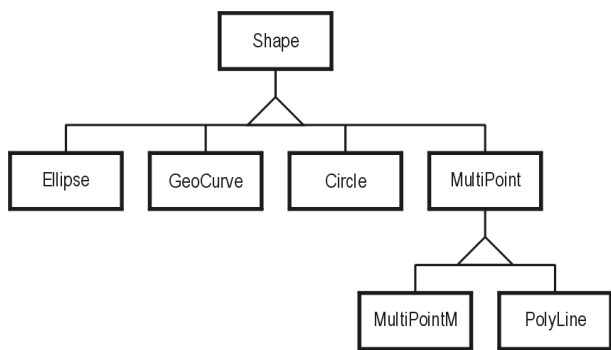


Figura 6.2 – Exemplo de uma fração do modelo de dados do Avenue

Dessa forma, podemos acessar todos os objetos de um projeto através do *Avenue*, “navegando” através das classes. No exemplo acima, para acessarmos uma PolyLine deveríamos antes acessar a classe Shape e em seguida a classe MultiPoint . Essa mesma relação vale também para os outros elementos de um Projeto: uma tabela, um campo dessa tabela, e o valor desse campo em um registro específico, por exemplo.

6.2. Estrutura básica da vinculação

Pelas características de manipulação e visualização de dados já mencionadas, e por ser bastante genérico nas suas aplicações, o SIG desempenha o papel de articular as diversas partes, ou subsistemas, da ferramenta que propomos neste trabalho. A interrelação entre esses subsistemas está representada na Figura 6.3.

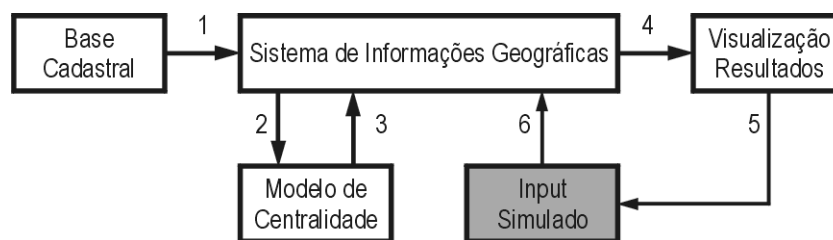


Figura 6.3 - Esquema de integração da ferramenta proposta

As setas representam apenas as principais relações entre os elementos, não pretendendo esgotar todas as possibilidades de intercâmbio e retroalimentação. O circuito Base Cadastral – SIG – Visualização dos Resultados é o mais comum nos institutos de planejamento, pois a maior parte dos esforços na construção de sistemas de geoprocessamento é direcionada nesse sentido. Ressaltamos que, nesses casos, o resultado da análise é quase sempre composto por mapas temáticos representando aspectos qualitativos ou quantitativos diretamente capturados da realidade ou interpretações simples de relações diretas entre esses aspectos (conforme comentamos no item *Limitações dos SIGs*).

As interações entre os subsistemas são as seguintes:

1 – Alimentação dos dados básicos – aquisição, através da base cadastral, dos dados sobre a distribuição das atividades e propriedades configuracionais do traçado. É realizada através de leitura direta, a partir do SIG, de formatos digitais de bancos de dados, espaciais (dwg, dgn, dxf, shp, etc.) e não-espaciais (mdb, xls, dbf, etc.).

2 – *Input* ao Modelo de Centralidade – fornecimento dos dados para o modelo de Centralidade. Essa troca é feita através de programação em *Avenue*, onde a rotina que realiza as conversões para o Modelo de Centralidade é chamada a partir de um comando (via macro) dentro do SIG, sendo que este passa àquela os dados necessários para efetuar os cálculos. Este procedimento pode ser realizado de duas formas: quando é feito com compartilhamento de arquivos, é chamado de “Vinculação Fraca”, e depende da intervenção do usuário. Quando a comunicação entre o SIG e o modelo é feita diretamente via intercâmbio de variáveis, é chamado “Vinculação Forte”, e é invisível ao usuário. Esses dois procedimentos serão detalhados mais adiante.

3 – Resultados numéricos do Modelo de Centralidade – retorno dos valores calculados pela rotina do modelo ao SIG. Acontece através da manipulação direta, por parte dos *scripts* construídos dentro do SIG, de campos das tabelas de atributos incorporadas no SIG. Assim, para cada trecho existem dois novos campos, inicialmente vazios, destinados à Centralidade Absoluta e à Centralidade Relativa, que são atualizados pelo modelo. Esse procedimento também pode acontecer de duas formas, conforme descrito no item anterior.

4 – Apresentação dos resultados – Envolve tanto a confecção de mapas temáticos quanto a construção de gráficos (de barras, de dispersão, etc.) e tabelas, em meio físico (normalmente papel) ou digital.

5 – Retroalimentação – consiste na instrumentação do usuário com vistas à construção de cenários alternativos a serem testados no modelo. A partir dos resultados obtidos, o entendimento da realidade tende a ser aprimorado e novos *insights* tendem a surgir.

6 – Inputs simulados – corresponde a situações fictícias a serem testadas pelo modelo. Envolve a manipulação direta dos dados espaciais e não-espaciais por parte do usuário do sistema.

O SIG, portanto, pode ser considerado como a parte principal desta nova ferramenta, pelo fato de representar o elo de ligação entre os outros subsistemas, sendo o responsável pela harmonização das diferentes necessidades inerentes a cada um deles.

6.3. O processo tradicional de análise da Centralidade

O processo tradicional de análise da Centralidade era realizado utilizando um *software* já existente para aplicação do Modelo de Centralidade, desenvolvido por

LEONEL & KRAFTA (1993). Esse *software* de Centralidade consiste num programa independente (.exe), que roda em ambiente Windows, e que lê um arquivo de texto (.txt) contendo as informações sobre os atributos das unidades espaciais e suas conectividades. O *software* processa os dados de entrada e retorna um novo arquivo de texto com os resultados de Centralidade Absoluta e Centralidade Relativa atribuídos às unidades espaciais. As estruturas dos arquivos de entrada de dados e saída de resultados estão ilustradas nas Figuras 6.4a e 6.4b.

a)

10	
1	1
2	2
3	2
4	5
5	3
6	4
7	5
8	3
9	1
10	2
1	2
1	4
1	3
2	1
4	1
4	5
4	6
4	7
4	8
4	9
4	10
3	1
5	4
6	4
7	4
8	4
9	4
10	4
0	0

b)

1	15798074	0,0698950365185738
2	7793181	0,0344791822135448
3	6751871	0,0298721380531788
4	38288472	0,169398754835129
5	88884000	0,393247336149216
6	357335,25	0,0015809496390152
7	4197113,5	0,0185691881924868
8	3632446,5	0,0160709451884031
9	6034028	0,026696203276515
10	48445256	0,214335173368454

Figura 6.4 –Estrutura de (a) entrada de dados; (b) saída de resultados no *software* de Centralidade.

A primeira parte da estrutura de entrada (Figura 6.4a) é o número total de espaços do sistema. A segunda parte (destacada em cinza claro) são os atributos de forma construída de cada espaço. A terceira parte (destacada em cinza escuro) são as conectividades existentes entre os elementos espaciais. A parte final é um sinal para o *software* de Centralidade detectar o fim do arquivo de entrada.

O processo de confecção desse arquivo de entrada era bastante trabalhoso, pois as informações deviam ser digitadas a mão, mediante a contagem das edificações e a classificação dos usos. Além disso, todas as conectividades entre as unidades espaciais também deveriam ser detectadas manualmente, e os pares de elementos que se conectam deveriam ser digitados no arquivo de texto. Esse tipo de procedimento, além de consumir tempo, era propenso à introdução de erros nos dados de entrada, visto que em sistemas grandes não era difícil para o usuário esquecer de uma ou outra conectividade, ou se confundir na atribuição de usos a algumas edificações.

Após a confecção do arquivo de entrada, o usuário deveria rodar o software de Centralidade, e digitar o nome do arquivo na interface (Figura 6.5). Essa interface era bastante simples, e não permitia nenhuma interação do usuário com os dados que estavam sendo analisados. Qualquer alteração ou teste a ser feito com os dados deveria ser feito através da manipulação direta do arquivo de entrada.

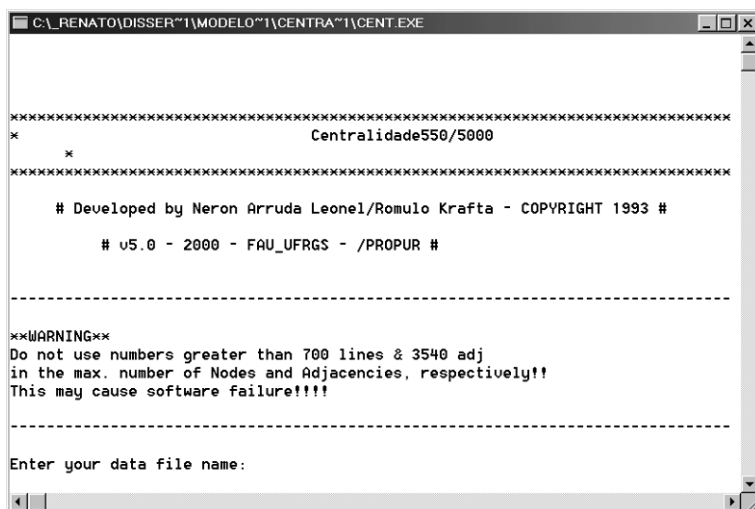


Figura 6.5 – Tela do software de Centralidade já existente.

De posse do arquivo de saída dos resultados, o passo seguinte era convertê-lo em algum arquivo que possibilitasse a análise dos dados, normalmente em um *software* de planilha eletrônica. Essa análise, entretanto, normalmente limitava-se a coeficientes de correlação e gráficos de distribuição dos índices de Centralidade (Figura 6.6). Qualquer intenção de análise visual requeria que os mapas fossem construídos manualmente, a partir da identificação, em um mapa, dos espaços que se desejasse destacar (Figura 6.7).

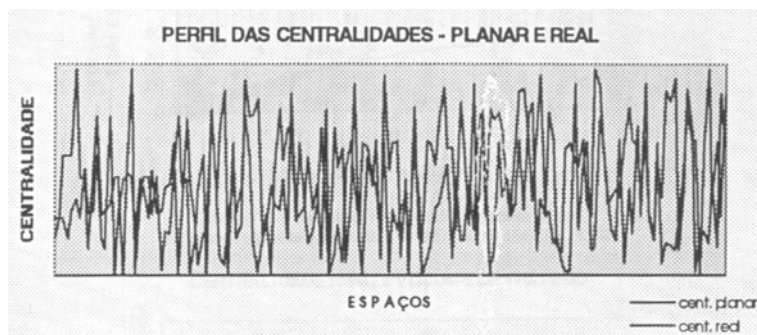


Figura 6.6 – Representação em forma de gráfico dos resultados de Centralidade

Fonte: BORGES & KRAFTA (1998).

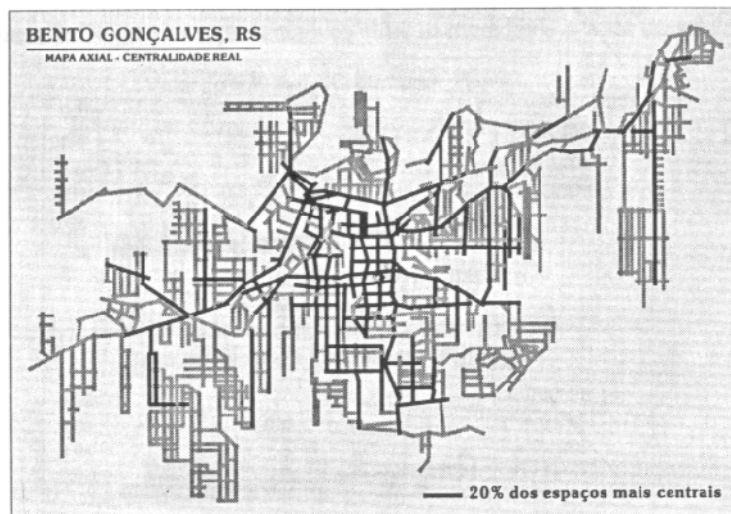


Figura 6.7– Representação em forma de Mapa dos resultados de Centralidade
 Fonte: SPINELLI & KRAFTA (1997).

Com isso percebemos que o processo completo de análise de Centralidade tornava-se extremamente trabalhoso em sistemas com grande número de unidades espaciais, e limitava muito as possibilidades de teste de alternativas e de visualização dos resultados finais. Para superar esses problemas, realizamos a vinculação do modelo de Centralidade a um Sistema de Informações Geográficas. Os procedimentos utilizados para isso estão descritos nos três itens seguintes.

6.4. Preparação dos dados

O primeiro passo na nova operacionalização proposta é definir a forma de representação das duas variáveis principais do Modelo de Centralidade. Adotamos, para a forma edificada, a representação através de Unidade de Forma Edificada (BFU), conforme o proposto e definido por KRAFTA (1994), pelo fato de ser perfeitamente compatível com as informações contidas nos cadastros municipais.

Para os espaços públicos, a unidade de representação adotada foi o trecho de logradouro. O motivo principal para essa escolha é a intenção de integração da ferramenta proposta com outras análises e operações que possam vir a fazer parte de um Sistema de Suporte ao Planejamento mais amplo (abordado no item 5 - *Sistemas de Suporte ao Planejamento*), o que só seria viável adotando o trecho de logradouro como unidade. Além disso, procuramos superar as limitações apresentadas por esse tipo de representação através dos recursos de manipulação

de elementos espaciais que o SIG oferece, conforme será discutido no item *Contribuições ao Modelo de Centralidade*.

O primeiro passo para a vinculação do modelo de Centralidade ao SIG é a conversão dos dados sobre as unidades edificadas (presente na base cadastral) em atributos de forma construída, segundo os requerimentos da Centralidade. A Figura 6.8 apresenta o modelo de dados da base cadastral.

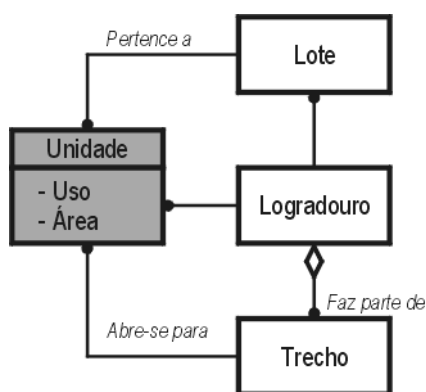


Figura 6.8 – Modelo de dados da base cadastral

Nele, a classe “Unidade” é a mais importante para este trabalho¹⁴, pois é a ela que as outras informações estão associadas. Uma Unidade representa uma residência ou uma loja ou um serviço. Um centro comercial contém muitas lojas e, portanto, estará representado no cadastro por um número equivalente de unidades comerciais. O mesmo vale para os outros usos. Um edifício residencial será representado por diversas unidades residenciais. Cada uma dessas unidades terá, na tabela, informações adicionais tais como uso, área, endereço, inscrição imobiliária e número de pavimentos, entre outras.

Já no modelo de Centralidade, a classe “Espaços” é a mais importante (Figura 6.9), pois é nela que estarão agregadas as informações sobre a forma edificada (BFU) e é dela que serão depreendidas as informações de conectividade. Essa relação de conectividade tem um atributo associado, que é o custo. Nesta etapa do trabalho, assumimos o custo como sendo sempre igual a 1. No item *Contribuições ao Modelo de Centralidade* exploraremos essa questão mais a fundo.

¹⁴ Para as bases cadastrais de modo geral a unidade mais relevante é a propriedade.

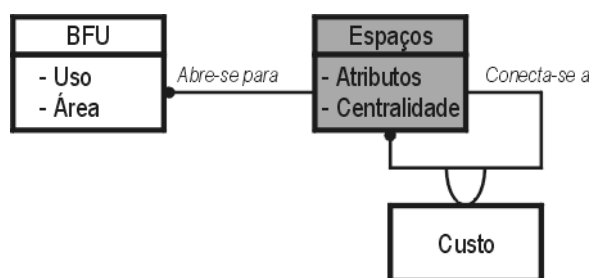


Figura 6.9 – Modelo de dados do modelo de Centralidade

O desafio na etapa de preparação dos dados para a análise é, portanto, realizar a transição entre um modelo de dados (o da base cadastral) e outro (o do modelo de Centralidade). Mais especificamente, o problema pode ser resumido a uma questão de reagregação de dados.

O elemento-chave para essa reagregação são os trechos de logradouros (ou “espaços” no modelo de Centralidade). Eles são equivalentes em ambos os modelos, mas para utilizá-lo no modelo de Centralidade são necessárias informações sobre a quantidade de formas construídas que ele possui, o que não existe de forma explícita nas informações contidas na base cadastral.

Criamos então um *script* que, a partir de um tema contendo os elementos espaciais (trechos de logradouros) e de uma tabela de atributos alfanuméricos proveniente da base cadastral, cria uma nova tabela (adequada ao modelo de Centralidade) e agrega as informações sobre os usos e áreas por trecho de logradouro. Essa nova tabela constitui-se num conceito importante na nova operacionalização do modelo de Centralidade. Ela representa um **estado do sistema**, e a partir deste ponto será chamada de “Tabela de estado do sistema”, ou apenas de **“Tabela de estado”**.

Depois disso, o passo seguinte é o cálculo dos atributos de forma edificada de cada espaço. Esse procedimento pode ser realizado de duas formas: levando em consideração apenas a quantidade de edificações (Centralidade Morfológica) ou levando em consideração a quantidade de edificações e seus usos (Centralidade Real). O uso, nesse caso, influencia como um fator de ponderação (conforme explicado no item 4.4.2 – *Medidas possíveis*).

O *script* para o cálculo de atributos preenche dois novos campos na tabela, relativos aos atributos para Centralidade Morfológica e Centralidade Real, e permite ao usuário modificar os parâmetros de calibração, caso deseje (Figura 6.10).

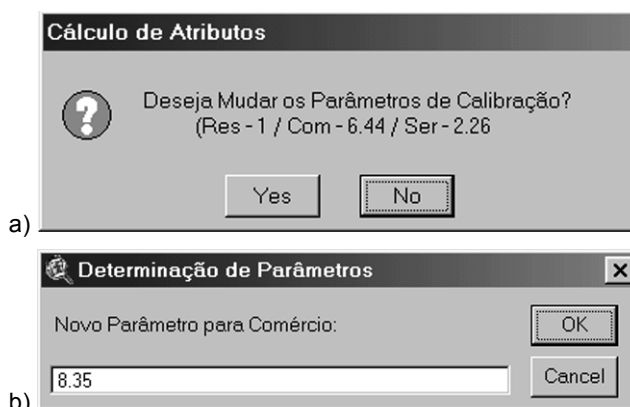


Figura 6.10 – a) Possibilidade de escolher entre mudar ou não os parâmetros de calibração; b) Mudança do parâmetro para uso comercial.

A tabela de estado do sistema pode ser clonada e utilizada em testes de alternativas, e daí vem sua importância. Assim, as cópias podem ser editadas para simular situações hipotéticas, representando outros estados do sistema. Pode ser interessante, por exemplo, testar a influência de um shopping no *ranking* de Centralidade de um sistema, posicionando-o em diversas localizações e comparando-as. Para isso, selecionamos os espaços desejados em cada tabela clonada e editamos os campos relativos à quantidade de unidades e à área total, e em seguida geramos os atributos novamente. Nesse ponto, as facilidades de manipulação de dados apresentadas pelo SIG podem ser especialmente interessantes. Podemos fazer a escolha dos espaços de forma visual, clicando sobre ele no mapa. Isso seleciona automaticamente seu registro na tabela de estado, permitindo acesso direto a ele (Figura 6.11). Podemos também testar hipóteses variando apenas o valor dos parâmetros de calibração.

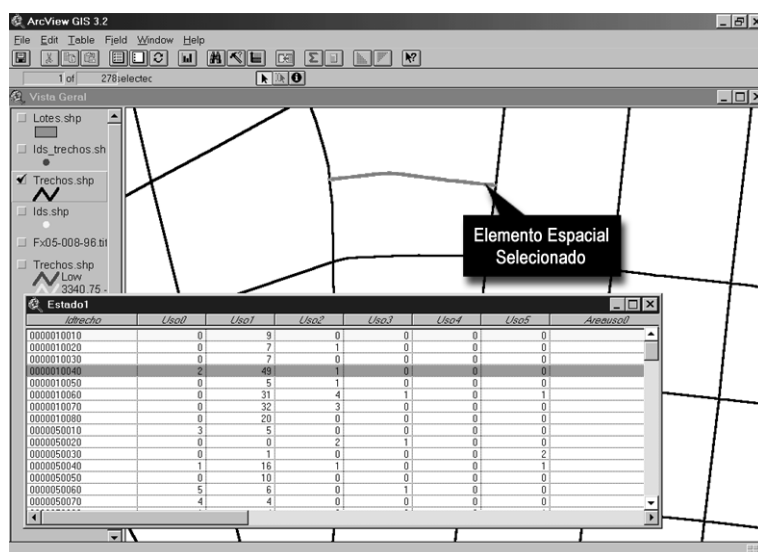


Figura 6.11 – Seleção de elementos espaciais e edição da tabela de estado no ArcView

O estudo de hipóteses pode incluir também a criação de novos espaços, para estudar a influência de mudanças na configuração. Nesse caso, devemos fazer a edição diretamente no tema de elementos espaciais, e criar uma nova tabela de estado do sistema. Nessa tabela, não haverá informações de atributos sobre os novos espaços criados, visto que nenhuma das unidades preexistentes se abre para ele. Entretanto, podemos simular uma ocupação, com finalidade analítica, editando a tabela conforme o procedimento já explicado.

O funcionamento da etapa de preparação dos dados está sintetizado na Figura 6.12.

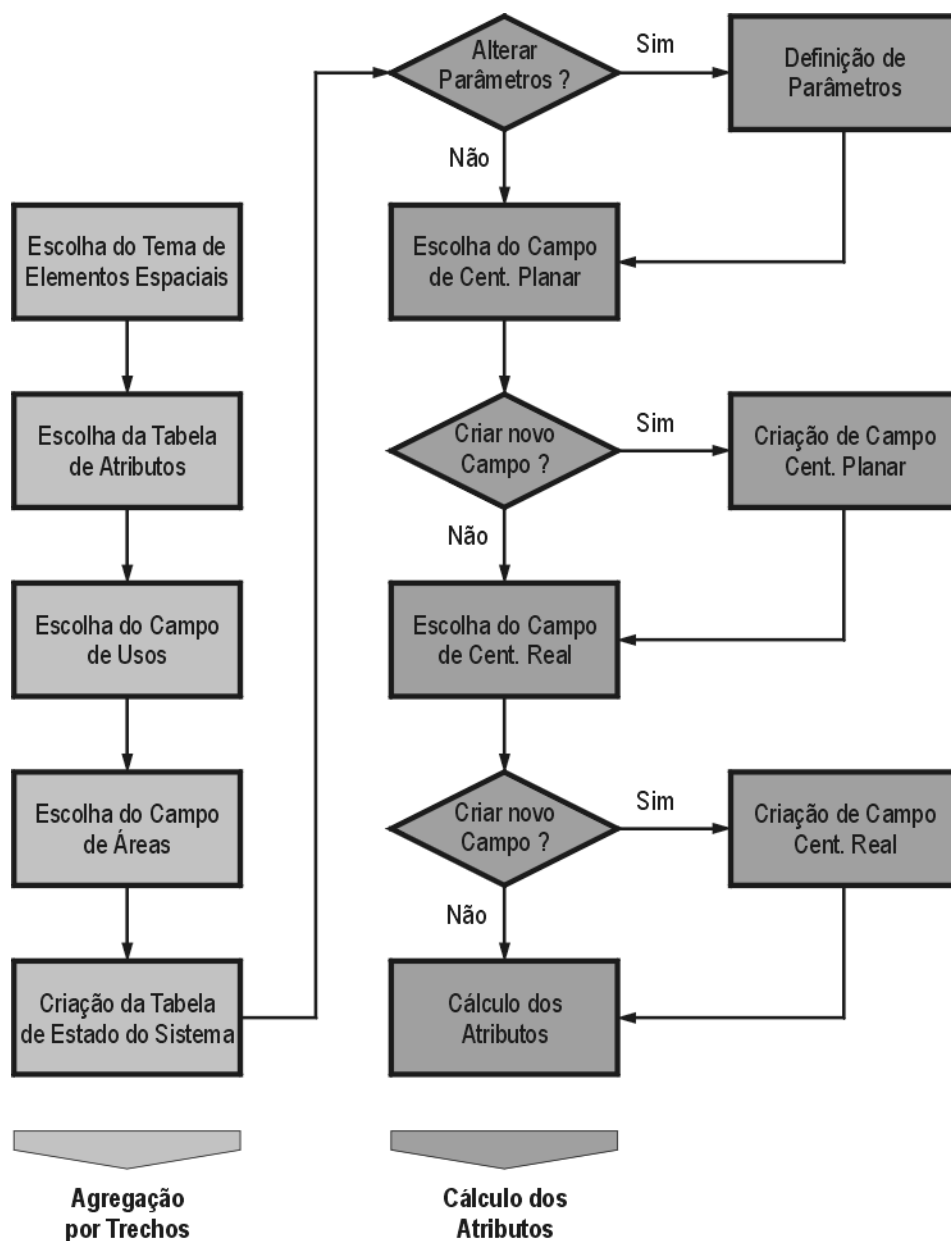


Figura 6.12 – Funcionamento da fase de preparação dos dados

6.5. Estágio 1 – Vinculação Fraca

Neste primeiro estágio de vinculação do modelo de Centralidade ao SIG, o que propomos é deixar a cargo deste último a confecção automática dos dados de entrada a partir dos dados contidos na base cadastral, que é a parte mais trabalhosa do processo tradicional. Além disso, o SIG realiza também a leitura do arquivo de texto contendo os resultados do modelo, e preenche as tabelas de dados, possibilitando a criação quase imediata dos mais variados mapas temáticos.

6.5.1. Confecção do arquivo com os dados de entrada

Como resultado desta primeira etapa, cada tabela de estado do sistema gera um arquivo de texto que deverá ser inserido no *software* de Centralidade. Esse arquivo de texto é composto segundo a estrutura ilustrada na Figura 6.1a. Para compô-lo, o sistema primeiramente pergunta ao usuário qual é o campo de atributos a ser utilizado. Isso é necessário porque: a) em uma tabela de estado de sistema sempre existem pelo menos dois campos de atributos, relativos à Centralidade Real e à Centralidade Planar; e b) é possível adicionar outros campos de atributos a uma tabela de estado, variando os parâmetros de calibração.

A seguir, o sistema percorre todas as linhas da tabela, obtendo os valores dos atributos, e adicionando-os ao arquivo de texto. Feito isso, são testadas todas as conectividades entre os elementos espaciais (comando *intersect* do *Avenue*), e adicionadas ao arquivo de texto. Por último, uma linha contendo “0 0” é o sinal que informa ao *software* o final do arquivo. O usuário pode ainda escolher a localização e o nome do arquivo que conterà os dados de entrada do *software* de Centralidade.

6.5.2. Importação do arquivo de resultados

Após o processamento dos dados, o *software* retorna um novo arquivo de texto com os resultados. Esse arquivo é lido pelo ArcView, que se encarrega de preencher os campos da tabela de estado do sistema com os índices de Centralidade Absoluta e Centralidade Relativa (Figura 6.13).

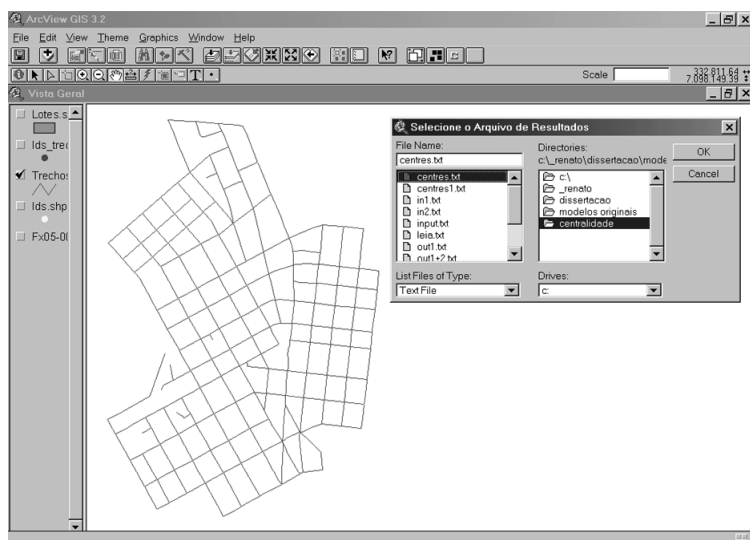


Figura 6.13 – Interface para a importação do arquivo de resultados do software de Centralidade

O *script* permite também que o usuário escolha o nome do campo que irá abrigar os resultados na tabela de estado do sistema, ou que crie um novo campo (Figura 6.14). Dessa forma, numa mesma tabela de estado pode haver vários campos de atributos, aos quais corresponderão vários campos de índices de Centralidade (Figura 6.15).

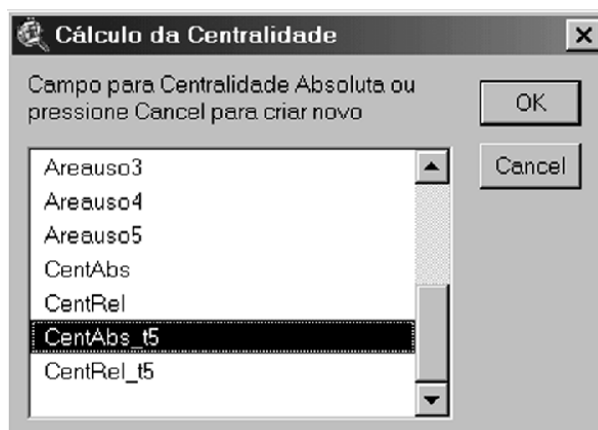
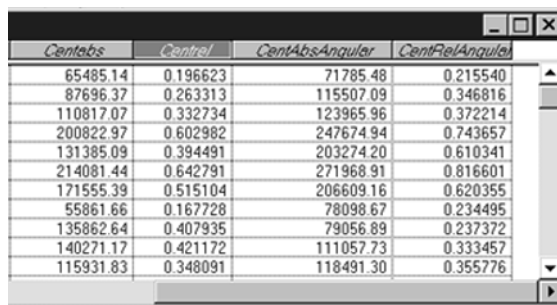


Figura 6.14 – Interface para a escolha do campo que receberá os valores de Centralidade, com a possibilidade de criação de novos campos



CentAbs	Central	CentAbsAngular	CentRelAngular
65485.14	0.196623	71785.48	0.215540
87696.37	0.263313	115507.09	0.346816
110817.07	0.332734	123965.96	0.372214
200822.97	0.602982	247674.94	0.743657
131385.09	0.394491	203274.20	0.610341
214081.44	0.642791	271968.91	0.816601
171555.39	0.515104	206609.16	0.620355
55861.66	0.167728	78098.67	0.234495
135862.64	0.407935	79056.89	0.237372
140271.17	0.421172	111057.73	0.333457
115931.83	0.348091	118491.30	0.355776

Figura 6.15 – Múltiplos campos de Centralidade em uma Tabela de Estado do Sistema

6.6. Estágio 2 – Vinculação Forte

Na vinculação forte, a essência do funcionamento da ferramenta é a mesma, com a diferença que, nesta, o intercâmbio de informações entre o modelo e o SIG é invisível ao usuário. Isso foi alcançado com a utilização de um novo módulo analítico, escrito em Delphi e compilado como uma DLL, que é acessado pelo *script* em *Avenue*.

Uma DLL (*Dinamic Link Library*) é um módulo de código compilado que trabalha em conjunto com uma aplicação para lhe fornecer funcionalidade adicional. Ela é acessada pela aplicação no momento da sua execução (daí o nome *Dinamic*), ao invés de ser incorporada ao código da aplicação antes da compilação. A vantagem de usar DLLs é que elas tornam possível a reutilização de códigos frequentemente utilizados sem que seja necessário reescrevê-los.

A comunicação entre o *Avenue* e uma DLL é feita através da passagem de parâmetros. Considere os seguintes comandos em *Avenue*:

```
myDLL=DLL.Make("c:\Centralidade\Centralidade.dll".asFileName)
Cent = DLLProc.Make(myDLL, "Centres", #DLLPROC_TYPE_str,
                    {#DLLPROC_TYPE_str})
x = Cent.Call({input})
```

A primeira linha define a localização e o nome da DLL a ser acessada. A segunda linha determina o nome da função a ser acessada dentro da DLL (*Centres*) e o tipo dos parâmetro a serem intercambiados. Neste caso, o código *Avenue* passa um parâmetro do tipo *String* e recebe como resultado um parâmetro também do tipo *String*. A última linha passa a variável "input" como parâmetro para a DLL e atribui a "x" o resultado devolvido por ela. Essa variável "input" é análoga ao arquivo TXT de entrada no *software* de Centralidade, com algumas pequenas modificações na sua estrutura introduzidas para suportar a passagem dos identificadores dos

espaços (IDs) à DLL. Isso é importante para assegurar a coerência do processo quando os resultados retornarem e os valores forem atribuídos aos espaços contidos na tabela de estado.

O funcionamento da ferramenta neste segundo estágio de vinculação, portanto, não se baseia no compartilhamento de arquivos. Assim que os dados sobre o sistema estiverem preparados, o usuário roda o *script* do cálculo da Centralidade (que pode ser acessado através de um item de um Menu do ArcView ou de um botão na sua interface – Figura 6.16), e o sistema processa a análise automaticamente. As únicas interações com o usuário são para a escolha da tabela de estado do sistema e do campo de atributos. O processo completo está ilustrado na Figura 6.17.

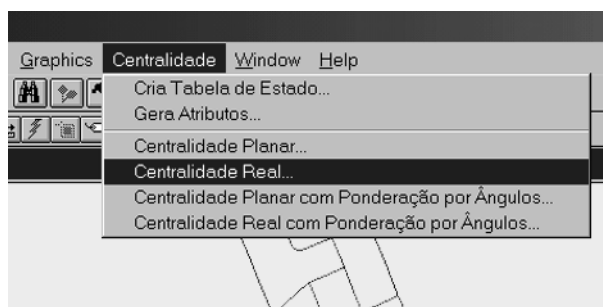


Figura 6.16 – Interface do ArcView para o cálculo da Centralidade

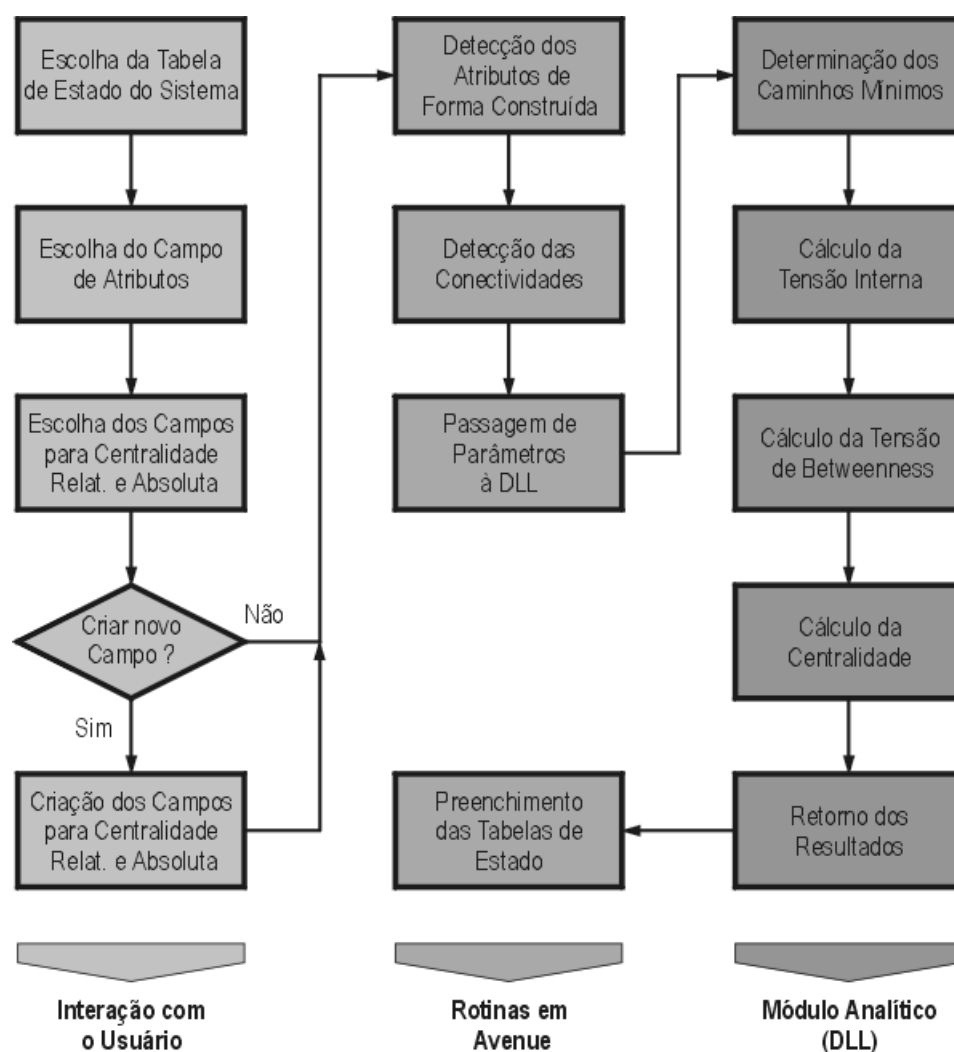


Figura 6.17 – Funcionamento da ferramenta proposta na etapa de vinculação forte.

6.7. Comparação entre os tipos de vinculação

As duas formas de vinculação entre o Modelo de Centralidade e o SIG representaram um avanço em relação ao processo tradicional de análise exposto no item 6.3. Entretanto, elas apresentam algumas peculiaridades que merecem ser destacadas neste estudo.

A vinculação fraca revelou-se bastante simples de ser implementada, quando comparada à vinculação forte. O processo resumiu-se a implementar *scripts* em *Avenue* que fossem capazes de compor o arquivo TXT exigido pelo *software* de Centralidade. Além disso, essa relativa facilidade possibilita que o modelo seja vinculado a outros *softwares*, além do ArcView, contanto que estes possuam linguagens de programação embutidas capazes de manipular os dados geográficos e alfanuméricos, e fornecer um arquivo TXT no formato adequado. Portanto, o fato

de já existir um *software* pronto para a análise desejada pode ser um critério decisivo a favor da vinculação fraca na escolha por uma das duas formas de vinculação.

Entretanto, a forma de transferência de dados (compartilhamento de arquivos) pode gerar erros no processo, principalmente em sistemas grandes e quando o número de simulações a serem feitas é alto. O usuário precisa estar atento aos nomes dados aos arquivos e à localização de cada um deles. Além disso, o *software* de Centralidade só lê arquivos localizados no seu próprio diretório, o que introduz dificuldades adicionais de gerenciamento de arquivos. Como último ponto, devemos ressaltar que o *software* de Centralidade gera arquivos de resultados sempre com o mesmo nome (Centres.txt), exigindo que o usuário renomeie-o imediatamente após a sua criação para poder manter o controle sobre os arquivos.

No caso da vinculação forte, as vantagens quanto à operação do sistema são evidentes. Com os dados preparados, o usuário precisa apenas apertar o botão referente à medida de Centralidade que deseja obter e esperar o processamento terminar para ter todos os campos escolhidos por ele devidamente preenchidos pelos resultados.

No entanto, essa etapa exigiu a recriação do módulo analítico, desta vez na forma de uma DLL. Essa recriação pode ser feita de forma relativamente simples, caso se tenha acesso ao código-fonte do *software* já existente, fazendo algumas adaptações e recompilando-o.

No caso deste trabalho, a recriação do módulo analítico foi necessária por dois motivos: em primeiro lugar, nossa intenção era poder comparar as duas formas de vinculação, e detectar suas vantagens e desvantagens. Em segundo lugar, desejávamos testar avanços na operacionalização do modelo, o que só seria possível mudando os algoritmos internos do módulo analítico. O que queremos ressaltar, portanto, é que existem situações especiais em que este necessita ser recriado. Entretanto, em grande parte das aplicações o módulo analítico pode ser facilmente adaptado para a vinculação forte, através da recompilação, sem a necessidade de ser totalmente reescrito.

Outro ponto a favor da vinculação forte, do modo como foi feita neste trabalho, é o caráter modular que a DLL possibilita. Assim como na vinculação fraca, aqui também é possível reutilizar o módulo analítico em outros *softwares* de SIG, contanto que estes tenham condições de lhe passar os dados em formato adequado. Isso fica mais claro quando comparamos com a possibilidade de realizar

a vinculação forte totalmente dentro da linguagem embutida no SIG. No caso do ArcView, portanto, seria como implementar todo o modelo de Centralidade em *Avenue*.

Isso apresenta duas sérias limitações: a primeira é que essas linguagens normalmente têm um desempenho lento, quando comparada a linguagens como Delphi e C. O algoritmo da Centralidade, por ter que encontrar caminhos mínimos, exige uma boa capacidade de processamento, o que acaba tornando inviável sua implementação em *Avenue* para sistemas médios e grandes.

A segunda limitação é a versatilidade da ferramenta. Implementar o modelo inteiro em *Avenue* significaria “aprisioná-lo” dentro do ArcView. Caso desejássemos implementar o modelo em outro software de SIG, seria necessário reescrevê-lo totalmente, traduzindo-o para a linguagem de programação que estivesse embutida no outro software.

Com a vinculação via DLL, apenas a fase de preparação de dados e leitura dos resultados precisa ser implementada na linguagem embutida no SIG. A parte principal – e mais exigente em termos de performance – fica a cargo da DLL, que pode ser reaproveitada em outros softwares.

Concluimos, portanto, que ambos os tipos de vinculação têm suas qualidades e limitações, devendo ser analisados à luz das condições nas quais serão implementados. De modo geral, caso já exista um modelo pronto, em forma de um *software* independente, e não se tenha acesso ao seu código-fonte, a opção pela vinculação fraca é a mais indicada. Caso contrário, a vinculação forte deve ser escolhida, pela facilidade de utilização e de manutenção dos dados a serem intercambiados.

Capítulo 7. Contribuições ao Modelo de Centralidade

Neste capítulo retomamos a hipótese de trabalho 2:

Hipótese 2 – O Sistema de Informações Geográficas pode contribuir para operacionalizar novos aportes teóricos no Modelo de Centralidade.

Para comprovar esta hipótese propomos uma modificação no cálculo das distâncias utilizado no Modelo de Centralidade, utilizando as capacidades do SIG para estabelecer uma nova forma de determinar os caminhos mínimos entre os pares de espaços do sistema.

7.1. Considerações Iniciais

No caso do Modelo de Centralidade, novos aportes teóricos podem acontecer sob duas formas:

- a) através do aumento do leque de variáveis disponíveis para utilização no modelo, introduzido pela capacidade de manipulação e integração de bases de dados diversas, inclusive entre setores diferentes do órgão de planejamento.

b) através da capacidade de manipulação de dados espaciais que o SIG oferece, que permite testar diferentes representações e padrões de agregação dos elementos espaciais, assim como novas maneiras de estabelecer relações entre eles, aprimorando as relações topológicas.

O item (a) representa a capacidade de escolha de variáveis a serem inseridas no modelo. No caso específico da Centralidade, a primeira possibilidade que vislumbramos é na ponderação dos atributos dos espaços.

Normalmente, a quantidade de BFUs utilizada para calcular o atributo de cada espaço é ponderada em função do tipo de atividade (residência, comércio e serviços), de forma a simular os diferentes graus de atratividade que cada uma das atividades possui dentro da estrutura urbana. Esse valor é alcançado através de análises de regressão, comparando os valores de Centralidade obtidos para um sistema com variáveis como fluxos de pedestres ou valor do solo, num processo chamado de **calibração**.

Com a introdução do SIG, essa ponderação pode levar em consideração outros fatores, além do uso do solo. A área construída ou o número de pavimentos da BFU, por exemplo, podem ser utilizados para diferenciar a escala das formas construídas, influenciando no cálculo dos atributos totais de cada espaço (SPINELLI & KRAFTA, 1998).

Seguindo a mesma lógica, outros fatores podem ser usados como ponderadores, como por exemplo o número de pavimentos, o número de habitantes, ou qualquer outra informação que o usuário julgar relevante para estimar a capacidade de atração de uma BFU, e que estiver contida em um banco de dados dentro do sistema.

Entretanto, o item (b) é o que, a nosso ver, oferece possibilidades mais promissoras, visto que alguns dos problemas relacionados à representação de variáveis – principalmente espaciais – ainda não foram resolvidos. Esses problemas estão descritos no item seguinte, e no item *Representação dos elementos espaciais: uma alternativa possível* propomos uma alternativa para a sua solução.

7.2. O problema da representação

A forma de representação dos elementos espaciais com melhores resultados apresentados, segundo KRAFTA (1994), foram as linhas axiais. Entretanto, estas apresentam algumas limitações: KRAFTA (1996) ressalta seu grau de generalização, principalmente quando utilizadas em situações onde é necessário

um certo grau de detalhamento na localização das atividades. Atividades de serviço, por exemplo, costumam localizar-se em áreas-chave do sistema, o que não poderia ser observado utilizando-se linhas axiais em sistemas de grelha regular.

TURNER (2000) argumenta que pode haver desequilíbrios causados por áreas complexas do ponto de vista configuracional. Isso acontece porque nessas áreas seria necessário uma maior número de linhas axiais, o que acabaria por atribuir um “peso” excessivo a elas.

Além disso, podemos observar outras limitações das linhas axiais:

- Grande dose de subjetividade na sua determinação, uma vez que a escala em que as linhas são traçadas influencia em grande medida no resultado final e no tamanho do sistema;
- Dificuldade de harmonização com outras unidades espaciais utilizadas em planejamento, como por exemplo os próprios trechos de logradouros, utilizados em um grande número de análises de redes, principalmente de transportes. Essa dificuldade decorre do fato de não haver qualquer relação possível de associação entre eles, pois linhas axiais podem terminar nas extremidades dos trechos, assim como em qualquer ponto ao longo deles. Isso cria dificuldades à tarefa de intercambiar informações entre os elementos;
- Falta de refinamento na apresentação dos resultados, uma vez que uma linha axial sempre apresentará o mesmo índice de centralidade. Assim pontos extremos da linha axial serão apresentados indistintamente, por maior que seja a distância entre eles e a diversidade de condições em que se encontrem.

Entretanto, ainda assim as linhas axiais se saíram melhor nas correlações encontradas (KRAFTA, 1994). KRAFTA (1996) atribui esse fato à capacidade que possuem de captar uma importante propriedade do traçado: a conectividade. A isso podemos acrescentar outro fator: com as linhas axiais é possível detectar a linearidade do traçado, no sentido de que pares de espaços que possam ser acessíveis por rotas mais lineares (com menos mudanças de direção) acabam sendo representados topologicamente mais próximos.

Podemos ilustrar melhor esse argumento comparando a representação axial com a representação por trechos. Na Figura 7.1, a rota (a) é considerada igual à

rota (b) (4 passos topológicos), apesar de ser muito mais linear. Essa diferença, ignorada pela representação por trechos, seria captada pelas linhas axiais.

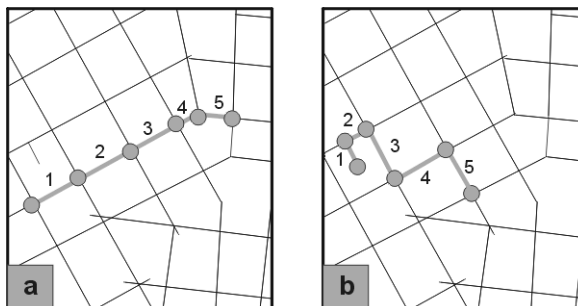


Figura 7.1 – Caminhos com 4 passos topológicos em representações por trechos

KRAFTA utiliza outra forma de representação, denominada “*point-axial*” para tentar superar esse problema (KRUGER, 1989 apud KRAFTA, 1996)¹⁵. Nela, ao contrário da representação por linhas axiais ou por trechos de logradouros, as interseções entre os elementos é que definem os nós do grafo resultante. Todas as interseções que fariam parte de uma mesma linha axial são consideradas diretamente conectadas (Figura 7.2).

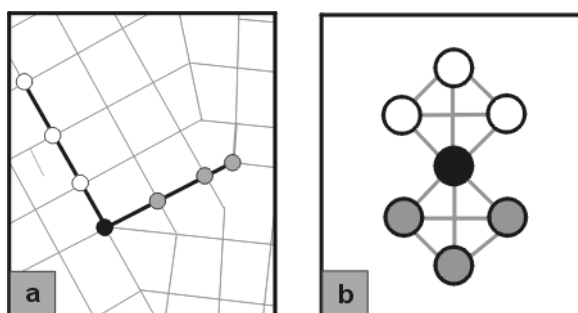


Figura 7.2 – a) Representação Point-Axial; b) Grafo resultante.

Entretanto, como o próprio KRAFTA reconhece, esse tipo de representação traz alguns inconvenientes. O tamanho dos grafos resultantes normalmente é muito grande, e a confecção das adjacências é complicada e sujeita a erros. Além disso,

¹⁵ KRUGER MJT. On node and axial maps: distance measures and related topics. European Conference on Management and Representation of Urban Change, Cambridge, 1989. Apud KRAFTA, R. Urban convergence: morphology and attraction. *Environment & Planning B*, v. 23, n.1, p.37-48, 1996.

ressaltamos que o modo como as atividades são agregadas (pelas interseções, a partir da zona de influência de cada uma) introduz dificuldades adicionais.

Portanto, todas as representações dos elementos espaciais testadas até aqui apresentaram limitações significativas. Do ponto de vista do nível de detalhamento e do compartilhamento de dados, os trechos seriam a unidade mais indicada para agregar as informações sobre a forma edificada. Entretanto, seus resultados nas correlações obtidas não foram tão satisfatórios quanto os alcançados pelas linhas axiais. O item seguinte procura oferecer uma alternativa possível para a solução desse problema.

7.3. Representação dos elementos espaciais: uma alternativa possível

TURNER (2000) , em seu artigo intitulado “*Angular analysis: a method for the quantification of space*”, introduz a idéia de avaliação de caminhos mínimos a partir do ângulo formado entre os segmentos que compõem os caminhos possíveis. Sua proposta baseia-se na noção de que pedestres tendem a se locomover buscando caminhos com menos desvios, e que uma quantificação do espaço segundo essa lógica poderia ser correlacionada com o fluxo de pedestres e o índice de ocupação dos espaços.

Essa idéia pode ser incorporada ao modelo de Centralidade como uma forma de manter a resolução propiciada pelos trechos de logradouros e, ao mesmo tempo, captar uma certa linearidade do traçado (e dos caminhos percorridos pelas pessoas), da mesma forma que as linhas axiais¹⁶.

Propomos, então, diferenciar os custos de deslocamento entre os trechos (que na Centralidade, assim como na Sintaxe, são sempre iguais a 1), de acordo com o ângulo que estes formam entre si. Isso é alcançado através de um ponderador, ou coeficiente de custo, a ser aplicado às suas conexões (Figura 7.3).

¹⁶ É necessário, entretanto, ressaltar que esse argumento está sendo adotado neste trabalho apenas como um possível novo aporte a ser considerado. Não pretendemos com ele esgotar as possibilidades de interpretação dos motivos que condicionam as escolhas individuais com respeito aos caminhos percorridos no espaço urbano.

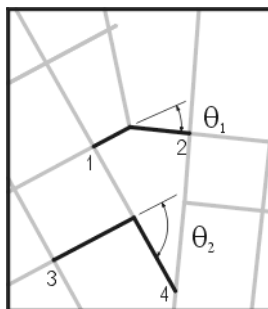


Figura 7.3 – Ponderação pelo ângulo de deflexão entre trechos de logradouros

Assim, a ligação entre dois trechos que se encontram formando um ângulo pequeno de deflexão (θ_1 na figura) teriam custo zero ou próximo de zero. Trechos que conformassem ângulos de deflexão maiores (θ_2 na figura) teriam sua ligação ponderada por um valor mais alto, perto de 1.

Isso resolveria praticamente todos os problemas citados anteriormente. Manteríamos o grau de definição dos trechos, com as informações atribuídas a eles e não às interseções, e ao mesmo tempo poderíamos superar o problema descrito na Figura 7.1. Nela, o comprimento dos caminhos seria diferente para (a) e (b), visto que os ângulos formados entre os segmentos são bastante diferentes entre um caminho e outro.

Assim, extremos opostos de uma mesma reta (que seria representada por uma única linha axial) mantêm uma certa distância entre si, ao mesmo tempo que mantêm sua resolução quanto às informações associadas a eles (que podem ser sobre a forma construída, no Modelo de Centralidade, ou sobre aspectos relevantes a outros tipos de análise, como velocidade do trecho, tipo de pavimentação, largura da via, etc.).

Entretanto, esse tipo de representação da configuração traz problemas operacionais. O primeiro deles é a determinação do ângulo de cada trecho. A dificuldade inicial deriva do fato de que cada trecho pode ter mais de um segmento de reta. A determinação do ângulo, portanto, não é direta. Optamos por aproximar o ângulo de acordo com o desenho geral do trecho, calculando-o em função dos pontos inicial e final. A Figura 7.4 ilustra esse processo.

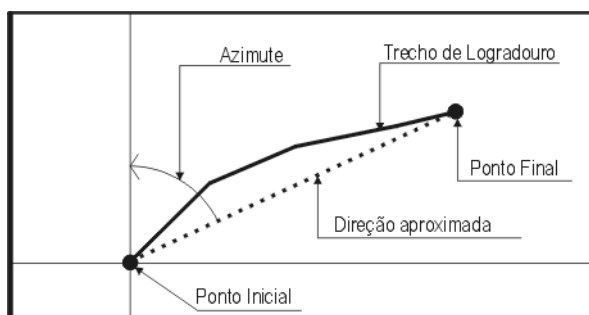


Figura 7.4 – Processo de aproximação dos ângulos dos trechos.

O cálculo do ângulo de deflexão, portanto, toma como base a diferença entre os azimutes aproximados dos dois trechos. Para a definição do azimute de cada trecho utilizamos um *script* em *Avenue* já existente (KIMBALL, 2000).

O segundo problema a ser superado é a implementação do algoritmo do caminho mínimo, que nesse caso precisa levar em consideração uma matriz de conectividades **ponderada**. Isso significa que as conexões entre os nós do grafo têm valores diferenciados, e não apenas 1 ou ∞ , no caso de estarem conectados ou não.

Além disso, o problema da grande quantidade de trechos, e o conseqüente aumento exponencial na quantidade de pares de espaços a serem processados, representam dificuldades técnicas adicionais em termos de capacidade de processamento. Entretanto, consideramos esse tipo de problema menos relevante, quando comparado ao avanço teórico que ele possibilita, principalmente pelo rápido crescimento na capacidade de processamento dos computadores pessoais verificado atualmente.

Fizemos, então, uma pequena adaptação na estrutura dos dados a serem passados ao modelo de Centralidade. Na parte referente às conectividades, acrescentamos mais um elemento: o custo entre ligações. Cada conectividade, portanto, passou a ter o seguinte formato:

$$n_1 \ n_2 ; c$$

Onde:

n_1 = número do primeiro espaço;

n_2 = número do segundo espaço; e

c = custo da conexão entre n_1 e n_2 .

Isso garantiu a operacionalização de um novo aporte teórico ao Modelo de Centralidade e a comprovação da hipótese 2. Com efeito, esse tipo de ponderação por ângulos seria virtualmente impossível no processo tradicional de análise da Centralidade. Por não ter uma base espacial, o *software* de Centralidade exigiria a detecção manual dos ângulos formados entre os elementos espaciais, o que, na prática, seria inviável a não ser para sistemas muito pequenos.

Além disso, essa ponderação por ângulos abriu novos caminhos para pesquisas futuras, que poderão utilizar a ferramenta criada neste trabalho como instrumento para testar novos *insights* sobre os sistemas urbanos. Esses novos caminhos serão discutidos mais adiante.

Capítulo 8. O Estudo de Caso: A cidade de Pato Branco – PR

8.1. Caracterização

Pato Branco é um município localizado no sudoeste do Estado do Paraná, com área total igual a 539 Km² (Figura 8.1). Sua população é de 62.167 pessoas, com aproximadamente 91% vivendo na área urbana (fonte: Resultado dos dados preliminares do Censo 2000).



Figura 8.1 – Localização do município de Pato Branco no Estado do Paraná (Fonte: DATASUS).

Adotamos a cidade de Pato Branco como estudo de caso neste trabalho pelas seguintes razões:

- a) Facilidade de acesso ao levantamento aerofotogramétrico e cadastral atualizado de toda a cidade, através do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Pato Branco (IPPUPB);
- b) Grande perspectiva de crescimento urbano verificada na cidade, em decorrência da previsão de implantação de diversos equipamentos em escala regional e nacional, e a necessidade de controle e monitoramento desse crescimento;
- c) Momento político pelo qual a cidade atravessa, de reformulação do seu Plano Diretor;
- d) Representatividade desse tipo de cidade no conjunto dos municípios brasileiros.

O recorte adotado foi o Centro da Cidade, conforme ilustrado na Figura 8.2. Ele representa apenas uma porção relativamente pequena do município. Entretanto, aproximadamente 25% de todas as BFUs contidas na base de dados alfanuméricas estão localizadas no Centro (4.963 de um total de 20.100 BFUs).

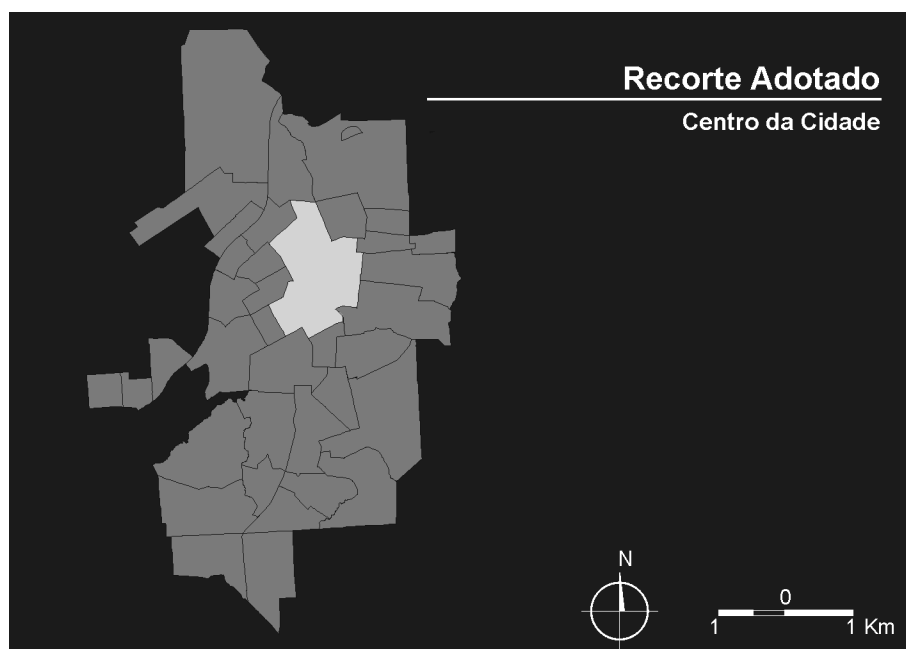


Figura 8.2 – Recorte adotado. Fonte: IPPUPB

A delimitação dos limites do recorte foi arbitrária, seguindo os limites administrativos de divisão de bairros adotado pelo município. Apesar de o ideal ser testar a cidade como um todo, isso não foi possível devido a limitações de tempo. Entretanto, esse recorte foi suficiente para testar a performance da ferramenta proposta diante de uma situação real. No caso de uma análise de Centralidade mais rigorosa, no entanto, o limite do sistema deve ser definido segundo critérios mais apropriados. Nesse sentido, o SIG também é de grande valia, uma vez que a seleção dos espaços que farão parte da análise pode ser facilmente realizada, possibilitando inclusive o teste de diferentes critérios para a delimitação dos sistemas.

8.2. A base de dados existente

A base de dados de Pato Branco foi feita com base no levantamento aerofotogramétrico de 1996 e consta basicamente de:

- a) Mapas com precisão compatível com a escala 1:2.000 (formato do AutoCAD), divididos por bairros, contendo *layers* de informações referentes aos lotes, edificações, eixos de logradouros, áreas verdes, curvas de nível, cursos d'água e arborização, entre outros.
- b) Base de dados alfanuméricos (formato do Microsoft Access) composto por tabelas relacionais contendo informações sobre logradouros e edificações, tais como área construída, uso, endereço, número de habitantes e número de inscrição do imóvel.
- c) Mapa com precisão compatível com a escala 1:10.000 (formato do AutoCAD) de toda a área urbana do município, contendo vias principais, limites de bairros e principais cursos d'água.
- d) Aerofotos em escala original 1:15.000 cobrindo toda a área urbana do município.

Utilizamos neste trabalho prioritariamente as bases de dados descritas nos itens (a) e (b). Nelas encontramos diversos problemas que impediram sua utilização imediata em um Sistema de Informações Geográficas. Esses problemas estão descritos mais detalhadamente no Apêndice, juntamente com a metodologia usada para superá-los.

Um ponto importante a ser ressaltado diz respeito à precisão das informações contidas nas bases de dados. Não foi possível estabelecer seu grau de

confiabilidade, pela falta de informações sobre os processos utilizados na confecção das bases. Sugerimos, portanto, a criação dos chamados “metadados”, que podem ser definidos como “dados sobre os dados”. Neles deveriam estar registradas informações como a exatidão da base cartográfica, a data da última atualização de cada elemento, e a responsabilidade pela manutenção de cada camada de informação, entre outras.

8.3. O processo

O processo de aplicação da ferramenta proposta neste trabalho seguiu a estrutura básica de procedimentos descritos no item “*Uma nova operacionalização do Modelo de Centralidade*”, e ilustrada na Figura 6.17, adotando a Vinculação Forte.

Fizemos todas as análises com base em três estados hipotéticos do sistema:

Estado t0 – Representa o estado atual da configuração e da distribuição das BFUs pelo sistema, sem nenhuma alteração nos dados (considerando as limitações quanto à precisão das informações impostas pela base de dados disponível).

Estado t1 – É o estado adotado como padrão para as análises. Representa o estado atual da configuração e da distribuição das BFUs pelo sistema, com a diferença que os atributos relativos ao espaços que faziam frente a espaços públicos (verdes) foram modificados.

Com isso, deparamo-nos com uma questão: como estimar os atributos das áreas verdes, já que elas não são quantificáveis por Unidades de Forma Construída? Optamos por “espelhar” os atributos das edificações que fazem frente para as áreas de lazer. Isso se baseia na hipótese de que as áreas verdes atuam como “potencializadoras” das atividades que a circundam. Assim, em áreas densamente ocupadas as áreas verdes tendem a contribuir positivamente para sua utilização; em áreas de ocupação esparsa, ao contrário, as áreas verdes tendem a contribuir para a sua não-utilização¹⁷.

Portanto, todos os trechos de logradouros contidos no recorte adotado que faziam frente para áreas verdes tiveram seus atributos “duplicados”.

¹⁷ Esse argumento se aplica apenas ao tipo padrão de áreas verdes intra-urbanas. Não se aplica, por exemplo, àquelas áreas verdes com equipamentos especiais de lazer, capazes de atrair fluxos com relativa independência do contexto em que estejam inseridas

Estado t2 – Neste estado do sistema simulamos a ocupação de um grande centro comercial para estudar as conseqüências no *ranking* de Centralidade do sistema, e analisar as contribuições da ferramenta para o processo.

Assim, substituímos o uso original de um grande lote situado na porção noroeste do recorte (Figura 8.3), atribuindo-lhe 160 BFUs com unidades comerciais, simulando um grande *shopping-center*. Para dar mais realismo à simulação, editamos manualmente a nova tabela de estado do sistema, dividindo a quantidade de BFUs pelos três trechos que faziam frente ao lote; pelo processo convencional, as BFUs deveriam ser atribuídas apenas a um trecho, aquele para o qual o lote se abre de acordo com o banco de dados. Esse processo revelou-se fácil, rápido e prático.

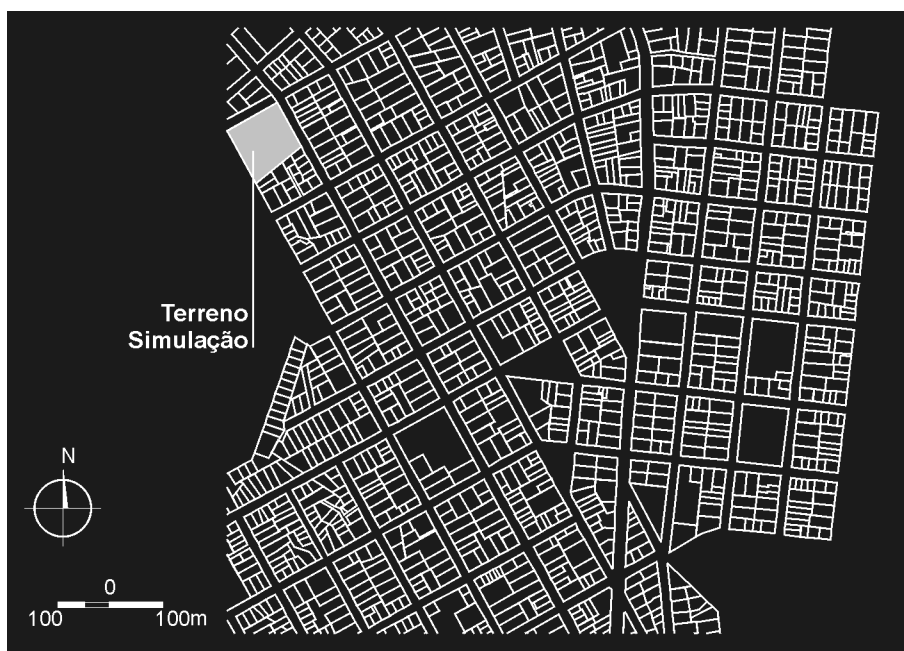


Figura 8.3 – Lote selecionado para simular a implantação de um Shopping Center. Fonte: IPPUPB

Para facilitar a organização e o acesso às informações, dividimos o projeto do ArcView em Vistas que representavam situações diferentes. Assim, a primeira Vista criada foi a Centralidade Planar. Rodamos o Modelo de Centralidade Planar, onde os atributos de todos os trechos são iguais a 1. Por esse motivo, a medida obtida para esse estado é válida também para os estados t1 e t2.

O resultado obtido está ilustrado na Figura 8.4:

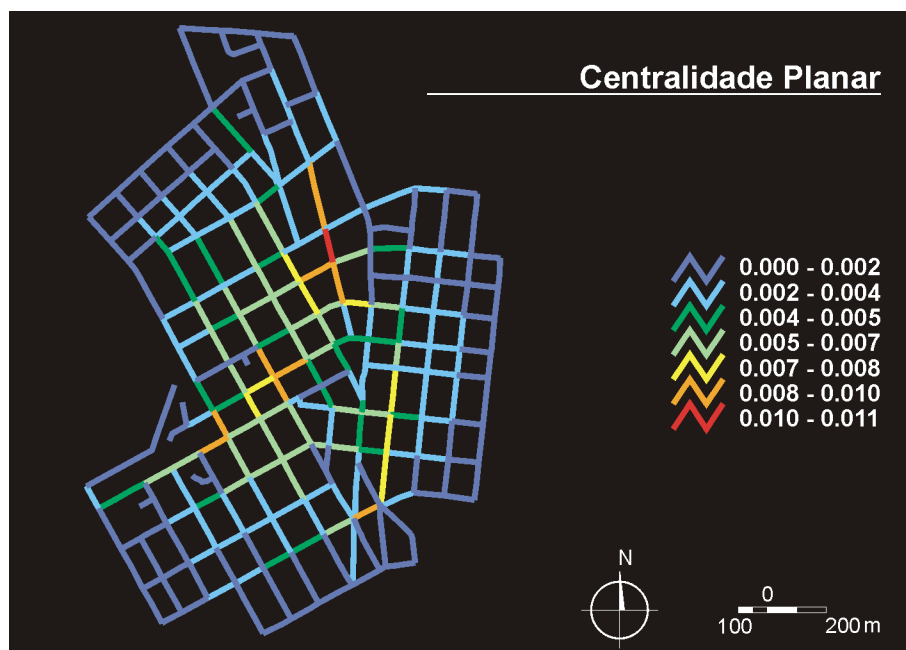


Figura 8.4 – Resultado da Centralidade Planar. Fonte: IPPUPB

A segunda Vista criada foi a Centralidade Morfológica para o Estado t1. O resultado obtido está ilustrado na Figura 8.5.

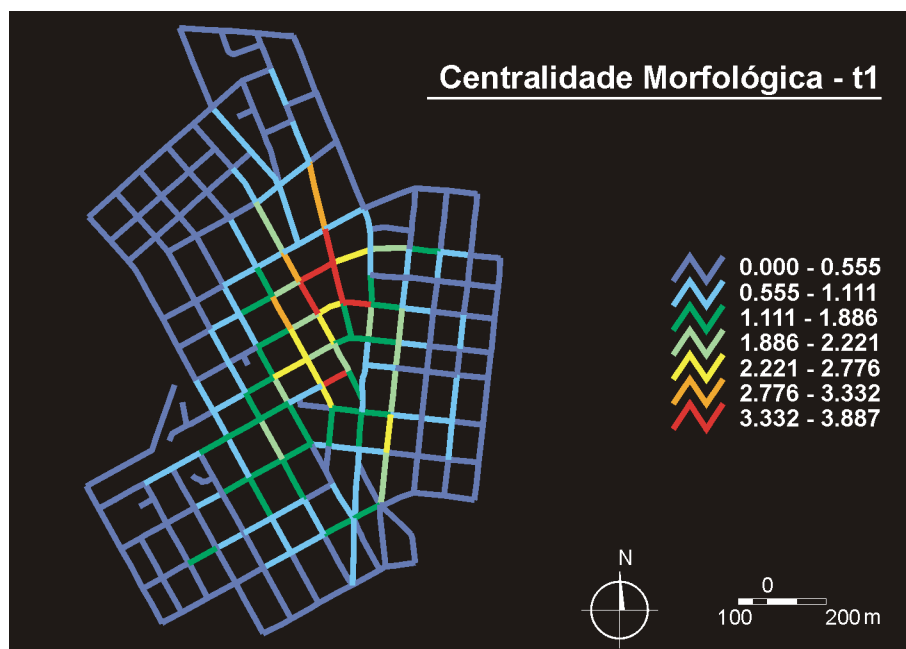


Figura 8.5 – Resultado da Centralidade Morfológica para o Estado t1. Fonte: IPPUPB

Para a medida de Centralidade Real adotamos os valores encontrados por BEVILACQUA (1994) para a ponderação da atratividade das atividades (valores de calibração): 6,44 para comércio e 2,26 para serviços, adotando o uso residencial

como unidade (valor de calibração igual a 1). Esses valores, no entanto, podem ser facilmente alterados por meio das caixas de diálogos.

A terceira Vista criada é a Centralidade Real para o Estado t0. O resultado obtido está ilustrado na Figura 8.6.

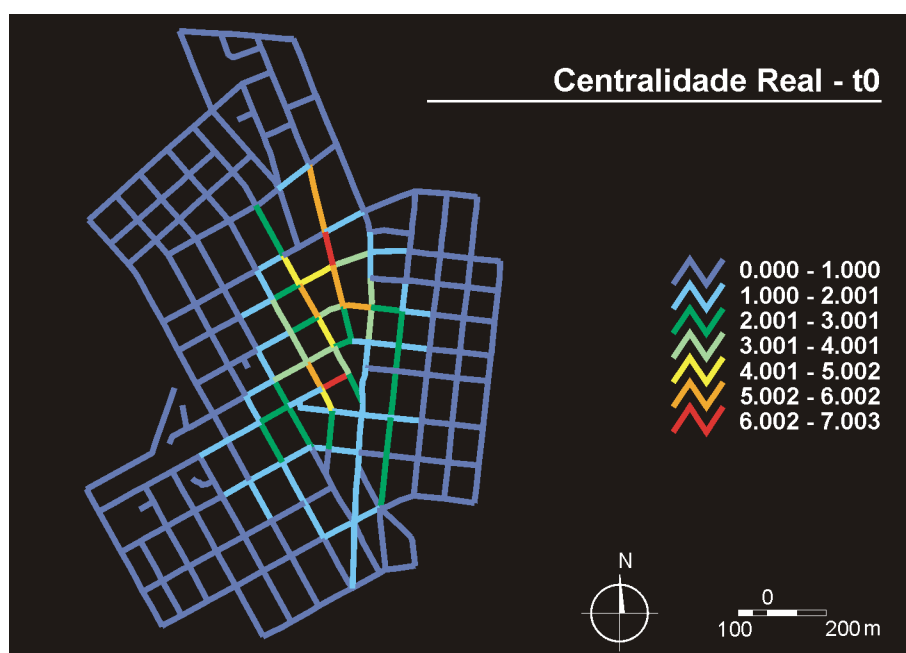


Figura 8.6 – Resultado da Centralidade Real para o Estado t0. Fonte: IPPUPB

A quarta e a quinta Vistas são relativas à Centralidade Real para os estados t1 e t2, e estão ilustradas nas Figuras 8.7 e 8.8:

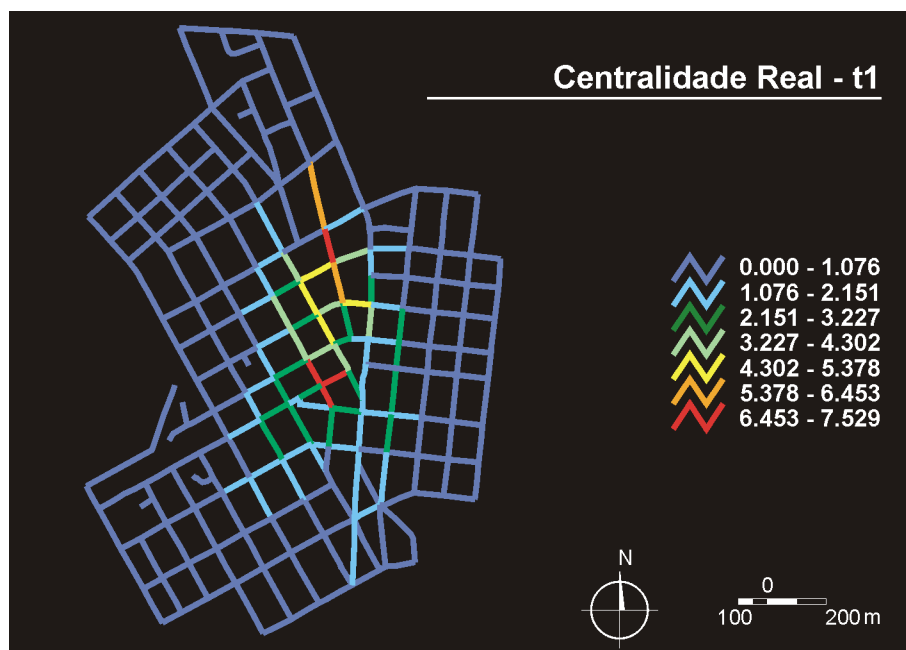


Figura 8.7 – Resultado da Centralidade Real para o Estado t1. Fonte: IPPUPB

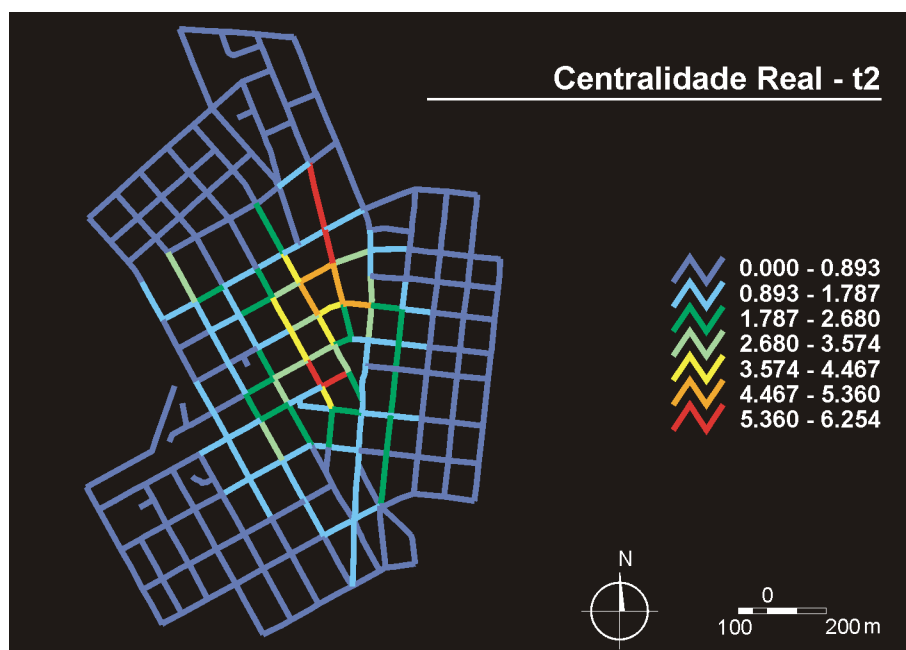


Figura 8.8 – Resultado da Centralidade Real para o Estado t2. Fonte: IPPUPB

Para implementar a alternativa proposta no item *Representação dos elementos espaciais: uma alternativa possível* era preciso atribuir um custo às conexões, estimado em função do ângulo que os trechos de logradouros formavam entre si. Para isso, dividimos os valores possíveis de custo em 5 faixas de valores, que variam de 0,2 a 1. Fizemos o mesmo para os ângulos possíveis, até 90°. A correspondência entre as duas faixas de valores é a seguinte:

0	–	18 graus	custo = 0,2;
18	–	36 graus	custo = 0,4;
36	–	54 graus	custo = 0,6;
54	–	72 graus	custo = 0,8;
maior que 72 graus:			custo = 1

É importante ressaltar que estes custos são, a princípio, arbitrários. Eles foram estimados de forma que o maior custo fosse igual a 1, por razões operacionais¹⁸. Existem diversos testes a serem feitos com esses custos, conforme será explorado no item *Desdobramentos da pesquisa*.

Os resultados obtidos para Centralidade com ponderação por ângulos estão ilustrados nas Figuras 8.9.

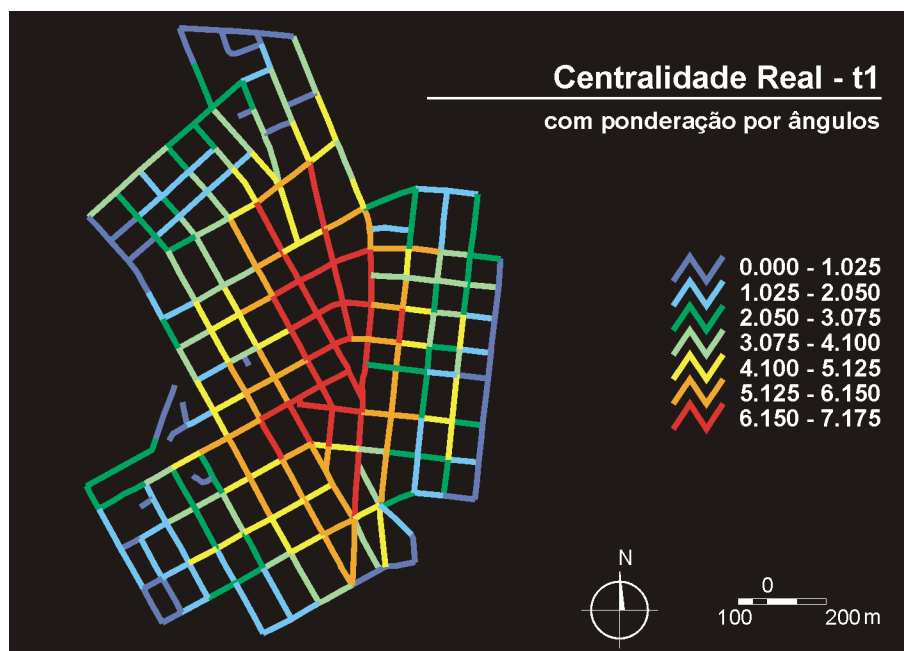


Figura 8.9 – Centralidade Real com ponderação por ângulos. Fonte: IPPUPB

¹⁸ Mantendo o custo entre conexões menor ou igual a 1, podemos manter o controle sobre a variável “infinito”, usada no módulo analítico para representar o custo entre trechos que não se conectam, e garantir que ela seja sempre maior que o comprimento de qualquer caminho mínimo possível entre dois pares de trechos.

8.4. Visualização dos resultados: novas possibilidades

A integração dos resultados de Centralidade a um SIG trouxe novas possibilidades de exploração das informações, que serão mais detalhadas neste item.

A primeira delas é a visualização dos “*Difference Maps*”. Eles consistem basicamente de mapas ilustrando a diferença entre duas situações, com cores que representam a variação dos dados, ao invés de seus valores absolutos. A Figura 8.10 mostra um *difference map* entre Centralidade Real e Centralidade Planar para o estado padrão (Estado t1).

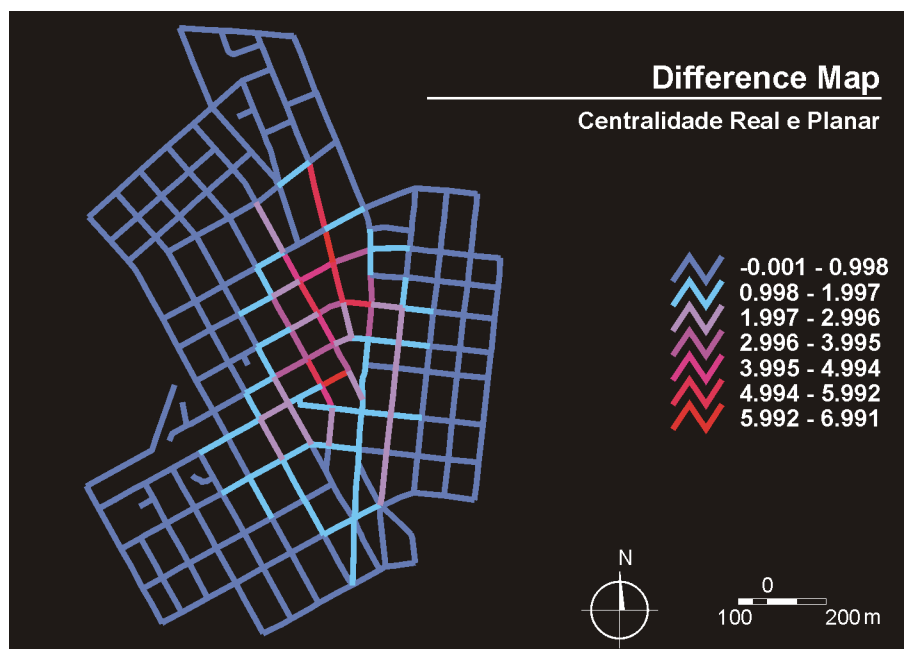


Figura 8.10 – *Difference map* entre Centralidade Real e Planar – Estado t1. Fonte: IPPUPB

A Figura 8.11 mostra um *difference map* entre a Centralidade Real para o Estado t2 e para o Estado t1, onde podemos ver claramente a influência da inserção do shopping-center. Os espaços cujos índices de Centralidade mais aumentaram estão representados em vermelho, e aqueles em que o índice diminuiu estão representados em azul. O verde claro representa a faixa de valores que praticamente não se alteraram. Notamos que a implantação do shopping criou uma espécie de segunda centralidade ao seu redor, diminuindo a importância da centralidade original.



Figura 8.11 – Difference Map entre estados t1 e t2 (implantação do shopping-center). Fonte: IPPUPB

Outra forma de visualização pode ser obtida acrescentando a aerofoto como fundo da imagem, aproveitando a capacidade de comunicação que ela possui para complementar as informações sobre a Centralidade.

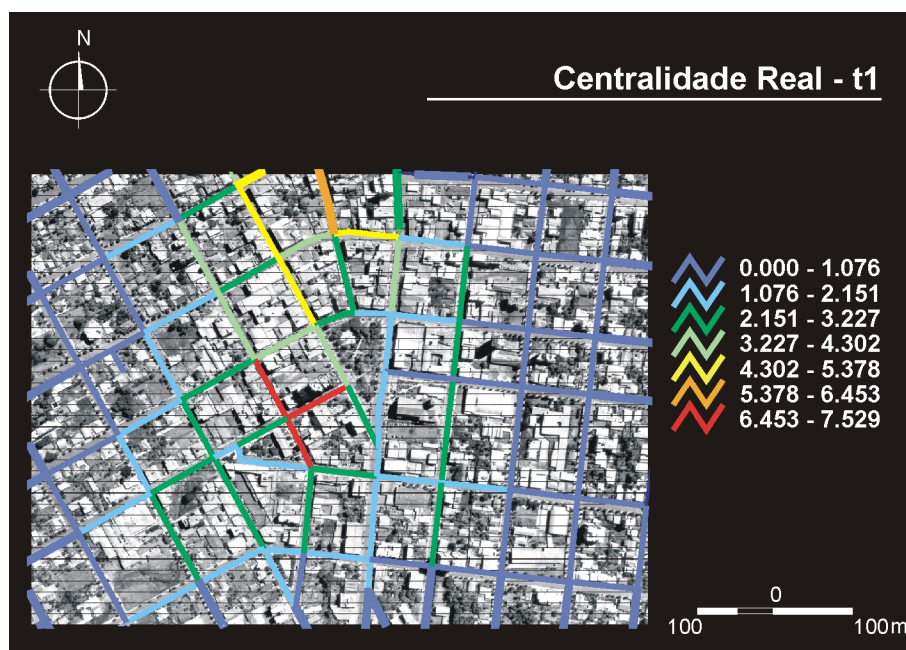


Figura 8.12 – Representação de Centralidade Real (t1) com ajuda de Aerofoto. Fonte: IPPUPB

A Figura 8.12 sugere que esse tipo de representação pode ser utilizado para comunicar os resultados da análise a pessoas que não estão completamente

familiarizadas com ela: outros integrantes da equipe de planejamento, tomadores de decisões e a própria comunidade em geral.

Por fim, propomos uma terceira forma de visualização dos resultados, vinculando-os aos lotes e não aos trechos de logradouros. O resultado mostrou-se bastante interessante, proporcionando uma leitura diferente de tudo que já se havia feito até agora (Figura 8.13). No mapa, os lotes representados em branco são aqueles que não possuem registro no banco de dados alfanumérico.

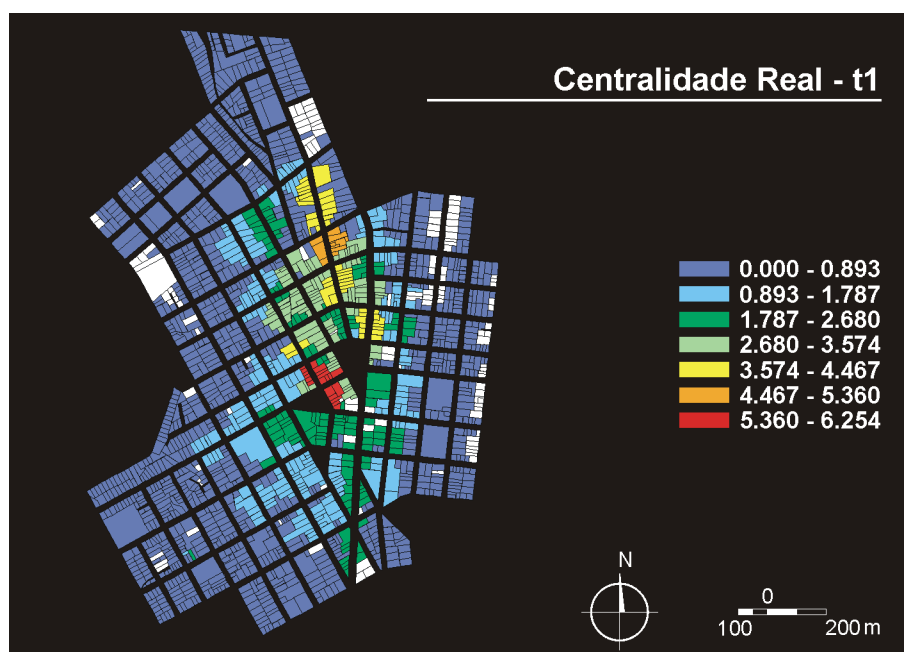


Figura 8.13 – Mapa de Centralidade Real (t1) aplicada aos lotes. Fonte: IPPUPB

A representação por lotes é um tanto arbitrária, pois aqueles localizados nas esquinas recebem o índice do trecho ao qual estão vinculados pelo banco de dados. De qualquer forma, a leitura dos resultados ganha em clareza, e se presta muito bem a análises que tenham os lotes como objeto de estudo, como em análises do valor do solo, por exemplo.

Podemos ainda combinar duas ou mais dessas representações num só mapa. Na Figura 8.14 mostramos a união de um *difference map* entre os estados t1 e t2 com a representação por lotes. Uma interpretação possível neste caso – e mais imediata do que na representação por trechos – seria considerar que os lotes representados em vermelho sofreriam as maiores valorizações com a implantação do *shopping*.



Figura 8.14 – Difference Map entre estados t1 e t2 aplicado aos lotes. Fonte: IPPUPB

Todas estas novas possibilidades de representação apresentadas aqui contribuem para comprovar as hipóteses levantadas no item 3.1.5 - *Visualização dos resultados* (p. 24). Elas podem auxiliar o entendimento do sistema e contribuir para novos *insights* e novas teorias, assim como facilitar a interação entre o analista e as demais partes envolvidas no processo de planejamento.

Capítulo 9. Conclusões

9.1. Quanto à nova operacionalização do modelo

De forma geral, concluímos que a união do Modelo de Centralidade ao SIG foi bem-sucedida. As vantagens enumeradas no item 3.1 – “*Vantagens da vinculação*” foram verificadas neste estudo de caso. Fazemos a seguir um breve comentário sobre cada uma delas.

9.1.1. Aproveitamento de dados existentes em formatos diversos

Neste estudo, pelo fato de estarmos concentrados especificamente no Modelo de Centralidade, não houve a necessidade de integrar dados de formatos diversos. Ainda assim, aproveitamos as capacidades do SIG para visualização, integrando a representação vetorial dos trechos de logradouros com a representação *raster* da aerofoto, criando uma comunicação mais rica. Apesar de não termos utilizado dados provenientes das aerofotos diretamente nas análises, podemos dizer que houve integração entre formatos diferentes de dados.

Entretanto, podemos vislumbrar diversas alternativas de análise a serem feitas utilizando outras fontes de informação além da base cadastral, partindo do que foi alcançado até o momento. Tendo os dados de Centralidade, podemos cruzá-los com os dados do setor de planejamento de tráfego, por exemplo,

estabelecendo relações com fluxos de veículos, velocidade média, largura e pavimentação das vias, etc. Ou cruzá-los com informações sobre o Plano Diretor, tais como Índice de Aproveitamento e Zoneamento de Usos para – em conjunto com as informações sobre lotes vagos – ter uma idéia das tendências de crescimento do sistema urbano.

As possibilidades nesse sentido são, portanto, praticamente ilimitadas.

9.1.2. Geração de dados de entrada a partir de dados brutos

Nesse ponto a ferramenta obteve desempenho altamente satisfatório. As informações sobre 4.963 registros em um banco de dados (referentes às BFUs) foram agregadas em 289 trechos de logradouros, de forma eficiente, rápida e precisa. Da mesma forma, o sistema conseguiu captar as propriedades de conectividade do sistema baseando-se em elementos espaciais (extraídos de um mapa) e fornecer os dados ao módulo analítico responsável pelo cálculo da Centralidade, poupando uma enorme quantidade de esforço manual.

9.1.3. Desagregação dos dados

Com a ajuda do SIG, pudemos “desagregar”¹⁹ as linhas axiais em trechos de logradouros e mesmo assim manter a operacionalidade do sistema. As informações sobre os atributos de forma construída puderam ser atribuídas a unidades espaciais menores, aumentando conseqüentemente a resolução dos resultados.

Além disso, as informações sobre cada BFU estão no nível mais desagregado possível. Assim, cada apartamento de um edifício ou cada loja de um shopping-center tem seu próprio registro, com suas informações sobre uso, área, etc. Isso confere maior controle ao usuário sobre como agregar as informações, e lhe dá maiores possibilidades de definição da unidade espacial.

Quanto à precisão das informações, algumas considerações merecem ser feitas. Em primeiro lugar, conforme já mencionamos, é necessário que a base de dados utilizada em planejamento seja acompanhada de metadados, de forma a tornar possível o cálculo das margens de erro das análises e avaliar as incertezas. A qualidade da análise de Centralidade, da forma como está proposta neste trabalho, está diretamente vinculada à qualidade das informações que a alimentam. Caso a base esteja defasada, ou imprecisa, isso terá reflexos diretos nos resultados

¹⁹ Embora o termo “desagregar” seja, a rigor, inapropriado para descrever a relação entre linhas axiais e trechos de logradouros, ele funciona para denotar a idéia de maior resolução destes em comparação àquelas.

obtidos. Por outro lado, qualquer que seja a metodologia empregada para realizar análises urbanas, elas sempre estarão sujeitas à precisão das bases de dados. Isso quer dizer que, mesmo pelo processo tradicional de análise da Centralidade, estava-se sujeito às imprecisões presentes nas informações cartográficas, e o risco de introdução de erros adicionais pelo usuário era inegavelmente maior.

Entretanto, um outro aspecto muito importante deve ser levado em consideração: numa estrutura de PSS como a proposta neste trabalho, o sistema tende a ser “auto-depurador” no que diz respeito à precisão dos dados. Em outras palavras, o próprio manuseio do sistema, ao longo do tempo, tende a apontar os erros e as incoerências das informações, e indicar as correções a serem feitas.

Um exemplo: quando uma pessoa faz uma consulta de viabilidade sobre seu lote fornecendo o endereço, e o sistema não encontra o registro, é sinal de que o número da edificação está errado na base de dados, ou que o código do logradouro no registro do lote está equivocado²⁰. Nosso argumento, portanto, é que um sistema desse tipo, se corretamente implantado, é obrigado a responder a situações diversas que vão progressivamente testando a coerência da base de dados, e que essa diversidade de situações fornece meios para corrigir as imperfeições que inevitavelmente existirão, reduzindo-as a um nível aceitável.

9.1.4. Interatividade no processo

A interatividade no processo de análise da Centralidade teve avanços muito significativos, mas apresentou pontos que merecem ser desenvolvidos com maior atenção.

Do ponto de vista do teste de alternativas pelo usuário, dois aspectos devem ser levantados. O primeiro é a simulação de diferentes distribuições da forma construída. Nesse ponto a ferramenta proposta neste trabalho apresentou resultado satisfatório. Com ela tornou-se muito mais fácil simular ocupações em determinados espaços e testar seus resultados no *ranking* de Centralidade. A possibilidade de acessar os registros do banco de dados com um clique no elemento espacial (conforme ilustra a Figura 6.11) é de grande valia para o processo. Com ela torna-se fácil acessar os registros relativos a um ou mais elementos espaciais, e editá-los diretamente para que reflitam a nova condição de ocupação desejada.

²⁰ Esse tipo de erro revelou-se muito comum na base de dados utilizada no estudo de caso.

Entretanto, devemos ressaltar um segundo aspecto: no caso dos testes que mudavam a configuração do sistema, o desempenho da ferramenta não foi tão satisfatório. Faltam, no *software* adotado, ferramentas eficientes de manipulação e edição dos elementos espaciais, e ferramentas que auxiliem o usuário a manter a coerência das informações.

Por exemplo: quando dividíamos um trecho em duas ou mais partes, era necessário garantir que as informações sobre a forma construída que estavam associadas ao trecho original fossem devidamente atribuídas aos novos trechos. Isso é perfeitamente possível no ArcView, entretanto não de uma maneira rápida e prática. A integração com outros *softwares* mais adequados à edição de dados espaciais pode contribuir para um melhor funcionamento da ferramenta nesse aspecto.

Por outro lado, a interação do usuário com o funcionamento do Modelo de Centralidade também merece ser explorada mais a fundo. No item “*Interatividade no processo*” (p.23) sugerimos que essa interação pode ocorrer via interfaces gráficas, na forma de *wizards* ou assistentes. No entanto, o Avenue mostrou-se limitado no que diz respeito a interfaces gráficas, apresentando apenas alguns modelos já prontos, o que dificultou a criação de interfaces mais elaboradas. Com o lançamento da nova versão do ArcView, que inclui a programação via Visual Basic, esse problema deve ser superado.

9.1.5. *Visualização dos resultados*

Conforme demonstramos no item “*Visualização dos resultados: novas possibilidades*”, a visualização dos resultados em SIG é muito mais fácil e direta do que pelo processo tradicional. As novas formas de representação vêm se juntar às já existentes para aumentar a capacidade de interpretação dos resultados por parte do usuário.

Destacamos especialmente a utilização de aerofotos e a representação por lotes, que podem auxiliar na comunicação dos resultados com maior facilidade às pessoas leigas, incluindo aí a comunidade em geral. Mapas desse tipo podem ser usados para discussões públicas que sirvam como base para a definição de intervenções pontuais ou mesmo para o estabelecimento de políticas urbanas.

9.1.6. *Avanços na teoria embutida nos modelos*

Comprovamos no item “*Contribuições ao Modelo de Centralidade*” a possibilidade de operacionalizar novos aportes teóricos ao Modelo de Centralidade através dos recursos do SIG. Entretanto, não testamos aqui a validade da

modificação proposta no Modelo de Centralidade, por fugir do escopo do trabalho. Esse, entretanto, é um caminho promissor para pesquisas futuras, cujas possibilidades serão discutidas mais adiante.

Outro ponto que merece destaque na operacionalização proposta é o caráter modular da ferramenta. Ele é um passo importante na direção da implementação efetiva de Sistemas de Suporte ao Planejamento como o proposto no item *Sistemas de Suporte ao Planejamento*. A organização dos procedimentos analíticos em módulos em forma de DLLs vai ao encontro da necessidade de implementação progressiva do sistema. Além disso, possibilita que os módulos já criados sejam intercambiados e utilizados por diversos *softwares*, abrindo caminho para que outros pesquisadores possam utilizar a ferramenta em seus trabalhos e contribuam para a análise de novos aportes. Isso não seria possível caso utilizássemos apenas o *Avenue* para criar o módulo analítico.

Uma ressalva deve ser feita quanto à performance da ferramenta. O número de espaços revelou-se uma limitação para o seu funcionamento, influenciando diretamente no tempo consumido para a realização das análises. Entretanto, é possível fazer algumas modificações na implementação dos algoritmos de forma a torná-los mais eficientes do ponto de vista computacional.

9.2. Quanto ao estudo de caso

A aplicação da ferramenta proposta no recorte adotado neste estudo de caso mostrou-se eficiente do ponto de vista operacional. A organização dos dados foi beneficiada, assim como o tempo de realização das análises, principalmente no que diz respeito aos testes de alternativas (simulações de estado).

Entretanto, algumas medidas relativamente simples poderiam ter sido adotadas na confecção da base de dados, que acabariam por otimizar o processo de análise de Centralidade, em particular, e análises urbanas, em geral, que se utilizem de dados cadastrais. A primeira delas é a inclusão da seção de logradouro no registro da unidade, ou seja, a referência explícita a qual trecho aquela unidade está associada. Isso permite o cruzamento imediato de informações sobre a rede viária com informações sobre a forma construída. Neste trabalho as referências tiveram que ser construídas manualmente, o que poderia ter sido evitado caso o edital de contratação dos serviços de levantamento fosse elaborado de forma diferente.

A segunda é a inclusão de elementos que não estejam necessariamente ligados à coleta de impostos, mas que sejam relevantes para as análises urbanas. Na base de dados utilizada faltavam registros sobre edificações públicas, cemitérios e outras atividades que não são consideradas importantes para as funções fiscais do cadastro.

Mesmo assim, de modo geral podemos considerar o desempenho da ferramenta bastante mais satisfatório do que o processo tradicional. A facilidade de uso sugere que é possível incorporá-lo num órgão de planejamento, bastando para isso apenas algumas modificações organizacionais no que diz respeito às rotinas de manutenção e atualização dos dados. Essas modificações, no entanto, trariam benefícios para todas as atividades envolvidas no processo de planejamento.

9.3. Quanto às conseqüências no Planejamento Urbano

Conforme demonstramos na revisão realizada nos itens *Considerações Iniciais e Vinculação de Modelos Urbanos e Sistemas de Informações Geográficas*, o estado da arte no que diz respeito a ferramentas de suporte ao planejamento está evoluindo na direção de ferramentas que aliam as vantagens dos Modelos Urbanos às dos SIGs. Mais do que isso, essas ferramentas tendem a fazer parte de um sistema mais amplo, que seja capaz de oferecer suporte efetivo não apenas à tomada de decisões mas a todas as etapas do planejamento.

Consideramos a vinculação realizada neste trabalho um passo nesse sentido. Partindo de uma base genérica – a base cadastral – implementamos um tipo de análise bastante refinado, inserido numa estrutura geral de Sistema de Suporte ao Planejamento, que teria como capacidade principal integrar e harmonizar as diversas necessidades de informações impostas pelas diferentes atividades desempenhadas em planejamento.

Isso sugere uma tendência que vem se mostrando inevitável: a integração entre setores do planejamento. Essa lógica guiou duas escolhas fundamentais no processo de concepção da ferramenta: a implantação do módulo analítico em forma de DLL e a adoção do trecho de logradouro como unidade espacial.

Entretanto, um ponto ainda não foi devidamente explorado. HARRIS & BATTY (1992) destacam duas grandes funções a serem suportadas pelos PSS:

- a) Capacidade de prover o planejador com recursos para conceber alternativas num processo de tentativa e erro, e prepará-las para serem testadas. Esse tipo de função refere-se ao processo criativo, e é chamada, em inglês, de **Sketch**

Planning. Nesse ponto a ferramenta proposta ainda não pode ser considerada satisfatória, pela dificuldade em criar alternativas de configuração a serem testadas. Ressaltamos novamente que a integração com *softwares* mais adequados a esse propósito pode ser a solução para esse problema.

- b) Capacidade de testar os efeitos das políticas a serem implementadas, tanto individualmente quanto em conjunto umas com as outras. Esse argumento é defendido também por HOPKINS (1998) e SUI (1998). Dessa forma, devemos poder avaliar os efeitos de todas as medidas passíveis de estarem contidas em um plano. Nesse ponto, apesar de a ferramenta proposta ainda não possibilitar o teste de políticas, consideramos que representa um passo nessa direção, já que os resultados de Centralidade podem ser usados como componentes de modelos mais refinados que realizem essa tarefa (KRAFTA, 1999). Mais uma vez, o caráter modular da ferramenta é o que possibilita a incorporação de novos modelos analíticos.

9.4. Desdobramentos da pesquisa

A partir de onde chegamos, algumas possibilidades diretas de desenvolvimento da pesquisa já são possíveis. Em primeiro lugar, seria necessário testar os valores de Centralidade obtidos com a ponderação por ângulos em relação a uma variável como fluxo de pedestres ou valor do solo. Isso possibilitaria, além de verificar a validade da teoria embutida na ponderação por ângulos, testar diversos critérios para a ponderação dos custos baseados nos ângulos de deflexão, variando os valores relativos entre as classes, e mesmo aumentando ou diminuindo o número de classes.

Uma possibilidade interessante seria simular o comportamento das linhas axiais, classificando a ponderação por ângulos em apenas duas classes: ângulos de deflexão próximos de zero teriam custo zero, e qualquer outro ângulo maior que um determinado limite teria custo igual a 1. Teoricamente o comportamento dos trechos de logradouros seria similar ao das linhas axiais, com a diferença que as informações manteriam sua resolução quanto à unidade espacial.

Outra possibilidade é modificar o algoritmo de cálculo dos caminhos mínimos, para simular comportamentos mais realistas. O algoritmo A* (AMIT, 2000), por exemplo, utiliza métodos heurísticos para introduzir um grau de indeterminação na escolha de um caminho mínimo. Ao contrário dos algoritmos que usam métodos formais para essa tarefa, e testam todas as alternativas possíveis e selecionam

entre elas aquela de menor caminho, o A* funciona com bases em *estimativas de custos* para selecionar algumas alternativas a serem testadas. Dessa forma, apenas aqueles caminhos que “parecem” ser os menores são testados. Com isso, muitas vezes o resultado não é necessariamente o menor caminho absoluto, mas uma *aproximação* do menor caminho, o que nos parece, intuitivamente, estar mais de acordo com as escolhas realizadas por pedestres em seus deslocamentos.

Além de testar modificações no modelo de Centralidade propriamente dito, um ponto que merece ser mais desenvolvido é a interação deste com outros modelos e/ou ferramentas estatísticas. Algumas questões devem ser exploradas, tais como compartilhamento de dados, compatibilidade de escalas e unidades, facilidade de operação em conjunto e complementaridade das análises.

9.5. O fim?

Os sistemas urbanos, por sua complexidade, vêm desafiando todas as tentativas por parte dos planejadores de controlar ou mesmo prever seu desenvolvimento. Os esforços materializados neste trabalho representam, acima de tudo, a crença no Planejamento Urbano como um instrumento para aumentar a qualidade de vida nos ambientes urbanos.

Entretanto, este trabalho representa também a crença de que os caminhos para realizar essa tarefa passam necessariamente por uma profunda revisão e reformulação da própria essência do planejamento, e dos seus instrumentos de intervenção na realidade. Os métodos formais de análise devem ser usados em conjunto com a intuição e a experiência. Segundo HARRIS (1999, p.10) “*novas experiências e simulações não surgem da ciência preexistente, mas são estimuladas por suas limitações, e são alcançadas pela imaginação criativa guiada pelo rigor científico*”. Temos, portanto, muito trabalho pela frente.

Referências Bibliográficas

- AMIT, J.P. The A* Algorithm. 2000. Disponível em <<http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/AStarComparison.html>>. Acesso em: 11 set. 2000
- de la BARRA, T. Integrating micro-economic models with spatial interaction theory. In: STEADMAN (Ed.) Transactions of the Martin Centre for Architectural and Urban Studies, v. 4, University of Cambridge, 1979.
- BATTY, M. Urban modeling in computer-graphic and geographic information system environments. Environment and Planning B, v. 19, p. 663-668, 1992a.
- BATTY, M. Sharing information in third world planning agencies: perspectives on the impact of GIS. Technical Report 92-8, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1992b.
- BATTY, M. A chronicle of scientific planning: the anglo-american modeling experience. Journal of the American Planning Association, v.60, n.1, p. 7-16.
- BERTUGLIA, C.S.; WILSON A.G. Urban Systems. London: Croom Helm, 1987. Caps. 1 e 2.
- BEVILACQUA, D. Implantação do campus universitário de Camobi e repercussões na estrutura urbana da cidade de Santa Maria – RS. 1994. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR – UFRGS, Porto Alegre.
- BLACHUT, T.; CHRZANOWSKI, A.; SAASTAMOINEN, J. Cartografía e levantamientos urbanos. México: Dirección general de Geografía del Territorio Nacional, 1980.

- BORGES, L.; KRAFTA, R. Configuração espacial e tráfego veicular. In: Encontro Nacional da ANPUR, 1997, Recife. Anais do VII Encontro Nacional da ANPUR. Recife, 1998, p. 97-116.
- BURROUGH, P.A. Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment. Oxford: Claredon Press, 1986.
- COUCLELIS, H. Requirements for planning-relevant GIS: a spatial perspective. Papers in Regional Science, v. 70, n. 1, p. 9-19, 1991.
- COWEN, D.J.; SHIRLEY, W.L. Integrated planning information systems. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed.). Geographical information systems: principles and applications. London: Longmans, 1991. p. 297-310.
- ECHENIQUE, M. Models: a discussion. In: MARTIN, L.; MARCH, L. (Ed.). Urban Space and Structures. Cambridge: Cambridge University Press, 1972. P.164-174.
- ECHENIQUE, M. Modelos matemáticos de la estructura urbana. Buenos Aires: SIAP, 1976. Cap. 1.
- FREEMAN, L. A set of measures of centrality based on betweenness. Sociometry, v.40, n.1, p.35-41, 1977.
- GEERTMAN, S.; VAN ECK, J. GIS and models of accessibility potential: an application in planning. International Journal of Geographical Information Systems, v. 9, n. 1, p. 67-80, 1995.
- HAN, S.; KIM, T. Can Expert systems help with planning? Journal of the American Planning Association, vol. 55, p.296-308, 1989.
- HARRIS, B. Beyond geographical information systems: computers and the planning professional. Journal of the American Planning Association, v. 55, n. 1, p. 85-90, 1989.
- HARRIS, B. The complementarity between theory and practice in urban modeling. Disponível em <<http://www.esri.com>>. 1999.
- HARRIS, B; BATTY, M. Locational models, geographic information, and planning support systems. Technical Paper 92-1, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1992.
- HEIKKILA, E. GIS is dead; long live GIS!. Journal of the American Planning Association, v. 64, n. 3, p.350-360, 1998.

- HILLIER, B.; HANSON, J. The social logic of space. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- HILLIER, B.; PENN, A.; HANSON, J.; GRAJEWSKI, T.; XU, J. Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement . Environment & Planning B, v. 20, p. 29-66, 1993.
- HOPKINS, L.D. Progress and prospects for planning support systems. Environment and Planning B, Anniversary Issue, p.29-31, 1998.
- INGRAM, D.R. The concept of accessibility: a search for an operational form. Regional Studies, v. 5, p. 101-107, 1971.
- JIANG, B.; CLARAMUNT, C.; BATTY, M. Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to Space Syntax. Computers Environment and Urban Systems, v. 23, p. 127-146. <disponível em <http://www.casa.ucl.ac.uk/newvenue/publications.htm>>
- JOHNSTON, R. & de la BARRA, T. Comprehensive regional modeling for long-range planning: linking integrated urban models to geographic information systems. 1998. Disponível em <http://www.modelistica.com/papers/sac/sac_cuf.html>. Acesso em: 31 ago. 2000.
- KIMBALL, D.F. ReturnLineSegmentAzimuth. *Script em Avenue* disponível em <<http://gis.esri.com/arcscripts/details.cfm?CFGRIDKEY=A18C2F77-407A-11D4-942F00508B0CB419>>. 2000
- KRAFTA, R. A study of intraurban configurational development. 1991. Tese de Doutorado - Cambridge University.
- KRAFTA, R. Modelling intraurban configurational development. Environment & Planning B, v. 21, n.1, p.67-82, 1994.
- KRAFTA, R. Planejamento no plural. Porto Alegre, PROPUR, 1995. Cópia disponível do autor.
- KRAFTA, R. Urban convergence: morphology and attraction. Environment & Planning B, v. 23, n.1, p.37-48, 1996.
- KRAFTA, R. Avaliação de desempenho urbano. Publicado nos Anais do VII Encontro Nacional da ANPUR, Recife, 1997. Cópia disponível do autor.
- KRAFTA, R. Spatial self-organization and the production of the city. In: Revista Urbana, v.24, Caracas, 1999.

- LANDIS, J.; ZHANG, M. The second generation of California urban futures model: Part 1: Model logic and theory. Environment and Planning B, v. 30, p.657-666, 1998.
- LEE, C. Models in planning: an introduction to the use of quantitative models in planning. Oxford: Pergamon Press, 1973.
- LEE, D.B. Requiem for large-scale models. Journal of the American Institute of Planners, v. 39, p.163-178, 1973.
- LEONEL, N.^a; KRAFTA, R. Centralidade, versão 5.0. [Porto Alegre]: FAU – UFRGS / PROPUR, 1993.
- LEVINE, N. Spatial statistics and GIS: software tools to quantify spatial patterns. Journal of the American Planning Association, v. 62, n.3, p.381-391, 1996.
- LEVY, J. Contemporary urban planning. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- MAGUIRE, D.J. An overview and definition of GIS. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed.). Geographical information systems: principles and applications. London: Longmans, 1991. p. 9-20.
- MAGUIRE, D.J.; DANGERMOND, J. The functionality of GIS. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Ed.). Geographical information systems: principles and applications. London: Longmans, 1991. p.319-335.
- NYERGES, T.L. Geographic information abstractions: conceptual clarity for geographic modeling. Environment & Planning A, v. 23, p. 1483-1499, 1991.
- PENN, A.; HILLIER, B.; BANISTER, D.; XU, J. Configurational modelling of urban movement networks . Environment & Planning B, v. 25, p. 59-84, 1998.
- OPENGIS CONSORTIUM TECHNICAL COMMITTEE. The OpenGIS Guide: introduction to interoperable geoprocessing and the OpenGIS specification. Wayland, Massachusetts, 1998. Disponível em: <<http://www.opengis.org/techno/guide.htm>>. Acesso em: 2 set. 2000.
- PORTUGALI, J. Notions concerning the nature of world urbanization. In: DIAMOND, D. & MASSAM, B.H. (Ed.). Contemporary perspectives on urbanization: progress in planning, v. 46, 1996. p.145-161.
- PORTUGALI, J. Self-organization and the city. Berlin: Springer, 1999.
- RUMBAUGH, J. et al. Object-oriented modeling and design. New Jersey: Prentice Hall, 1991.

- SABOYA, R. Análises espaciais em planejamento urbano: novas tendências. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, n.3, p.61-79, 2000.
- SPINELLI, J.; KRAFTA R. Configuração espacial e distribuição do valor do solo urbano. In: Cadernos IPPUR, ano XII, n. 2, Rio de Janeiro, 1998, p.83-104.
- SUI, D. GIS-based urban modelling: practices, problems and prospects. International Journal of Geographical Information Science, vol.12, n.7, p. 651-671, 1998.
- SWAIT, J.D. Fundamentos computacionais: algoritmos e estruturas de dados. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1991.
- U.S. CENSUS BUREAU. 1999 TIGER/Line Files Technical Documentation. Washington, DC. 1999.
- TURNER, A. Angular analysis: a method for the quantification of space. Working Paper do CASA – Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, n.23, 2000.
- WEBSTER, C.J. GIS and the scientific inputs to urban planning: part 1: description. Environment and Planning B, v. 20, p.709-728, 1993.
- WEBSTER, C.J. GIS and the scientific inputs to planning: part 2: prediction and prescription. Environment and Planning B, v. 21, p.145-157, 1994.
- WEGENER, M. Operational urban models: state of the art. Journal of the American Planning Association, v.60, n.1, p.17-29, 1994.
- WEGENER, M. GIS and spatial planning. Environment and Planning B, Anniversary Issue, p.48-52, 1998.
- WILSON, A.G. Urban & regional models in geography & planning. London: John Wiley & Sons, 1974.

Apêndice: Aspectos técnicos

Adequação das bases de dados existentes

As bases cartográficas utilizadas neste trabalho, apesar de já estarem em meio digital, não estavam perfeitamente adequadas à utilização em um SIG. Para isso realizamos uma série de edições, com vistas a garantir a qualidade e a coerência das informações. As principais operações serão relatadas a seguir.

O primeiro passo foi assegurar que todos os polígonos representando lotes estivessem fechados e sem polígonos sobrepostos. Em alguns casos existiam dois polígonos, um sobre o outro. Em outros casos, a polyline não estava fechada. Para resolver esse problema, criamos uma macro em Visual Basic (linguagem de programação embutida no AutoCad Map²¹) que detectava todas as polylines abertas, e as destacava com um cor diferenciada.

O segundo passo foi criar os IDs dos lotes, que não constavam do mapa digital. Neste, constavam apenas os números de quadras e os números dos lotes que, portanto, se repetiam de quadra para quadra. Era preciso que cada lote tivesse um identificador único. Para isso, adotamos uma seqüência com o formato QQQQQLLLL, onde a primeira parte é referente ao número da quadra e a segunda é referente ao número do lote. Como a numeração das quadras não se repete, garantimos que cada lote seja identificado por um ID que é único no sistema.

O processo de criação dos IDs envolveu a criação de elementos de texto cujos pontos de inserção estavam posicionados dentro dos respectivos polígonos. Dessa forma, eles poderiam ser reconhecidos pelo próprio AutoCad Map e atribuídos aos elementos gráficos como atributos. Entretanto, para realizar essa operação, foi necessária a criação de outra rotina em Visual Basic. Ela pedia ao usuário o número da quadra, e em seguida lhe pedia que selecionasse todos os elementos de texto referentes aos números de lotes daquela quadra. Então, a rotina criava automaticamente novos elementos de texto, em um outro layer, concatenando os códigos da quadra e do lote, e acrescentando quantos zeros fossem necessários para manter o fomato adotado.

O passo seguinte foi editar os eixos de logradouros e transformá-los em trechos de logradouros. Para isso utilizamos a ferramenta *Drawing Cleanup*, do

²¹ AUTODESK. AutoCad MAP 2000. [S.l.] Autodesk, Inc., 2000.

AutoCad Map. Ela apresenta diversos recursos para a edição de mapas. Entre eles, a criação automática de nós nas interseções, e eliminação de elementos duplicados e a eliminação de “pseudonós” (Figura A.1).

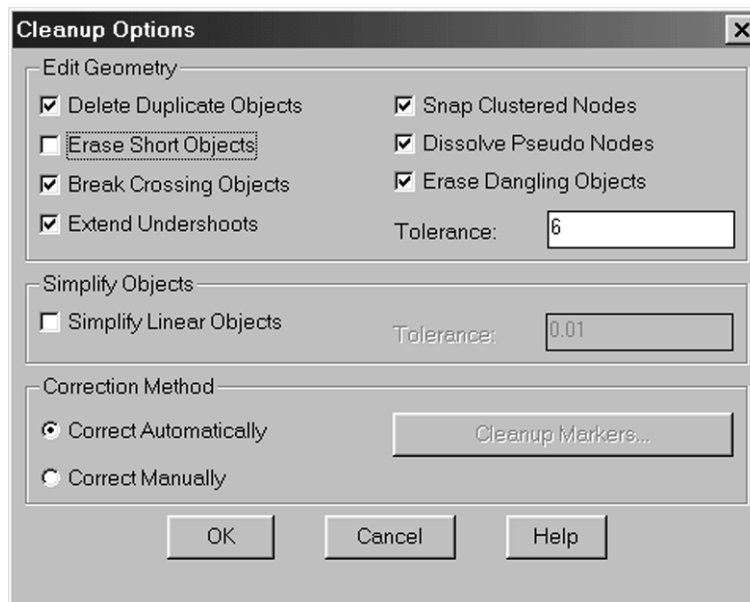


Figura A.1 – Caixa de diálogo da ferramenta *Drawing Cleanup* no AutoCad Map.

Além disso, tivemos que editar manualmente alguns trechos, para evitar incoerências. Um exemplo é o caso em que três eixos se encontram, mas não têm apenas um ponto de interseção, formando um triângulo entre eles. Nesse caso, o *Drawing Cleanup* cria três pequenos trechos, relativos aos lados do triângulo, o que não representa adequadamente a realidade. A solução é simples: apagamos os lados do triângulo e ajustamos as extremidades dos trechos para que se encontrem em um único ponto.

Depois disso, precisamos gerar os IDs dos trechos. O processo foi semelhante ao utilizado para os lotes. O formato do código adotado foi RRRRRRTTTT, onde a primeira parte refere-se ao código do logradouro e a segunda parte refere-se ao código da seção de logradouro. Este último código – e portanto o ID do trecho – foi determinado arbitrariamente, por falta das informações necessárias nas bases cartográficas. Ou seja, existia o código dos logradouros, mas não os códigos das respectivas seções. Na tabela alfanumérica existia o campo relativo à seção de logradouro para a qual a unidade se abre, mas ele estava vazio.

Isso introduziu outro problema, talvez o maior relacionado à adequação das bases cartográficas. Não existia, nos registros sobre as unidades, referência

explícita sobre qual o trecho de logradouro ao qual ela pertence, informação essencial para o modelo de Centralidade.

Existem duas formas de superar esse problema. O primeiro seria o reconhecimento através do *Address Matching* (Drummond, 1995), que utiliza o endereço da unidade para reconhecer qual o trecho ao qual ela pertence. Entretanto, esse tipo de procedimento requer a existência de uma base de referência contendo todos os trechos de logradouros e seus limites inferiores e superiores de numeração (Figura A.2).

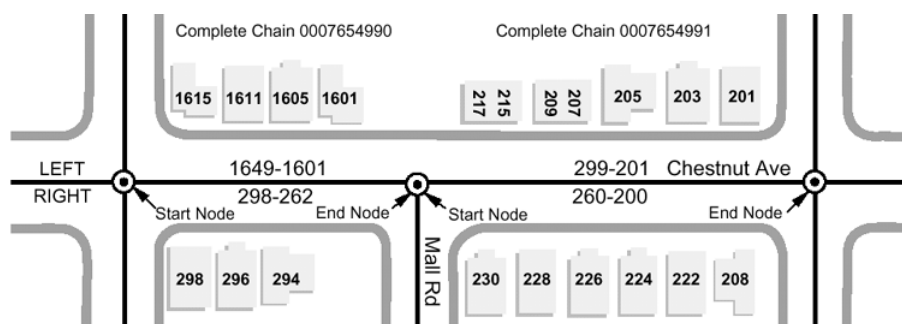


Figura A.2: base de dados de referência - trechos de logradouro (fonte: U.S. CENSUS BUREAU, 1999)

De posse dessa base, o SIG poderia comparar o número de uma unidade com os limites de cada trecho, e atribuir o ID do trecho ao registro da unidade, tornando explícita a ligação entre eles.

Entretanto, essa base não estava disponível e sua confecção é extremamente trabalhosa. Ela só se justifica na medida que possa ser utilizada em outras aplicações. Conforme argumenta DRUMMOND (1995), muitas instituições públicas e privadas mantêm bases de dados na quais a única referência à localização geográfica dos objetos é seu endereço. Nesses casos a base de referência poderia, por exemplo, auxiliar no controle de ocorrências criminais ou na distribuição de vagas em escolas públicas, multiplicando seu potencial de utilização.

Neste trabalho, entretanto, optamos por uma solução mais imediata, porém de utilidade limitada. Com todos os dados produzidos no AutoCad Map devidamente inseridos no ArcView, construímos um script que solicitava ao usuário que se selecionasse um trecho e todos os lotes que se abrissem para ele. A partir dessas informações, o script buscava no banco de dados todas as unidades contidas naquele conjunto de lotes e preenchia o campo "Secalog" com o ID do trecho selecionado. Isso foi suficiente para garantir as informações necessárias ao cálculo dos atributos de cada espaço, explicado no item 6.4.

Glossário

Agregação – Segundo NYERGES (1991, p.1491), “*agregação é criada quando entidades da mesma classe ou de classes diferentes formam ‘uma parte’ de uma entidade mais complexa que é composta por uma estrutura rígida de ‘partes’.* Por exemplo, seções de logradouro e interseções formam uma rede de rodovias.”

Avenue – Linguagem de programação embutida no ArcView, utilizada para automatizar seqüências de análises em dados geográficos.

BFU – Sigla em inglês para Unidade de Forma Construída. Pode ser definida como “*um espaço construído independente, como uma casa, um apartamento, uma loja ou uma fábrica*” (KRAFTA, 1994, p.69). É a unidade espacial adotada pelo Modelo de Centralidade para representar as formas construídas de um sistema urbano.

Buffer – Em análises espaciais, denota uma região delimitada pela área de influência (calculada em função de distância métrica) de um elemento geográfico.

Calibração – Segundo Echenique (1976, p.16), calibração “*consiste na busca dos valores dos parâmetros ou constantes que definem a magnitude das relações em um caso específico*”.

Compilar – É o processo de transformar o código-fonte de um programa, normalmente composto por várias unidades interligadas, em um único arquivo executável (.exe ou .dll) em código interpretável pelo computador.

Constituição – é o número de portas que se abrem para um determinado espaço (HILLIER & HANSON, 1984).

Grafo – Segundo SWAIT (1991, p.197), “*um grafo $G=(N, A)$ é composto de um conjunto finito e não-nulo de nós (ou vértices) N , e um conjunto finito e não-nulo A de ligações entre nós, chamadas arcos.*”

ID – É um valor (normalmente alfanumérico) utilizado para identificar inequivocamente um elemento em um banco de dados. É usado também para estabelecer as relações entre dados armazenados em tabelas diferentes, assim como para atribuir os dados alfanuméricos a seus elementos espaciais correspondentes.

Linhas Axiais – São as maiores linhas retas capazes de cobrir todo o sistema de espaços públicos convexos em um sistema urbano (HILLIER & HANSON, 1984).

Macro – É uma seqüência de comandos escritos em uma linguagem de programação embutida em um *software* (como o *Avenue* no ArcView), utilizada para automatizar tarefas.

Metadados – Podem ser entendidos como “dados sobre os dados”. São informações de referências sobre bases de dados descrevendo aspectos como sua precisão, data e método de coleta, responsabilidade pela manutenção, entre outros.

Modelos Urbanos – Foram definidos por WEGENER (1994, p.18) como “*modelos matemáticos implementados em computador e projetados para analisar e prever o desenvolvimento de sistemas urbanos*”.

Queries – Também chamadas de “consultas” em português. São consultas feitas aos bancos de dados com o objetivo de selecionar apenas os elementos que obedeçam a um ou mais critérios estabelecidos.

Resolução – A resolução de um instrumento de medida é o menor valor dessa medida oferecido pelo instrumento.

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) - São sistemas implementados em computador que têm como função adquirir, armazenar, manipular, analisar e visualizar dados do mundo real sob três aspectos (BURROUGH, 1988): a) dados geográficos; b) seus atributos; e c) as relações espaciais entre os elementos, chamadas “relações topológicas”.

String – Em linguagens de programação, refere-se a um tipo de variável que armazena valores alfanuméricos.

Topologia – representa relações existentes entre elementos espaciais, tais como contigüidade, conectividade, adjacência, etc.

Visual Basic – Linguagem de programação que pode ser embutida em *softwares* como AutoCAD Map, Microsoft Word e Microsoft Access, utilizada para automatizar seqüências de análises.

Wizards (ou assistentes) – são “módulos” criados para guiar algumas operações consideradas complicadas em alguns *softwares*. Normalmente consistem numa seqüência de caixas de diálogo que orientam o usuário, dando indicações e explicações sobre cada uma das etapas a ser cumprida na tarefa.