

METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DE EVOLUÇÃO URBANA EMPREGANDO RECURSOS INFORMATIZADOS (CAD/GIS/SQL)

LIMA, Fernando Rodrigues

Prof. Adjunto, D.Sc., Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia, Sala D-106, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, CEP 21945-970
E-mail: frlima@deg.ee.ufrj.br

RESUMO

A identificação e a compreensão dos mecanismos que determinam a evolução urbana é de extrema importância para as atividades de planejamento / desenvolvimento, pois permite aos gestores antecipar impactos negativos e orientar investimentos. As novas tecnologias em sistemas de informação (CAD, GIS, SQL), podem ser direcionadas para o registro e a análise do comportamento das cidades. Dentro deste contexto, o presente trabalho apresenta uma metodologia para o monitoramento científico de atributos ligados à evolução urbana (infra-estrutura de serviços, meio-ambiente, população, atividades econômicas e sociais, qualidade de vida, transportes, habitação, etc), empregando recursos gráficos informatizados, associados a bases de dados. A fundamentação teórica parte de modelos de Localização Industrial (COSENZA, 1981), onde a lógica “fuzzy” é empregada na comparação entre oferta e demanda de atributos. A metodologia é voltada a adequação de procedimentos e técnicas a cada caso estudado, e para a racionalização do emprego de ferramental informatizado.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present the basis for a methodology for recording and measuring parameters related to the physical and social evolution of cities, as well as to provide decision makers with computer graphics resources for dynamic visualization and structured data query. The theoretical concept is based on the industrial location model developed by COSENZA (1981), which compares both offer and demand of industrial attraction / restriction factors. Our proposal is to treat urban growth and development as a dynamic search for typical environment characteristics (generic infrastructure, social aspects, economical activities, land use, population, etc.), treating them as selected factors that determine considerable impact in the cities. The use of fuzzy logic makes offer level measuring more productive, contributing to a new approach in city monitoring methods.

1-INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentado presupõe o conhecimento detalhado da região estudada, pois a partir da observação criteriosa dos fatores atuantes em sua evolução é que podem ser traçadas as estratégias adequadas. A proposta deste trabalho é de apresentar uma

metodologia para identificação e organização destes fatores, seguida de sua mensuração empregando métodos científicos. Destacamos a importância de estruturá-la para plataformas G.I.S., a partir da qual será possível implementar uma série de rotinas de consulta, voltadas para processos de tomada de decisão.

A proposta aqui desenvolvida tomou como premissa uma série de aspectos técnicos e gerenciais, detectados durante aplicações práticas do modelo locacional (COSENZA, 1981) que nos serve de embasamento teórico. Observamos que as tomadas de decisão envolvem grande diversidade de pessoas e interesses por isso demandam mecanismos que permitam uma visualização mais adequada e cognitiva dos problemas e propostas a serem discutidos. Quanto às informações disponíveis para uma região, estão em formatos nem sempre adequados ao objetivo e nível de detalhe das discussões, sendo recomendável estabelecer critérios para tratamento dos dados, objetivando o problema em estudo.

A maioria das metodologias disponíveis para o tratamento dos dados adotam lógica *crisp*, ou seja: não contemplam aspectos subjetivos, e empregam relações rígidas de pertinência. A adoção de lógica *fuzzy*, associada a variáveis linguísticas, aparece como alternativa para mensuração de fenômenos onde são requeridos critérios hierárquicos, mas é dispensado o rigor da precisão cartesiana.

Constatamos também que a visualização de informações em sistemas georeferenciados agrupa condicionantes de dinâmica, clareza e flexibilidade. Quando permite, através de mapas icônicos, uma associação cognitiva entre a realidade estudada e os dados apresentados, favorece os processos de planejamento participativo. Nestes processos, a integração entre um sistema proposto, seus usuários e os dados de *input* e *output* consiste em um problema a ser equacionado, razão pela qual uma abordagem metodológica, nestes casos, se faz pertinente.

O Modelo de Localização Industrial desenvolvido por COSENZA (1981), que emprega a lógica *fuzzy*, propiciou-nos a oportunidade de abordar, de forma metodológica e sistêmica, o problema de assentamento territorial de atividades econômicas. O método para mapeamento da intensidade com que fatores de localização são oferecidos, em um território estudado, orienta a proposta que apresentamos para um método de monitoramento da evolução urbana.

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: UM MODELO LOCACIONAL

O Modelo Cosenza vem sendo empregado em estudos de desenvolvimento econômico, com especial enfoque nas atividades industriais, tendo sido aplicado por vários governos estaduais e municipais (relatórios citados na bibliografia). Estes projetos de localização envolveram um intenso trabalho de coleta e tratamento de dados, cuja experiência nos direcionou para uma proposta de aplicação desse modelo ao monitoramento de evolução urbana.

O primeiro passo para o desenvolvimento desta proposta consistiu em analisar a forma como o modelo trata o problema de localização, e pesquisar como seus conceitos poderiam ser trabalhados para atender aos requisitos de um processo de monitoramento urbano.

No problema de localização, os *fatores de localização* definem as alternativas de assentamento, e para tanto são mensurados quanto à sua *oferta* (nas *zonas elementares* geográficas estudadas) e quanto à sua *demandas* (nas *tipologias industriais* pesquisadas). Tal mensuração é efetuada através de variáveis linguísticas, que expressam

a intensidade do fator: no caso da demanda -*crucial, importante, pouco importante, irrelevante*- e, no caso da oferta –*excelente, regular, inadequada, inexistente*. Para cada *zona elementar* é obtido uma matriz de *oferta*, e para cada *tipologia industrial*, uma matriz de *demandas*. O modelo então compara estas matrizes de *oferta* e *demandas*, através da lógica *fuzzy*, originando uma matriz de *zonas x tipologias*, preenchidas com *indicadores de localização (I)*. Um elemento da matriz com valor $I=1$ indica que uma *tipologia*, em determinada *zona*, teve todos os fatores atendidos de forma adequada, $I<1$ significa que naquela *zona* pelo menos algum fator ofertado deixou de ser ofertado na mesma intensidade demandada pela *tipologia*, e $I>1$ significa que a *zona* estudada apresenta oferta de fatores em intensidade superior à demandada pela *tipologia*.

Observando o conjunto de *indicadores* obtidos em um mapa georeferenciado por *zonas elementares*, e associado às bases de dados de oferta e demanda, é possível tanto identificar as alternativas efetivamente interessantes (áreas com grande concentração de I/I), quanto avaliar porque uma alternativa não se mostrou adequada ($I<1$), identificando a partir da análise dos fatores deficitários o tipo de intervenção estratégica recomendada.

3- UM MODELO PARA MONITORAMENTO

Se considerarmos que a evolução urbana também está sujeita a ocorrência de fatores que aceleram ou retardam as mudanças, e que estes fatores podem ser mensurados, quanto à oferta e quanto à demanda, podemos estabelecer uma correlação inicial entre o modelo locacional de COSENZA e o modelo aqui proposto para monitoramento de evolução urbana.

Assim sendo, podemos desenvolver, de modo análogo ao conceito de *fatores de localização*, o conceito de fatores de evolução urbana, definidos a partir de condicionantes de infra-estrutura, geografia física e social, aspectos econômicos e ambientais, etc.

O conceito de oferta territorial por *zonas elementares* pode ser utilizado para discretizar o todo do território estudado em sítios celulares, parcelas com área significativa para efeito de registro da oferta de um fator (Ex: bairro, loteamento, polígono industrial, shopping center, etc.).

Da mesma forma, o conceito de demanda industrial por *tipologias industriais* pode ser utilizado para compor tipologias de caracterização urbana, aqui entendidas como um padrão de ocupação urbana que representa um conjunto distinto de demandas (Ex: favela, negócios turístico, residencial, etc.). As próprias legislações de uso de solo já sinalizam algumas destas tipologias, direcionando a oferta ou restrição de fatores e parâmetros de ocupação (zona industrial, estritamente residencial, interesse turístico, preservação ambiental, etc.)

A intensidade com que estes *fatores de evolução urbana* podem ser ofertados (nos *sítios celulares*) e demandados (pelos *tipologias urbanas*), também pode ser mensurada em níveis, determinados pelo emprego das variáveis *linguísticas*. No caso da oferta, podemos empregar os conceitos: *excelente, bom, regular, precário, inexistente*. Já no caso da demanda, podemos empregar os conceitos: *crucial, importante, condicionante, pouco condicionante, irrelevante*. O critério para definir a aplicação destas variáveis pode levar em conta parâmetros *qualitativos* (condições de fornecimento, aspecto físico, grau de satisfação, etc.) e *quantitativos* (renda, capacidade, densidade, etc.) de cada

fator observado, permitindo assim que bases de dados já existentes orientem a elaboração das matrizes de oferta e demanda.

4- A RELEVÂNCIA DO PROCESSO DE MONITORAMENTO

O contexto mais amplo onde se insere um processo de monitoramento é o de elaboração de simulação orientada, um produto final viabilizado por um modelo complexo de simulação urbana, nos moldes do modelo locacional de COSENZA, e que pode ser obtido a partir da implementação de outros modelos mais simples e cognitivos, voltados para atividades de monitoramento de oferta e demanda dos fatores que impactam no desenvolvimento urbano.

O modelo referido nesta proposta de metodologia destina-se ao monitoramento de oferta de fatores de evolução urbana, e resulta da pesquisa pela intensidade com que esta ocorre nos *sítios celulares*. Considerando que a oferta destes fatores se altera ao longo do tempo, e que um modelo georeferenciado pode associar diversas bases de dados, representando os vários estágios da oferta, é possível após uma série de registros compor um atlas dinâmico, que permita uma visualização cronológica da evolução na oferta dos fatores.

O tratamento gráfico destas informações, associado a rotinas de prospecção (SQL), em plataformas GIS, possibilita um efetivo monitoramento, seja pela reconstituição de históricos de evolução por fator, seja pela análise de como os fatores estão interagindo ao longo do tempo. A adoção de variáveis linguísticas e representações icônicas facilita o processo cognitivo, essencial para as tomadas de decisão em ambiente multidisciplinar.

O outro modelo de monitoramento citado, passível de ser desenvolvido logo após a implementação de nossa proposta, resulta da pesquisa por tipologias de caracterização urbana, e estabelece um perfil comparativo de intensidades com que os fatores de evolução urbana são demandados.

O produto final, um simulador que opera o cotejo entre os dados de oferta e demanda tal como ocorre no modelo proposto por COSENZA, consistirá numa matriz de pertinências entre *sítios x tipologias*, que permitirá identificar através de seus indicadores com que grau uma *tipologia* estará adequada a um *sítio*. Consultando os indicadores desta matriz, após simulação da evolução de oferta dos fatores, será possível verificar quais as *tipologias* que podem vir a ocorrer em cada *sítio* estudado.

Uma matriz georeferenciada, contendo dados de oferta dos fatores de evolução urbana é, portanto, o elemento chave para o futuro desenvolvimento de um processo de simulação da evolução urbana como um todo.

5- APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA

A proposta metodológica consiste em, uma vez identificada a necessidade de monitorar a evolução de um sítio urbano, concatenar os procedimentos e técnicas mais adequados ao caso estudado. A princípio, podemos desmembrar o problema de monitoramento em quesitos:

- Qual o objetivo e a ênfase desejada para o monitoramento?
- Qual o escopo da área a ser estudada?

- Quais os fatores relevantes e necessários para retratar o processo de evolução urbana desta área, atendendo às formulações do problema?
- Com que grau de detalhamento (escala de intensidade) estes fatores devem ser mensurados?
- Para cada fator em particular: Quais as fontes de informação disponíveis? Que parâmetros para mensuração de oferta dos fatores podem ser obtidos a partir destas fontes? Quais os critérios a serem aplicados aos parâmetros, para permitir a associação de um valor quantitativo e/ou qualitativo do parâmetro aos atributos linguísticos? Que mecanismos e formulações devem ser adotados para aplicar estes critérios aos dados disponíveis?
- Para cada sítio urbano em particular: Quais os critérios para parcelar o território estudado em sítios urbanos? Quais os limites físicos e dimensões a serem definidos para um sítio urbano? Como converter para um sítio urbano dados organizados em função de outros modos de parcelamento territorial (bairros, zonas censitárias, etc)?
- Qual a modelagem gráfica recomendada para representação em sistema GIS dos sítios do território estudado?
- Como estabelecer uma estrutura de base de dados relacional que racionalize a utilização de dados provenientes de outras fontes? Esta estrutura permitirá procedimentos tais como elaboração automática da matriz de oferta e parametrização de variáveis ?
- Dados disponíveis em formato gráfico (mapas, imagens de satélite, etc.) podem ser utilizados na mensuração de oferta por interpolação gráfica visual? Como devem ser tratados para utilização no sistema? Qual a técnica a ser adotada no processo de interpolação gráfica visual?
- Como tratar graficamente a informação georeferenciada sobre fatores e seus perfis de oferta, objetivando a visualização cognitiva e dinâmica?
- Que tipo de pesquisa utilizando linguagem estruturada (SQL) pode ser interessante para as atividades de monitoramento urbano?

Estes quesitos podem ser estruturados em uma metodologia, definindo assim o curso dos procedimentos a serem adotados, e orientando a opção por uma das técnicas de representação ou organização disponíveis. A Figura 1 ilustra este encadeamento, onde as linhas continuas interligam os procedimentos de desenvolvimento tracejadas os de retroalimentação.

No esquema metodológico da Figura 1, os procedimentos foram agrupados em três etapas: estudos preliminares, preparo da base de dados e operacionalização. As técnicas disponíveis agregam recursos de representação gráfica do sítio e de suas principais características, (*imagens digitalizadas: vetorizadas ou raster*), e recursos de organização de dados, (*bases de dados: planilhas e tabelas*). Esta característica de representação gráfica, associado a bases de dados, é o fundamento operacional dos sistemas GIS.

Quanto aos recursos para representação gráfica, as cartas, mapas, imagens de satélite e aerofotos, quando não disponíveis em formato compatível com o sistema GIS, podem ser digitalizados por meio de técnicas diversas, como vetorização com mesa digitalizadora, vetorização manual por *overlay* de imagens obtidas de *scanners*, vetorização automática, sobreposição de imagens em formato *raster*, etc. Para as regiões de dimensão metropolitana, a adoção da projeção no sistema UTM, ortogonal e cartesiano, facilita estes processos de confecção e utilização de arquivos gráficos.

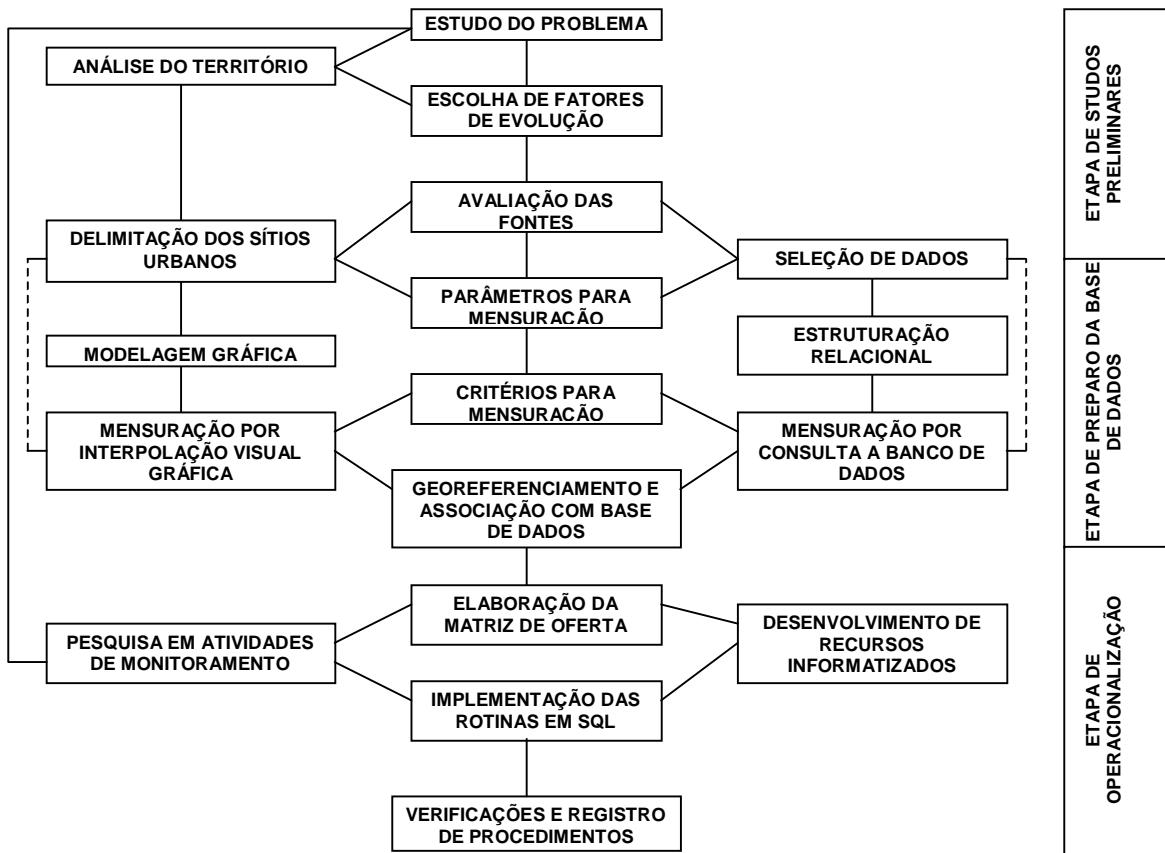


Figura 1 – Esquema da metodologia proposta

Quanto aos recursos para organização de dados, o preenchimento das tabelas e planilhas que compõem a base de dados pode ser efetuado por uma série de métodos aqui destacados. O método cognitivo, de caráter interpolativo e interpretativo, consiste em adotar técnicas tradicionais para sobrepor ou compilar informações, seja em formato de imagem (cartas temáticas, imagens de satélite, etc., seja em formato de texto (tabelas, anuários estatísticos, censos, etc). Uma outra alternativa, o método automatizado, informatizado e parametrizado, requer desenvolvimento de algoritmos, adotando técnicas como execução de *links* e *macros*, eventualmente programação (linguagens: *Visual Basic*, *C++*, *Lisp*, etc), e consiste no preenchimento automático da base de dados, em função de processos associativos de gerenciamento dos dados disponíveis. Uma outra possibilidade é o método investigativo, que consiste em ir a campo e obter, através de observação direcionada ou da aplicação de questionários, informações que podem ser posteriormente tratadas por processo estatístico.

Em ambas as atividades de representação gráfica e organização de dados, para torná-las sucintas e confiáveis durante o processo de aplicação ao monitoramento, é importante que sejam elaboradas observando três etapas propostas na metodologia.

Na etapa de estudos preliminares, a identificação da ênfase para a qual o monitoramento está direcionado é de extrema importância, pois influenciará na escolha dos fatores a serem adotados para o estudo de caso. Citamos alguns exemplos de ênfase: novas áreas para expansão urbana, avaliação de impacto ambiental, verificação de áreas em processo de valorização ou de degradação, zoneamento de uso do solo, planejamento de atividades econômicas, definição de vocações territoriais, etc. Uma vez definida a ênfase da aplicação do monitoramento, a pesquisa de fontes disponíveis é essencial para

a sua execução, e direcionará todo o processo de coleta e organização de dados. Aspectos como origem, confiabilidade, cronologia, detalhamento, metodologia, etc. são importantes para definir se a base de dados de uma fonte será aproveitada integralmente, recompilada ou complementada. O estudo do território (principais características físicas, administrativas, sociais, econômicas, etc) entra como pesquisa coadjuvante, que também orientará a busca ou elaboração de novas fontes, e também a escolha de um dos métodos apresentados para organização de dados: cognitivo, automatizado ou investigativo.

Na etapa de preparo de base de dados, merece atenção o desenvolvimento de conceitos e métodos para mensuração, técnica que envolve o percurso fator > parâmetro > critério. Exemplificamos este percurso com o fator *abastecimento de agua*. Os parâmetros utilizados para mensuração podem ser qualitativos (estado da rede, qualidade do tratamento, regularidade no abastecimento, plano de expansão) e quantitativos (vazão, pressão, armazenamento). Os critérios objetivam transformar a forma com que o parâmetro se manifesta no sítio mensurado (qualitativo: estado geral da rede, quantitativo: faixa numérica de vazão, etc) em variáveis linguísticas que traduzem a intensidade de oferta do fator: *excelente, bom, regular, precário, inexistente*. Para efeito de sistematização do método, cada fator deve possuir uma ficha contendo descrições do conceito associado ao fator, dos parâmetros utilizados na sua mensuração, e apresentar de forma clara e esquemática dispositivos para direcionar a aplicação do critério, como tabelas ou matrizes que indiquem a correspondência entre o estado ou faixa de um parâmetro e a variável linguística correspondente.

O outro ponto a ser destacado, quanto a representação gráfica, é a modelagem icônica do território. As bases cartográficas já digitalizadas apresentam quantidade e detalhe de informação além do necessário para o monitoramento, gerando arquivos de grande tamanho, que demandam sistemas mais complexos. Por outro lado, a programação visual destas cartas é orientada para processos onde é requerida precisão e grande capacidade para gerenciar informações, quando para o monitoramento urbano são suficientes e eficazes as representações esquemáticas, com destaque para simbologias e ícones que permitam a rápida identificação do sítio georeferenciado. Nos estudos de localização, desenvolvemos no software AutoCAD métodos apropriados para confecção de mapas temáticos vetorizados, a partir de outros mapas mais complexos ou de imagens *raster*. Estes mapas temáticos mostraram-se adequados à utilização no modelo locacional, atendendo de forma efetiva às condicionantes de operacionalidade (tamanho de arquivo, compatibilidade, etc.) e de cognição (clareza, simbologia, etc). A metodologia aqui apresentada está orientada, portanto, para desenvolvimento de uma plataforma GIS própria, gerada em ambiente C.A.D. associado a banco de dados, conforme os experimentos desenvolvidos e implementados em LIMA (1993) e COPPETEC (1998). Uma das vantagens deste tipo de solução é a adequação aos processos iterativos, conferindo nestes casos grande agilidade à tarefa de preenchimento da matriz de oferta por interpolação gráfica cognitiva. Num processo iterativo, um sítio urbano '*linkado*' a um registro da planilha de oferta pode receber uma atribuição de variável linguística em tempo real, isto é: a visualização de parâmetros e a sua interpretação cognitiva podem ser feitos simultaneamente à complementação da matriz de oferta.

A etapa de operacionalização envolve o desenvolvimento de rotinas e implementação de algoritmos (através de macros, programação, etc.), voltados para a mensuração de oferta e a consulta dos dados. A *linguagem de pesquisa estruturada* (SQL) é também empregada no controle de visualização dos ícones e símbolos *linkados*, realçados em função da pesquisa estruturada por condições verificadas na bases de dados. Portanto, o recurso de SQL pode ser utilizado para visualizar por meio de atributos gráficos as

faixas de densidade populacional e de grau de escolaridade, que serão interpretadas para a mensuração de um fator ligado a características da população assentada. Empregando rotinas em SQL, é possível fazer uma reconstituição cronológica da evolução de oferta de um fator, ou até mesmo pesquisar se outros fatores ou parâmetros podem estar associados a este fator em especial (ex; renda per capita, ocupação e uso de solo). Para garantir a eficiência no emprego de SQL, a estruturação da base de dados é primordial, pois define as relações entre *campos chave* de cada tabela, e racionaliza os processos de atualização e de aproveitamento de bases de dados já existentes (ex: IBGE, IPLAMRIO, CIDE, etc.).

6- CONCLUSÃO

A partir da avaliação criteriosa de experimentos georeferenciados anteriores, e sistematizando o ferramental técnico e os procedimentos para organização de dados em função da natureza do problema estudado, pode ser desenvolvido um modelo para monitoramento da oferta de fatores impactantes na evolução urbana. Com o emprego de metodologia adequada, os dispositivos informatizados de visualização associada a pesquisa de dados (C.A.D. e S.Q.L) tornam-se integradores das várias bases de dados existentes, e portanto úteis para a tomada de decisões na esfera de planejamento e desenvolvimento sustentado das regiões metropolitanas.

A ênfase nos procedimentos cognitivos coloca a metodologia proposta direcionada para uma ferramenta de projeto assistido, diferenciando-a dos sistemas do tipo “caixa preta”. Conjuntos de resultados distintos podem ser gerados, seja em função do conjunto de fatores selecionados, dos parâmetros empregados na mensuração da oferta, ou até mesmo dos critérios para atribuição de variáveis linguísticas aos diversos níveis de intensidade de oferta.

Este tipo de abordagem do problema favorece e valoriza o planejamento participativo, e permite que, em função do grau de detalhamento conferido aos fatores e seus parâmetros, o modelo adquira características que vão do esquemático ao complexo, possibilitando sua utilização tanto em pesquisas de curto prazo e baixo custo, quanto no desenvolvimento de sistemas sofisticados que integrem o monitoramento de fatores à simulação da evolução urbana.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONCISA; “PLINCO: Programa de Informações para Localização Industrial e Comercial” – V. I, Rio de Janeiro, **Relatório CONCISA/SOMEA/COPPE**, 1976.

COPPE; FEEMA; IBAM “Revisão do Zoneamento Industrial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro”, Rio de Janeiro, **Relatório COPPETEC/UFRJ**, 1998.

COSENZA, C. A.; "A Industrial Location Model"- **Working Paper**, Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Cambridge University, 1981.

COSENZA, C.A ; et alli ; “Localização Industrial no Novo Estado do Rio de Janeiro”- Rio de Janeiro, **Relatório COPPETEC/UFRJ**,1977.

LIMA, F. R.; "Estudos de Localização Industrial: Criação de um Sistema de Análise Baseado em Modelos Icônicos Gerados por Aplicações da Computação Gráfica Associadas a Banco de Dados Relacional" -**Tese de Doutorado**, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro , 1993.