

# **BASES PARA UMA METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO PARA SERVIÇOS DE EDUCAÇÃO E SAÚDE SOB A ÓTICA DOS TRANSPORTES**

**RENATO DA SILVA LIMA**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil – Transportes.

Orientador: Prof. Assoc. Antônio Néelson Rodrigues da Silva

Co-orientador: Prof. Assoc. José Fernando Gomes Mendes

**São Carlos  
2003**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP**

L732m Lima, Renato da Silva  
Bases para uma metodologia de apoio à decisão para  
serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes  
/ Renato da Silva Lima. -- São Carlos, 2003.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São  
Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.  
Área: Transportes.  
Orientador: Prof. Assoc. Antônio Néelson Rodrigues da  
Silva.  
Co-orientador: Prof. Assoc. José Fernando Gomes  
Mendes.

1. Sistema de apoio à decisão espacial. 2. Equipamentos  
urbanos de educação e saúde. 3. Projeções populacionais.  
4. Planejamento urbano e de transportes. 5. Gestão  
urbana. I. Título.

*Esse trabalho é dedicado aos meus dois tesouros, incentivos maiores para superar os percalços dessa caminhada: à minha amada esposa Josiane, pelo amor, carinho, dedicação e incentivo, e à minha filha Mariana, que com seu sorriso inunda nossa vida de alegria e felicidade...*

## ***AGRADECIMENTOS***

---

---

Ao meu pai João Batista, aos meus irmãos e, principalmente, à minha mãe, Maria, pelo incentivo e pela oportunidade de chegar até aqui.

Ao orientador, Prof. Antônio Nélon Rodrigues da Silva, pela competência, pela confiança, pela oportunidade de realizar esse trabalho e, acima de tudo, pela amizade ao longo de todos esse anos.

Ao co-orientador, Prof. José Mendes, pela oportunidade do estágio em Portugal, pelo apoio incondicional e pela amizade.

Ao Prof. Paulo César Segantine, pela amizade e pelos valiosos conselhos, e aos demais professores do STT, pelo convívio sadio e pelo conhecimento adquirido ao longo desses anos.

Aos amigos de hoje e de sempre do Departamento de Transportes, personificados nas figuras de Alexandre Barra, Marcus Seraphico, Everton Parente, Rômulo Xerez, Rafael Moraes, Renato Thiago, João Marcello, Cláudio Dubeux, Mário Garrido, Manuel Lucas, Carlos Prado, Gustavo e a todos os outros (que aqui não caberiam) pelos inesquecíveis anos de convivência. Valeu, Cúpula do Trovão!

Aos amigos Alexandre Lima (companheiro de 6 anos de pós-graduação), e Ricardo Gonçalves pelo caráter e pela duradoura e inabalável amizade.

Aos amigos da Universidade do Minho: Rui Ramos, Daniel, Tojó, André, Paula Costa, Paula Nunes, Lígia, José Manoel, Sampaio Duarte, Rui Miguel, pela presteza infinita e pelos ótimos momentos vividos em Portugal.

Aos funcionários do STT: Carlos (Toco), Heloisa, Magali, Lílian, Sueli e Beth, pela cooperação e incentivo.

À FAPESP, pelo apoio financeiro sem o qual esse trabalho não teria sido desenvolvido.

À Secretaria Municipal de Educação de São Carlos e ao NIPE – Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Ensino – pelo fornecimento dos dados relativos aos sistemas de educação e saúde.

À Secretaria de Habitação e Desenvolvimento Urbano de São Carlos, em especial ao Arquiteto José Fabrício, e ao SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto, pelo fornecimento dos dados relativos à base de endereços

A todos os outros que direta ou indiretamente colaboraram para a execução desse trabalho e por algum motivo não foram lembrados (a quem antecipadamente me desculpo).

E, acima de tudo, a Deus, por ter colocado pessoas como Antônio Nélon e José Mendes em meu caminho, pela vida que me foi confiada e por mais essa etapa vencida. “*Glória a Deus nas maiores alturas e paz na terra entre os homens de boa vontade*” (Lucas 2, 14).

*“A morte do homem começa no instante em que ele desiste de aprender.”*  
Albino Teixeira

*“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original.”*  
Albert Einstein

*“A grandeza não consiste em receber honras, mas em merecê-las.”*  
Aristóteles

*“No caráter, na conduta, no estilo, em todas as coisas, a simplicidade é a suprema virtude.”*  
Henry Longfellow

*“Do meu telescópio, eu via Deus caminhar! A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isto fica sendo a minha última e mais elevada descoberta.”*  
Isaac Newton

## **RESUMO**

---

LIMA, R. S. (2003). *Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes*. 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

Um dos problemas que afetam as cidades brasileiras é a falta de uma metodologia adequada para a implantação de equipamentos coletivos públicos (escolas, postos de saúde, entre outros), e da utilização de modo racional desses equipamentos. Esse foi o ponto de partida para esse trabalho, cujo objetivo principal foi desenvolver uma ferramenta de análise espacial para auxiliar o poder público no planejamento e na gestão dos serviços públicos de educação e saúde, no que concerne basicamente à melhor localização das unidades básicas de atendimento e à melhor distribuição dos usuários por essas unidades, buscando reduzir os custos de transporte.

Após uma avaliação da atual política de distribuição e utilização dos equipamentos coletivos de educação e saúde no Brasil e no mundo, foi realizada uma análise dos conceitos relativos às ferramentas de apoio a problemas de decisão de caráter espacial, particularmente os Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE). De posse dessa base conceitual, buscou-se formular as bases de um sistema (ou uma metodologia) que apoiasse a implantação de novos equipamentos coletivos e uma utilização eficiente dos equipamentos já existentes, tendo como parâmetro principal de comparação o custo de deslocamento dos usuários. Esse sistema deveria ser adequado à realidade das cidades médias brasileiras, de maneira geral hoje inseridas num cenário de falta de planejamento e de ausência de bases de dados estruturadas (e atualizadas). Ainda, como proposta adicional, procurou-se incorporar como ferramentas de apoio ao sistema algumas técnicas emergentes que, embora relativamente pouco utilizadas no planejamento urbano até o presente momento, apresentam grande potencial para tal. São elas: os Autômatos Celulares (ou CA, *Cellular Automata*) e as Redes Neurais Artificiais (RNA).

Os fundamentos do sistema concebido foram transpostos para uma aplicação prática desenvolvida em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) através de um estudo de caso conduzido na cidade de São Carlos (SP), cujos resultados demonstraram que quando se pensa em otimizar os custos de deslocamento, a principal ação a ser empreendida é a redistribuição da demanda às unidades de oferta, antes de se pensar na abertura de novas unidades. Mais importante do que os resultados numéricos obtidos, foi a confirmação de que é possível se utilizar as diversas ferramentas de planejamento e gestão de modo integrado. A partir dessa metodologia, um investimento em desenvolvimento de *software* pode levar à construção de um efetivo Sistema de Apoio à Decisão Espacial. De maneira mais geral, pode-se afirmar que a obtenção de dados é o grande obstáculo para pesquisas dessa natureza. A montagem de uma base de dados sólida e confiável é, sem dúvida, o ponto crucial para a execução de projetos potencialmente bem sucedidos.

**Palavras-chave:** Sistemas de apoio à decisão espacial; Equipamentos urbanos de educação e saúde; Projeções populacionais; Planejamento urbano e de transportes, Gestão urbana

## ***ABSTRACT***

---

LIMA, R. S. (2003). *Bases for a decision support methodology for education and health services from a transportation perspective*. 200p. Ph. D. Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

One of the main problems faced by Brazilian cities is the lack of adequate methodologies for the implementation and rational use of public service facilities (such as schools and health care centers). That was the starting point in the definition of the main objective of the present work, which is the development of a spatial analysis tool for seeking an optimal arrangement of primary health and education facilities, in order to reduce transportation costs. The use of such a tool in the public administration is important not only for planning but also for management purposes.

The study starts with an investigation of approaches that have been used in real cases, in cities of different countries, to define health and education facility types and their distribution. A careful analysis of location-allocation concepts and analysis tools for the solution of spatial problems, with particular emphasis on the Spatial Decision Support Systems (SDSS), was also conducted. The system (or methodology) proposed, which was meant to support the process of location of new facilities and also an efficient use of the existing ones while reducing transportation costs, was based on that conceptual framework. The system was directed to the context of Brazilian medium-sized cities, where planning concepts are not widely applied and even the databases available are sometimes very limited and frequently outdated. The system design looked for both traditional and innovative approaches and computer-based techniques, such as Cellular Automata (CA) and Artificial Neural Networks (ANN). These techniques, although not yet extensively applied in urban planning and management, seem to be promising alternatives for those activities.

The integration of the different tools and techniques was tested in a practical application carried out in the city of São Carlos (SP) and developed in a Geographic Information System (GIS) environment. The results drawn from the application are clear: the main action to reduce the transportation costs in the case studied was a re-distribution of the demand. It was considerable, despite the fact that not a single facility has been added. Another important outcome of the research was the confirmation of the hypothesis that the distinct planning and management tools tested could be used in an integrated approach. Therefore, the methodology discussed here could effectively become a Spatial Decision Support System only by means of software development for building the system interfaces. As a general conclusion, the data gathering problems still seem to be the main barrier for research development in this area. Consequently, the construction of solid and reliable databases is undoubtedly a key point to start any potentially successful project.

**Keywords:** Spatial decision support systems; Health and education urban facilities; Population estimation; Urban and transportation planning; Urban management.

## **LISTA DE FIGURAS**

---

<i>Figura 2.1 – O planejamento de equipamentos coletivos (ANTUNES, 2001)</i> .....	8
<i>Figura 2.2 – Metodologia geral de planejamento (ANTUNES, 2001)</i> .....	11
<i>Figura 2.3 – Soluções eficientes (ANTUNES, 2001)</i> .....	23
<i>Figura 3.1 – Classificação dos problemas de decisão multicritério (MALCZEWSKI, 1999a)</i> .....	36
<i>Figura 3.2 – Grau de estruturação do problema decisório (MALCZEWSKI, 1999a)</i> .....	40
<i>Figura 3.3 – Componentes do SADE (MALCZEWSKI, 1999a)</i> .....	49
<i>Figura 4.1 – Fases do processo decisório</i> .....	59
<i>Figura 5.1 – Níveis de organização</i> .....	78
<i>Figura 6.1 – Etapas do projeto</i> .....	88
<i>Figura 6.2 – Ajuste das faixas etárias para Creches e EMEIs</i> .....	107
<i>Figura 6.3 – Universo de alunos de Creches e EMEIs</i> .....	108
<i>Figura 7.1 – População de São Carlos (SEADE, 2002)</i> .....	130
<i>Figura 7.2 – Taxa de crescimento anual da população de São Carlos – 1970-2001</i> .....	131
<i>Figura 7.3 – Previsão da estabilização da população de São Carlos</i> .....	131
<i>Figura 7.4 – Valores observados de taxa de urbanização de São Carlos</i> .....	132
<i>Figura 7.5 – Nascidos vivos em São Carlos (SEADE, 2002)</i> .....	134
<i>Figura 7.6 – Nascidos vivos em São Carlos – 1980 - 2001 (SEADE, 2002)</i> .....	134
<i>Figura 7.7 – Distribuição das Creches (a) e EMEIs (b) e respectivos alunos em 2000 (ano zero)</i> .....	140
<i>Figura 7.8 – Cenário 1 de distribuição das Creches (a) e EMEIs (b) e respectivos alunos em 2000 (ano zero)</i> .....	143
<i>Figura 7.9 – Densidade populacional dos setores censitários de São Carlos</i> .....	150
<i>Figura 7.10 – Esquema para ajuste dos setores censitários</i> .....	151
<i>Figura 7.11 – Densidade populacional dos setores censitários ajustados de São Carlos</i> .....	153



<i>Figura 7.12 – Cenário de distribuição de Creches (a) e EMEIs (b) e respectivos alunos em 2004 (Etapa II).....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 7.13 – Gráfico de pontos para os melhores resultados obtidos das RNA.....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 7.14– Cenários de distribuição das Creches .....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 7.15– Cenários de distribuição das EMEIs .....</i>	<i>175</i>
<i>Figura 7.16 – Postos de saúde existentes em 2000 e em construção em 2003.....</i>	<i>179</i>
<i>Figura 7.17 – Áreas de cobertura dos postos de saúde em 2000 – Etapa IV.....</i>	<i>179</i>

## **LISTA DE TABELAS**

---

<i>Tabela 2.1 – Critérios de planejamento de equipamentos coletivos portugueses (ANTUNES, 2001; OLIVEIRA &amp; CORAGEM, 2000).....</i>	<i>12</i>
<i>Tabela 6.1 – Levantamento preliminar de dados .....</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 6.2 – Resumos das atividades da Etapa I – Educação – Presente .....</i>	<i>104</i>
<i>Tabela 6.3 – Resumos das atividades da Etapa II – Educação – Futuro Próximo .</i>	<i>114</i>
<i>Tabela 6.4 – Resumos das atividades da Etapa III – Educação – Futuro Distante</i>	<i>118</i>
<i>Tabela 6.5 – Resumos das atividades das Etapas IV, V e VI – Saúde .....</i>	<i>123</i>
<i>Tabela 7.1 – Valores observados e estimados de população e taxa de crescimento</i>	<i>132</i>
<i>Tabela 7.2 – Valores observados e estimados de população urbana e taxa de urbanização .....</i>	<i>133</i>
<i>Tabela 7.3 – Dados da Secretaria Municipal de Educação para o ano 2000.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabela 7.4 – Distâncias desagregadas .....</i>	<i>141</i>
<i>Tabela 7.5 – Cenários de alocação considerados para Creches e EMEIS – Etapa I .....</i>	<i>142</i>
<i>Tabela 7.6 – Cenários de alocação para as Creches – Etapa I .....</i>	<i>144</i>
<i>Tabela 7.7 – Alunos situados a distâncias maiores do que os valores dos Índices de Acessibilidade Globais – Creches .....</i>	<i>146</i>
<i>Tabela 7.8 – Cenários de alocação para as EMEIs – Etapa I .....</i>	<i>147</i>
<i>Tabela 7.9 – Alunos situados a distâncias maiores do que os valores dos Índices de Acessibilidade Globais – EMEIs .....</i>	<i>148</i>
<i>Tabela 7.10 – Modelo demográfico por setores para 2004 (população total).....</i>	<i>154</i>
<i>Tabela 7.11 – Modelo demográfico por setores para 2004 para Creches (população 0–3 anos) .....</i>	<i>155</i>
<i>Tabela 7.12 – Modelo Demográfico por setores para 2004 para EMEIs (população 4–6 anos) .....</i>	<i>156</i>
<i>Tabela 7.13 – Cenários de alocação considerados para Creches e EMEIS – Etapa II .....</i>	<i>158</i>
<i>Tabela 7.14 – Cenários de alocação para as Creches – Etapa II.....</i>	<i>159</i>

<i>Tabela 7.15 – Cenários de alocação para as EMEIs – Etapa II</i> .....	161
<i>Tabela 7.16 – Valores de densidades médias urbanas globais para São Carlos (hab/ha)</i> .....	166
<i>Tabela 7.17 – Descrição dos modelos de RNA montados</i> .....	168
<i>Tabela 7.18 – Comparação entre população total obtida via modelos demográficos e via modelo baseado em CA em 2010</i> .....	170
<i>Tabela 7.19 – Cenários de alocação considerados para Creches e EMEIS – Etapa III</i> .....	171
<i>Tabela 7.20 – Cenários de alocação para as Creches – Etapa III</i> .....	172
<i>Tabela 7.21 – Cenários de alocação para as EMEIs – Etapa III</i> .....	175
<i>Tabela 7.22 – Porcentagem de cobertura – Etapa IV</i> .....	180
<i>Tabela 7.23 – Porcentagem de cobertura – Etapa V</i> .....	180
<i>Tabela 7.24 – Porcentagem de cobertura – Etapa IV</i> .....	180
<i>Tabela 8.1 – Obstáculos e oportunidades encontrados na aplicação do sistema</i> ...	189

## ***LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS***

---

AMA	–	Análise de Decisão Multiatributo
AMC	–	Análise de Decisão Multicritério
AMO	–	Análise de Decisão Multiobjetivo
CA	–	Autômatos Celulares ( <i>Cellular Automata</i> )
EQM	–	Erro Quadrático Médio
REQM	–	Raiz do Erro Quadrático Médio
RNA	–	Redes Neurais Artificiais
SAAE	–	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SAD	–	Sistema de Apoio à Decisão
SADE	–	Sistema de Apoio à Decisão Espacial
SAP	–	Sistema de Apoio ao Planejamento
SEADE	–	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SGBD	–	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SGI	–	Sistema de Gerência de Informações
SGIM	–	Sistema Gerenciador da Interface entre os Modelos
SGMA	–	Sistema Gerenciador de Modelos de Avaliação
SIE	–	Sistemas de Informações Executivos
SIG	–	Sistema de Informações Geográficas

## SUMÁRIO

---

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 Relevância do trabalho</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Estrutura do trabalho</b> .....	<b>4</b>
<b>2 EQUIPAMENTOS COLETIVOS</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Introdução</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Estrutura do Problema</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3 Abordagens</b> .....	<b>9</b>
<b>2.4 Metodologia de Planejamento</b> .....	<b>9</b>
<b>2.5 Demanda por Equipamentos Coletivos</b> .....	<b>13</b>
2.5.1 Evolução da População .....	14
2.5.2 Evolução das Atribuições per capita .....	15
<b>2.6 Oferta de Equipamentos Coletivos</b> .....	<b>16</b>
2.6.1 Problemas Simples .....	17
2.6.2 Problemas Complexos.....	19
Problemas de Minimização de Custos .....	20
Problemas de Maximização da Acessibilidade .....	20
Problemas de Maximização da Cobertura.....	21
Problemas de Maximização da Equidade.....	22
Extensões Importantes .....	22
Resolução .....	23
<b>2.7 Localização de Equipamentos de Educação e Saúde</b> .....	<b>24</b>
2.7.1 Educação.....	25
2.7.2 Saúde.....	29
2.7.3 Considerações Gerais .....	31
<b>2.8 Planejamento da Rede de Educação e Saúde em Portugal</b> .....	<b>32</b>
<b>3 TEORIA DA DECISÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1 O Processo Decisório</b> .....	<b>33</b>
3.1.1 Análise de Decisão Espacial.....	37
3.1.2 Problemas de Decisão e Apoio à Decisão .....	39
3.1.3 Tomada de Decisão.....	41
<b>3.2 Sistemas que Apóiam o Processo de Tomada de Decisão</b> .....	<b>43</b>
3.2.1 SAD – Sistemas de Apoio à Decisão .....	43
3.2.2 SADE – Sistemas de Apoio à Decisão Espacial.....	46
3.2.3 SAP – Sistemas de Apoio ao Planejamento .....	50
<b>3.3 Considerações Finais</b> .....	<b>54</b>

<b>4 TÉCNICAS E FERRAMENTAS.....</b>	<b>57</b>
<b>4.1 SIG e Apoio à Decisão.....</b>	<b>57</b>
4.1.1 SIG e o Processo Decisório .....	59
Inteligência.....	59
Projeto.....	60
Escolha.....	61
<b>4.2 SIG e AMC.....</b>	<b>62</b>
4.2.1 Diretrizes de Utilização da AMC.....	62
4.2.2 Avaliação de Pesos, Normalização e Combinação de Critérios.....	63
4.2.3 Mapas como Ferramentas de Apoio à Decisão .....	64
4.2.4 Aplicações no Planejamento do Território .....	66
<b>4.3 Autômatos Celulares (Cellular Automata, CA).....</b>	<b>68</b>
4.3.1 Modelos de Cellular Automata para Simulação da Dinâmica Urbana.....	68
4.3.2 Vantagens e Desvantagens do Uso dos Modelos CA.....	70
4.3.3 Definição dos Estados das Células nos Modelos CA.....	71
<b>4.4 Redes Neurais Artificiais (RNA).....</b>	<b>72</b>
4.4.1 Redes Neurais Artificiais no Planejamento Urbano e de Transportes .....	74
4.4.2 EasyNN-plus <sup>®</sup> .....	75
4.4.3 Medidas de Desempenho.....	76
<b>5 DIRETRIZES CONCEITUAIS.....</b>	<b>77</b>
<b>5.1 Planejamento Estratégico .....</b>	<b>78</b>
<b>5.2 Planejamento e Demografia.....</b>	<b>79</b>
<b>5.3 Cadastro e Endereçamento .....</b>	<b>81</b>
<b>5.4 Sistema ou Metodologia de Apoio à Decisão Espacial? .....</b>	<b>83</b>
<b>6 METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO ESPACIAL.....</b>	<b>85</b>
<b>6.1 As Bases do Sistema .....</b>	<b>88</b>
6.1.1 A Base Institucional .....	88
6.1.2 A Base Operacional .....	89
Cadastro Urbano e Georeferenciamento.....	90
Dados Demográficos.....	91
<b>6.2 Definição da Abrangência do Sistema.....</b>	<b>92</b>
6.2.1 A Dimensão “Social” .....	92
6.2.2 A Dimensão Temporal .....	93
<b>6.3 Medidas de Desempenho.....</b>	<b>95</b>
6.3.1 Medidas de Acessibilidade.....	95
6.3.2 Medidas de Cobertura.....	97
6.3.3 Índice Global de Acessibilidade (IGA) .....	97
<b>6.4 Caracterização Geral da Demanda e da Oferta .....</b>	<b>99</b>
<b>6.5 O Núcleo de Apoio à Decisão.....</b>	<b>101</b>
6.5.1 Etapa I: Educação - Presente .....	102
6.5.2 Etapa II: Educação – Futuro Próximo .....	104
Modelo de Distribuição de Demanda com Redes Neurais Artificiais.....	113
6.5.3 Etapa III: Educação – Futuro Distante .....	114
6.5.4 Etapas IV, V e VI: Saúde.....	118
<b>6.6 Atividades a serem desenvolvidas .....</b>	<b>124</b>

<b>7 ESTUDO DE CASO: SÃO CARLOS, SP.....</b>	<b>126</b>
<b>7.1 Etapas preliminares.....</b>	<b>127</b>
7.1.1 Estabelecimento das Bases do Sistema .....	127
7.1.2 Definição da Abrangência do Sistema.....	129
7.1.3 Estudos demográficos preliminares .....	129
7.1.4 Medidas de Desempenho Utilizadas .....	135
7.1.5 Caracterização Geral da Demanda e da Oferta .....	135
<b>7.2 Etapa I: Educação - Presente .....</b>	<b>137</b>
7.2.1. Creches.....	144
7.2.2. EMEIs.....	146
7.2.3. Conclusões da Etapa I .....	148
<b>7.3 Etapa II: Educação – Futuro Próximo .....</b>	<b>149</b>
7.3.1. Creches.....	158
7.3.2. EMEIs.....	162
<b>7.4 Etapa III: Educação – Futuro Distante .....</b>	<b>164</b>
7.4.1 Modelo baseado em Cellular Automata.....	164
7.4.2. Creches.....	171
7.4.3. EMEIs.....	174
7.4.4. Conclusões das Etapas II e III .....	176
<b>7.5 Etapas IV, V e VI: Saúde .....</b>	<b>177</b>
<b>7.6 Atividades desenvolvidas .....</b>	<b>181</b>
<b>8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES .....</b>	<b>184</b>
<b>8.1 Sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>191</b>
<b>9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>192</b>

## ***1 INTRODUÇÃO***

---

Um dos problemas que afetam as cidades brasileiras é a falta de uma metodologia adequada para a implantação de infra-estrutura pontual (escolas, postos de saúde, unidades do corpo de bombeiros, entre outros), também denominados de equipamentos coletivos públicos, e da utilização de modo racional desses equipamentos. Os problemas daí decorrentes são freqüentemente agravados, no caso da imensa maioria das cidades médias brasileiras, pela ausência de planejamento urbano, de forma mais ampla. Esse foi o ponto de partida para esse trabalho, cujo objetivo principal foi desenvolver uma ferramenta de análise espacial para auxiliar o poder público no planejamento e na gestão dos serviços públicos de educação e saúde, no que concerne basicamente à melhor localização das unidades de atendimento (escolas e postos de saúde) e à melhor distribuição dos usuários por essas unidades, buscando reduzir os custos de deslocamento e observando padrões mínimos de acessibilidade e equidade para os usuários.

O trabalho se fundamentou em uma avaliação da atual política de distribuição e utilização dos equipamentos coletivos de educação e saúde no Brasil. A partir daí, foram estudadas experiências nacionais e estrangeiras já documentadas sobre o tema, com particular ênfase para o caso de Portugal, onde se realizou uma análise mais próxima (ou, em outras palavras, de cunho mais prático do que teórico). Em seguida, foi realizada uma análise cuidadosa dos conceitos encontrados na literatura internacional relativos às ferramentas de apoio a problemas de decisão de caráter espacial, particularmente os Sistemas de Apoio ao Planejamento (SAP) e os Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE).

De posse dessa base conceitual, buscou-se formular as bases de um sistema (ou uma metodologia) que apoiasse a implantação de novos equipamentos



coletivos e uma utilização eficiente dos equipamentos já existentes, tendo como parâmetro principal de comparação o custo de deslocamento dos usuários. Esse sistema deveria ser adequado à realidade das cidades médias brasileiras, de maneira geral hoje inseridas num cenário de falta de planejamento e de ausência de bases de dados estruturadas (e atualizadas). Ainda, como proposta adicional, procurou-se incorporar como ferramentas de apoio ao sistema algumas técnicas emergentes que, embora relativamente pouco utilizadas no planejamento urbano até o presente momento, apresentam grande potencial para tal. São elas: os Autômatos Celulares (ou CA, *Cellular Automata*) e as Redes Neurais Artificiais (RNA).

Os fundamentos do sistema concebido foram transpostos para uma aplicação prática desenvolvida em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) através de um estudo de caso conduzido na cidade de São Carlos (SP), tendo por base dados dos últimos censos demográficos do IBGE e dados obtidos junto às Secretarias Municipais de Educação e Cultura.

Espera-se que o resultado final deste trabalho, além de identificar as falhas na atual distribuição dos equipamentos coletivos, em particular os serviços de educação e saúde, possa servir como ferramenta do planejamento, podendo ser utilizado por prefeituras ou outros órgãos de planejamento no Brasil. Dessa forma, a localização proposta para cada unidade de atendimento dos sistemas de educação e saúde poderia ser analisada *a priori*, aumentando, assim, a eficácia do sistema e melhorando o atendimento à sociedade. O foco do trabalho concentra-se nas cidades médias, uma vez que se presume que as grandes cidades (metrópoles) contam, em geral, com um maior número de estudos e equipes preparadas para enfrentar os problemas de planejamento urbano, enquanto que as pequenas cidades ainda não sofrem problemas sérios de crescimento. As cidades médias, por outro lado, enfrentam problemas que não exigem soluções muito sofisticadas por estarem ainda num estágio inicial, sendo plenamente viáveis ações de caráter preventivo, para que seu crescimento ocorra de forma planejada e controlada. São aqui consideradas como cidades médias aquelas com população na faixa de 100 a 500 mil habitantes, de acordo com SILVA (1993). Essa definição, por sua vez, baseou-se no estudo do GEIPOT (1985), que havia identificado 52 cidades de porte médio no Brasil, com populações que oscilavam entre 80 e 460 mil habitantes, a partir de inúmeros indicadores (além da população, foram considerados também nível médio de renda, uso de energia elétrica, água, esgoto, etc.).

## **1.1 Objetivos**

Face às considerações apresentadas anteriormente, o presente trabalho tem como objetivo principal:

- *Estabelecer as bases de uma metodologia de apoio à decisão espacial para racionalizar a distribuição e a utilização de equipamentos coletivos públicos, em particular os dos serviços de educação e saúde, em cidades médias brasileiras, buscando reduzir custos de deslocamento.*

A fim de atingir esse objetivo principal, desenham-se como objetivos específicos:

- *Tratar o planejamento e a gestão dos equipamentos coletivos de educação e saúde de forma conjunta, tentando estruturar uma base de dados única, uma vez que o público alvo é o mesmo quando se trata das faixas etárias mais baixas da população;*
- *Incorporar ao Sistema de Apoio ao Planejamento técnicas e ferramentas emergentes de planejamento ainda pouco utilizadas para fins de planejamento urbano no Brasil, especificamente as Redes Neurais Artificiais e os modelos de Autômatos Celulares (Cellular Automata).*

## **1.2 Relevância do trabalho**

A má distribuição dos equipamentos coletivos públicos em geral (escolas, postos de saúde, unidades do corpo de bombeiros, entre outros) em relação à demanda a servir se deve, em parte, à falta de estratégias específicas para a implantação desses equipamentos. Assim, o que se pretende com esse trabalho é desenvolver uma metodologia que possa otimizar a implantação da infra-estrutura pontual ou redistribuir os usuários para melhor utilizar os recursos existentes.

Um trabalho desta natureza pode ser de grande valia para o país, uma vez que um dos mais sérios problemas enfrentados pelas prefeituras é a escassez de recursos para os setores de educação e saúde. Com isso, faz-se necessária a melhor utilização possível dos recursos disponíveis, o que implica, entre outras coisas, numa distribuição racional dos postos de atendimento (escolas e postos de saúde) visando o atendimento do maior número de municípios possível. Com a utilização de um Sistema de Apoio ao Planejamento com as características aqui propostas torna-se possível planejar a localização de cada nova escola ou posto de saúde a ser instalado (ou possíveis expansões de unidades já existentes) em uma cidade, antevendo, por exemplo, o futuro

nível de atendimento da nova escola. Dessa maneira, pode-se direcionar a implantação das novas unidades, bem como gerir a distribuição da demanda das já existentes, de forma a melhorar continuamente as condições de acessibilidade intra-urbana, principalmente aos serviços essenciais.

### ***1.3 Estrutura do trabalho***

O presente trabalho está estruturado em 9 capítulos. Após essa introdução (Capítulo 1), os Capítulos de 2 a 5 apresentam uma parte relativa às considerações teóricas. O Capítulo 2 trata do Planejamento de Equipamentos Coletivos (ou Infra-estrutura Pontual). A seguir, no Capítulo 3, são apresentados os conceitos relativos à Teoria da Decisão, seguidos, no Capítulo 4, de uma síntese das principais técnicas e ferramentas que podem compor o SADE almejado. São elas: os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), as técnicas de Avaliação Multicritério (AMC), os modelos de Autômatos Celulares (CA, do termo em inglês *Cellular Automata*) e as Redes Neurais Artificiais (RNA).

Enquanto o Capítulo 5 contém as diretrizes conceituais para o sistema proposto, no Capítulo 6 apresenta-se, também de maneira conceitual, toda a metodologia de Apoio à Decisão Espacial definida no projeto. O Capítulo 7 apresenta o estudo de caso conduzido na cidade de São Carlos, SP, seguido das conclusões finais e recomendações, contidas no Capítulo 8. Finalmente, no Capítulo 9 são apresentadas as referências bibliográficas consultadas.

## **2 EQUIPAMENTOS COLETIVOS**

---

*Esse capítulo é dedicado às questões do Planejamento de Equipamentos Públicos, apresentando diferentes abordagens, metodologias de planejamento e considerações sobre a demanda e a oferta de equipamentos coletivos, uma vez que esse deve ser o foco principal do sistema a ser desenvolvido. Apesar de apresentar os conceitos relativos ao planejamento de equipamentos coletivos de maneira geral, especial ênfase é dedicada à questão da localização dos equipamentos coletivos públicos, mais especificamente os de saúde e educação. Com este enfoque, no final do capítulo são apresentadas algumas experiências nacionais e internacionais em localização de equipamentos de educação e saúde.*

### **2.1 Introdução**

O bem-estar de qualquer sociedade depende, entre outros fatores, da maior ou menor facilidade com que seus membros possam ter acesso aos bens e serviços indispensáveis a um pleno desenvolvimento da vida humana. As estruturas físicas através das quais os referidos bens e serviços são postos à disposição da comunidade têm a designação genérica de **equipamentos coletivos** (ou ainda, em alguns casos, **infra-estrutura pontual**).

Os equipamentos coletivos apresentam uma tipologia muito diversa, abrangendo setores tão distintos como a administração, a justiça, a educação, a saúde, a segurança, a cultura, o esporte, entre outros. A oferta dos equipamentos referidos é, em certos casos, competência do poder público e, em outros casos, da iniciativa privada, com ou sem fins lucrativos. No caso do Brasil e de Portugal, países em que se fez uma avaliação detalhada para fins desta pesquisa, bem como em muitos outros, a intervenção pública é bastante relevante, quer de forma direta quer de forma indireta, através de subsídios.

Segundo VASCONCELLOS (1997), o setor público é responsável pelo financiamento de 70 % dos nascimentos no município do Rio de Janeiro. Além disso, a clara desigualdade na distribuição espacial da mortalidade neonatal sugere a viabilidade e a necessidade da intervenção por parte do poder público e, por conseguinte, constitui um forte incentivo a estudos de planejamento de equipamentos coletivos de saúde. A importância dos objetivos e dos investimentos que se associam à instalação e exploração dos equipamentos coletivos faz com que a respectiva oferta seja, ou pelo menos devesse ser, objeto de um cuidadoso planejamento (ANTUNES, 2001).

Em termos gerais, dois padrões de localização de instalações de serviços e equipamentos urbanos devem ser considerados: o de estar o mais próximo possível da demanda (com o intuito de reduzir custos de transportes) e o de reduzir ao máximo os custos com instalações, seja pela escolha de uma localização devido ao custo financeiro, ou pela quantidade de instalações a serem estabelecidas. As duas considerações são conflitantes, visto que, para uma determinada instalação estar mais próxima da demanda a servir, implica dizer que um maior número de unidades terá que ser ofertado, onerando gastos com instalação. Com isso, a análise de localização e distribuição dessas instalações não pode se dar de modo separado, visto ainda que devem ser respeitados níveis de acessibilidade mínimos à população (LEONARDI, 1981).

Uma forma de analisar a proximidade é através do conceito de acessibilidade. Segundo GERRARD & CHURCH (1994), a localização dos equipamentos urbanos deve observar os níveis de acessibilidade apresentados pela região (ou cidade) em questão. Dessa forma, trabalhos como o desenvolvido por LIMA (1998), onde são analisados os efeitos da expansão urbana desordenada sobre os níveis de acessibilidade intra-urbana em duas cidades brasileiras de médio porte (São Carlos e Araraquara), podem ajudar na implantação e na avaliação do uso deste tipo de infraestrutura.

Dadas as usuais restrições de recursos para a construção e manutenção de novas unidades de serviço à comunidade, uma melhor organização espacial das já existentes seria uma estratégia lógica a ser seguida. Além disso, quanto mais próximo a demanda estiver da oferta, por exemplo, quanto mais perto da escola os alunos residirem, menores serão as necessidades de deslocamentos dos cidadãos e, por conseguinte, a necessidade por transportes, tanto público quanto privado. Em distâncias

pequenas, pode-se cada vez mais realizar deslocamentos a pé, sabidamente o meio de transporte mais barato e eficiente que existe, mas fortemente influenciado, no momento da escolha pelo usuário, pela distância ao destino final a ser percorrida.

OPPONG & HODGSON (1994) propõem essa estratégia lógica em um estudo sobre a realocação de serviços em postos de saúde em um país de terceiro mundo (Gana). Neste estudo, levou-se em consideração o modo a pé, tido como mais freqüente no contexto analisado, por se tratar de um país pobre. A acessibilidade geográfica aos equipamentos urbanos de saúde é determinada utilizando-se o método de localização de atividades. Em termos de localizar e distribuir atividades, os autores definem a acessibilidade geográfica aos equipamentos urbanos de duas formas:

*“Quando definido em termos de proximidade, acessibilidade tem uma conotação de minimização de distâncias e pode ser medida utilizando-se a distância média de viagem, considerada por muitos a melhor maneira de se determinar o uso das instalações.”*

*“Se uma instalação de saúde está dentro de uma distância de cobertura especificada para um indivíduo, ela é considerado acessível ao indivíduo e o indivíduo é considerado atendido. A acessibilidade nesse contexto é a proporção de pessoas atendidas”*

## **2.2 Estrutura do Problema**

Resumidamente, um problema de planejamento de equipamentos coletivos é um problema de adequação entre a demanda por determinados bens e serviços e a oferta dos mesmos, podendo ser traduzido pelo diagrama da Figura 2.1. Por um lado, existe a demanda por equipamentos, de que se conhece o valor inicial, e de que se conhecem as perspectivas de evolução, com relativa precisão a um futuro próximo, mas com incerteza para um futuro mais distante. Essa incerteza é expressa através de diferentes cenários para a referida evolução, cada qual com seu nível de probabilidade. Por outro lado, existe a oferta de equipamentos, de que se conhece a situação presente.

O processo de planejamento tem por finalidade determinar a trajetória mais adequada para a rede de equipamentos ao longo do tempo, ou seja, esclarecer em que lugares e com quais características (capacidade e composição) devem ser instalados os equipamentos da rede em cada instante, de forma a assegurar a melhor resposta possível à demanda que foi identificada. O conhecimento dessa referida trajetória

implica no conhecimento dos instantes em que novas unidades devem ser abertas, ou a expansão, redução da capacidade ou fechamento de unidades já existentes no início do processo de planejamento.

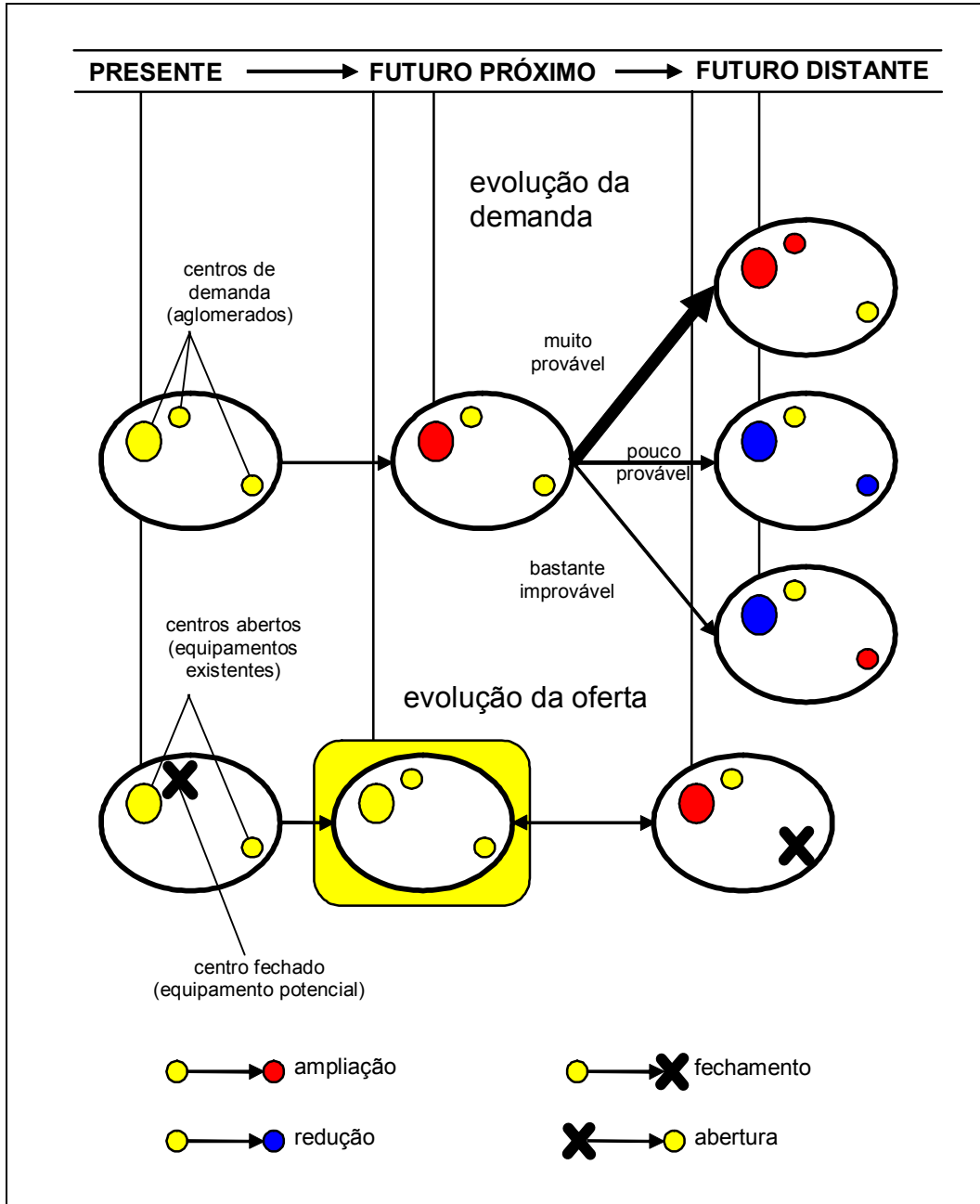


Figura 2.1 – O planejamento de equipamentos coletivos (ANTUNES, 2001)

### **2.3 Abordagens**

O tratamento de um problema com as características anteriores pode ser objeto de diferentes abordagens, que podem ser classificadas em termos de diversas dicotomias:

- *Planejamento Determinístico vs Planejamento Estocástico:*

Quando a incerteza (relativa principalmente à evolução da demanda) é um fator inerente ao processo, o planejamento é dito estocástico; do contrário, é determinístico.

- *Planejamento Estático vs Planejamento Dinâmico:*

No planejamento dinâmico, contrariamente ao planejamento estático, a evolução temporal da realidade em causa é considerada, definindo-se as intervenções necessárias em datas previamente agendadas.

- *Planejamento Setorial vs Planejamento Integrado:*

O planejamento integrado estabelece as decisões relativas à oferta de um determinado equipamento considerando as interações existentes entre a sua utilização e a utilização de outros equipamentos. Procura-se contribuir para um processo de desenvolvimento mais harmônico, através da distribuição adequada da totalidade dos equipamentos coletivos numa determinada região. No planejamento setorial, as interações não são consideradas, buscando-se atender as carências de cada equipamento individualmente. No caso de equipamentos do setor privado, o planejamento é naturalmente do tipo setorial; no setor público, a lógica dita que o planejamento seja preferencialmente integrado.

- *Planejamento Uniobjetivo vs Planejamento Multiobjetivo:*

O planejamento uniobjetivo, ao invés do planejamento multiobjetivo, geralmente trabalha com o objetivo único de minimizar os custos econômicos.

### **2.4 Metodologia de Planejamento**

Independentemente da abordagem sob a qual seja realizado, um processo de planejamento deve ser conduzido de acordo com uma metodologia bem definida, da mesma forma que deve ser desenvolvida sempre que se tornar necessário intervir em



sistemas complexos. Essa metodologia é apresentada em termos esquemáticos no diagrama da Figura 2.2. Sistemas são aqui entendidos como o conjunto formado pelos elementos que definem a demanda e a oferta dos equipamentos, e o modo como esses elementos se relacionam ou não.

A primeira etapa de um processo de planejamento consiste na elaboração de um **diagnóstico**, que serve para caracterizar, com uma precisão tão elevada quanto possível, os problemas do momento presente; e de um **prognóstico**, para caracterizar problemas que possam vir a ocorrer num futuro mais ou menos distante. A realização dessa etapa envolve várias operações: especificação dos critérios (em termos dos quais seja possível avaliar o estado inicial do sistema e medir o impacto de qualquer intervenção), realização de pesquisas (para a obtenção de informações objetivas sobre a realidade relevante) e a realização da análise (síntese das informações obtidas nas pesquisas, determinação dos mecanismos funcionais do sistema e identificação das condicionantes externas).

Com relação aos critérios, em Portugal, por exemplo, o Ministério do Planeamento e Administração do Território edita uma publicação denominada “*Critérios de Planeamento de Equipamentos Coletivos*” (ANTUNES, 2001), através da qual são definidos, para os equipamentos onde o setor público tem maior envolvimento, os critérios a observar no que se refere à irradiação máxima (acessibilidade mínima), a capacidade mínima e máxima, tipologias padrão alternativas, áreas necessárias e outros. Os critérios relativos aos principais equipamentos são apresentados de forma condensada na Tabela 2.1.

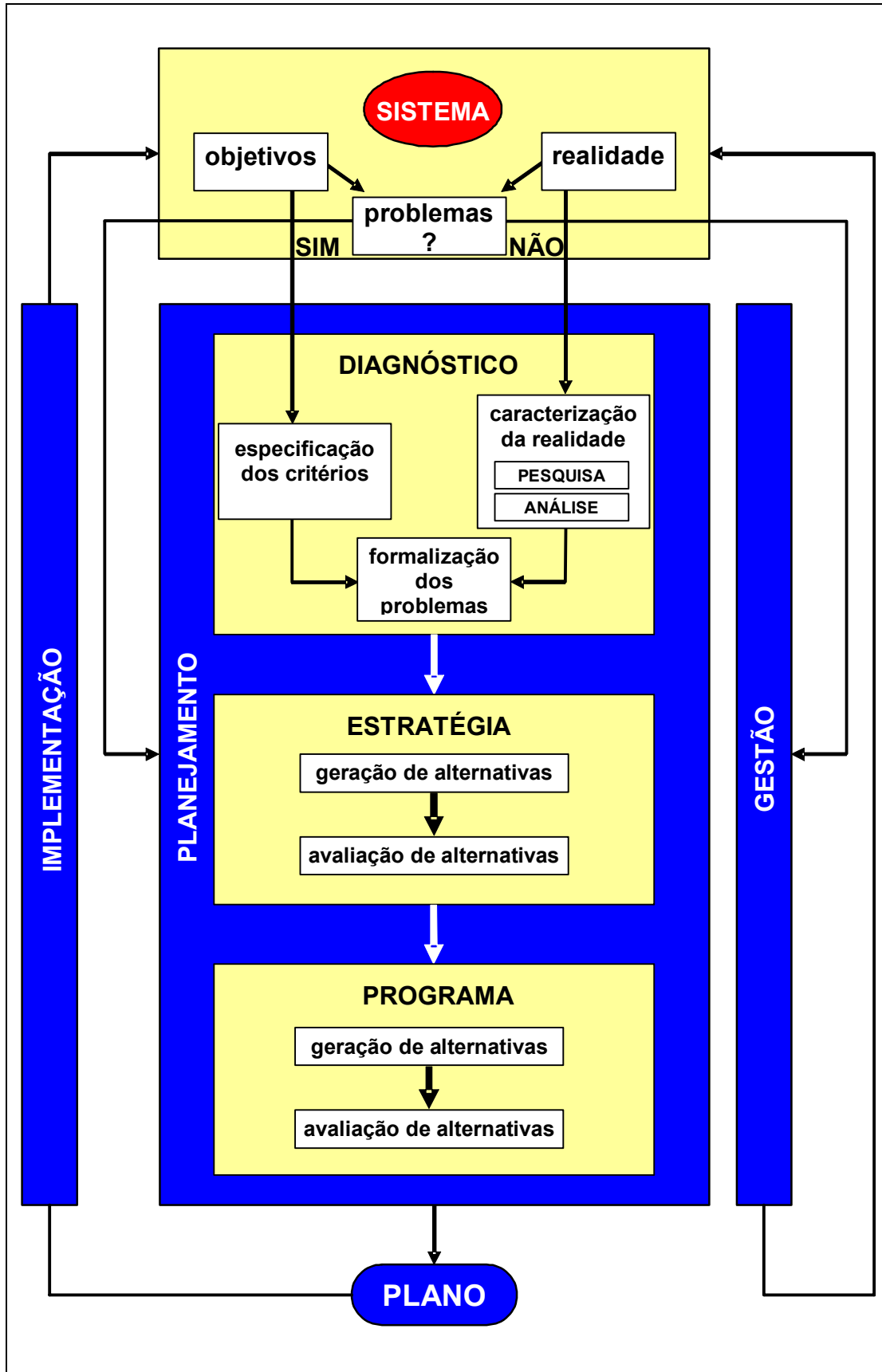


Figura 2.2 – Metodologia geral de planejamento (ANTUNES, 2001)

Tabela 2.1 - Critérios de planeamento de equipamentos coletivos portugueses (ANTUNES, 2001; OLIVEIRA & CORAGEM, 2000)

EQUIPAMENTO	IRRADIAÇÃO MÁXIMA	DIMENSÃO MÍNIMA	DIMENSÃO MÁXIMA	TIPOLOGIAS	ÁREA NECESSÁRIA
<b>EQUIPAMENTO DE ENSINO</b>					
Escola Secundária	2 a 3 km (30 a 50 min) ou 60 min em transp. colet.	18 salas - 25 alunos/sala	39 salas - 30 alunos/sala	18 a 39 salas	terreno: 24 m <sup>2</sup> /aluno construção: 8,5 m <sup>2</sup> /aluno
Escola Básica EB23	1,5 a 2,2 km (30 a 45 min) ou 60 min em transp. colet.	10 salas - 24 alunos/sala	25 salas - 30 alunos/sala	10 a 25 salas	terreno: 26 m <sup>2</sup> /aluno construção: 8,2 m <sup>2</sup> /aluno
Escola Básica EB123	1 a 2,2 km (15 a 45 min) ou 60 min em transp. colet.	14 salas - 20 alunos/sala	23 salas - 30 alunos/sala	14 a 23 salas	terreno: 24 m <sup>2</sup> /aluno construção: 8,2 m <sup>2</sup> /aluno
Escola Básica EB1	1 a 1,5 km (15 a 30 min) ou 40 min em transp. colet.	4 salas - 20 alunos/sala	12 salas - 25 alunos/sala	4 a 12 salas	terreno: 18 m <sup>2</sup> /aluno construção: 6,2 m <sup>2</sup> /aluno
Jardim de Infância	Até 15 min a pé ou 20 min em transporte coletivo	ed. isolado: 1 sala, 20 al com EB1: 3 salas, 60 al		1 a 3 salas 3 a 15 salas	terreno: 16 m <sup>2</sup> /aluno construção: 6 m <sup>2</sup> /aluno
<b>EQUIPAMENTO DE SAÚDE</b>					
Hospital Central	Regional	2.000.000 hab	= 2,65 leitos/1000 hab		construção: 90 a 100 m <sup>2</sup> /leito
Hospital Distrital	1 hora	250.000 hab	= 2,30 leitos/1000 hab		construção: 80 a 85 m <sup>2</sup> /leito
Centro de Saúde	Concelho	30.000 hab			terreno: 1500 a 3000 m <sup>2</sup>
Posto de Saúde	Freguesia	1.500 hab			constr.: 800 a 1100 m <sup>2</sup>
Farmácia	0,25 km	6.000 hab			
<b>EQUIPAMENTO DE ASSISTÊNCIA</b>					
Creche	Freguesia	5.000 hab			terreno: 10 m <sup>2</sup> /criança construção: 8 m <sup>2</sup> /criança
Centro de ATL (atividades tempo livre)	Freguesia	2.000 hab			terreno: 10 m <sup>2</sup> /criança construção: 3 m <sup>2</sup> /criança
Lar de Idosos	Concelho	30 idosos			construção: 40 m <sup>2</sup> /idoso
Centro de Dia (idosos)	Freguesia	40 a 50 idosos			construção: 4,5 m <sup>2</sup> /idoso
<b>EQUIPAMENTO DE CULTURA E RECREIO</b>					
Biblioteca Municipal	Concelho	BM1 (< 20.000 hab)	BM3 (> 50.000 hab)	BM1 - BM2 - BM3	BM1: 580 m <sup>2</sup> , BM2: 1150 m <sup>2</sup> , BM3: 1650 m <sup>2</sup>
Parque Urbano	800 m	10.000 hab			terreno: 3 m <sup>2</sup> /hab
Espaço de Recreio Infantil (6-9 anos)	400 m	2.500 hab			terreno: 800 m <sup>2</sup>
Espaço de Recreio Juvenil (10-16 anos)	400 m	2.500 hab			terreno: 1200 m <sup>2</sup>

A segunda etapa do processo de planejamento é a formulação da **estratégia** e consiste, por um lado, na identificação das orientações e ações fundamentais a prosseguir e, por outro, na identificação dos espaços e, no caso do planejamento integrado, dos setores prioritários a considerar. A terceira etapa, definição do **programa**, consiste na identificação da natureza e do calendário das medidas que permitirão cumprir os objetivos considerados e concretizar as opções estratégicas, respeitando o orçamento estabelecido. Tanto a formulação da estratégia quanto a definição do programa são executadas através da sucessiva geração e avaliação de alternativas, seguindo os critérios estabelecidos. No final, a melhor de todas as alternativas consideradas será a escolhida. Essa escolha é geralmente feita de modo perfeitamente sistemático, no sentido de não deixar de fora a melhor das alternativas, e para isso é comum à utilização de modelos de otimização (ANTUNES, 2001).

O resultado da descrição das etapas é o **plano**, documento onde se apresentam em termos acessíveis os aspectos fundamentais do diagnóstico, da estratégia e do programa. Em seguida, vem a **implementação** do plano, o qual, ao menos em tese, vai afetar a realidade existente aproximando-a dos objetivos formulados. A partir daí, começa a fase de **gestão**, que zela para que o plano se concretize com, no máximo, pequenos ajustamentos pontuais, dentro de limites que o próprio plano deve estabelecer.

### ***2.5 Demanda por Equipamentos Coletivos***

O planejamento de equipamentos coletivos não pode ser efetuado com sucesso sem os valores de projeto corretos da demanda nos diferentes pontos da região de intervenção. O estabelecimento desses valores envolve sempre a determinação da evolução da demanda ao longo do tempo. Além disso, se a abordagem do problema não for de natureza dinâmica e estocástica, envolve ainda uma decisão sobre a confiabilidade da rede de equipamentos: a rede pode ser dimensionada para a demanda de conjunto mais desfavorável, para uma demanda de conjunto suficientemente desfavorável (só será ultrapassada numa certa porcentagem de casos), para o conjunto das demandas mais desfavoráveis, ou para a demanda máxima num horizonte de projeto pré-definido.

A evolução da demanda pode sempre ser vista como a conjunção da evolução do universo que o equipamento se destina a servir com a evolução da taxa de utilização, por esse universo, do serviço que o equipamento se destina a proporcionar. Por exemplo, no caso do equipamento “Escolas Básicas” em Portugal, o universo é o dos habitantes na faixa etária dos 7-14 anos, e a taxa é a de escolarização (número de alunos que freqüentam as Escolas Básicas, por habitante, na faixa etária dos 7-14 anos). No caso do equipamento “Posto de Saúde”, o universo é o de total dos habitantes e a taxa é a de atendimento (número de consultas anuais por habitante).

Em quase todos os casos, o universo a considerar é a população, no todo ou em parte, e a taxa é uma atribuição *per capita*. Assim, é importante o conhecimento dos métodos de cálculo da evolução de uma população e de uma capitação.

### 2.5.1 Evolução da População

Para se realizar adequadamente o cálculo da evolução da população de um dado território é indispensável dispor-se de uma correta **descrição demográfica** do território em questão e aplicar os métodos de projeção da **evolução demográfica** apropriados.

A **descrição demográfica** de um território envolve cinco variáveis fundamentais: o total da população num dado instante  $t$  e, para um período  $T$ , o número de nascimentos, de óbitos, de imigrantes e de emigrantes. Essas variáveis são geralmente apresentadas de forma desagregada por sexo e faixa etária. Esse tipo de informação costuma estar disponível com relativa freqüência, ressalva feita aos dados que dizem respeito à imigração e emigração, que não são tão fáceis de se obter, devido a diversos fatores, entre os quais as migrações clandestinas. No Brasil, a informação disponível é geralmente obtida em publicações relativas aos censos Demográficos do IBGE. Em Portugal, são reunidas em duas publicações do Instituto Nacional de Estatística: o Recenseamento da População e as Estatísticas Demográficas.

A informação contida nas variáveis em causa pode ser condensada em diversos indicadores, de modo a facilitar a percepção da realidade e a comparação com padrões exteriores. Alguns desses indicadores são as taxas de crescimento, mortalidade, imigração e emigração.

Segundo ANTUNES (2001), a projeção da **evolução demográfica** de um dado território é feita basicamente por três métodos alternativos, a saber:

- *Extrapolação de tendências:*

A população futura é obtida a partir da população atual admitindo que o processo de evolução demográfica no futuro será uma repetição mecânica do que foi registrado no passado. É um método de fácil aplicação, mas excessivamente simplista, já que ignora as razões subjacentes às variações da população;

- *Componentes do crescimento (Cohort survival method):*

A população futura é obtida a partir da população presente acrescida dos nascimentos e imigrações e subtraída dos óbitos e emigrações. Apesar de mais realista, é de difícil aplicação, sobretudo à escala municipal, devido à indisponibilidade de dados desagregados a esta escala;

- *Fatores de evolução:*

A população futura é obtida a partir da população atual e de uma função de ajuste cujos indicadores são as variáveis explicativas do crescimento. Este método tem complexidade intermediária comparado com os dois anteriores e é particularmente útil para áreas de pequena dimensão.

### 2.5.2 *Evolução das Atribuições per capita*

A evolução da demanda não é ditada apenas pela evolução da população (universo) que o utiliza mas também pela evolução das *atribuições per capita* (taxa) que caracteriza a utilização do equipamento pela população. Interessa ao planeador distinguir os casos em que a evolução da capitação é espontânea daqueles em que é provocada, geralmente pelo poder público. No caso espontâneo, o cálculo dos respectivos valores futuros pode ser feito também pelo método da extrapolação de tendências. No caso de não o ser, é necessário encontrar uma forma adequada de relacionar a variação da capitação com a intervenção de quem a produz (o poder público, por exemplo).

## ***2.6 Oferta de Equipamentos Coletivos***

O planejamento de equipamentos coletivos tem por objetivo determinar soluções para problemas nos quais está essencialmente em causa determinar a forma de se promover a oferta de um determinado serviço para suprir, da melhor maneira possível, a demanda por esse serviço. Os problemas de planejamento de equipamentos coletivos caracterizam-se por vários padrões de distribuição de demanda e vários possíveis centros para localização da oferta, tratando de determinar em quais desses centros e com quais características (e ainda, no caso de uma abordagem dinâmica, segundo um calendário) devem ser instalados os equipamentos, observando-se as eventuais restrições de acessibilidade, capacidade, orçamentos etc, que seja necessário respeitar.

Segundo LORENA *et al.* (2001), problemas de localização como um todo tratam de decisões sobre onde localizar facilidades, considerando clientes que devem ser servidos de forma a otimizar algum critério. O termo “facilidades” é utilizado para designar fábricas, depósitos, escolas etc., enquanto “clientes” refere-se, respectivamente, a depósitos, unidades de vendas, estudantes etc. Em geral, as facilidades podem tanto ser selecionadas como novos centros a serem abertos como também ser escolhidas no subconjunto de centros existentes. Por isso, tais problemas também são conhecidos como problemas de localização-alocação, devido ao processo de alocação dos pontos de demanda aos centros abertos.

As aplicações de problemas de localização de facilidades ocorrem nos setores público e privado. No caso de setores públicos, procura-se maximizar a satisfação dos clientes em detrimento dos custos necessários para o alcance de tal objetivo. Exemplos de aplicações em setores públicos são a localização de escolas, postos de saúde, unidades do corpo de bombeiros, postos de despacho de ambulâncias e viaturas de polícia, pontos de ônibus, entre outros. No caso do setor privado, onde custos fixos estão envolvidos, as aplicações envolvem, em geral, fábricas, depósitos, torres de transmissão, lojas de franquias etc. (LORENA *et al.*, 2001).

Os modelos normativos (enfoque microeconômico) são os indicados para os problemas de localização de equipamentos coletivos. São assim chamados porque buscam otimização de uma norma (medida de eficiência), sujeita às restrições

operacionais relevantes. Os modelos normativos adequam-se a problemas que podem ser formulados e resolvidos com base em técnicas de otimização matemática (GALVÃO *et al.*, 1999). Problemas de localização podem ser divididos em três classes principais, a saber:

- a) *Localização no plano com espaço infinito de soluções;*
- b) *Localização no plano com espaço finito de soluções e*
- c) *Localização em redes.*

Modelos de localização da classe (a) foram desenvolvidos a partir do trabalho de WEBER (1929), que considerou a localização no plano de uma fábrica entre duas fontes de matéria-prima e um mercado consumidor. O inconveniente desses modelos é que a localização proposta pode situar-se em lugares geograficamente pouco acessíveis ou mesmo inviáveis, como no meio de um lago ou de uma reserva florestal. A mesma situação, em menor escala, pode ser observada em problemas da classe (b). Os modelos de localização em redes (classe c) não possuem este inconveniente, já que a rede de interesse é definida pelos usuários do modelo, podendo os vértices, por exemplo, representar cidades e, os arcos, estradas de ligação entre as cidades.

ANTUNES (2001) apresenta uma outra divisão para os problemas de localização de equipamentos, entre **problemas simples** (que não são necessariamente fáceis) e **problemas complexos**. Os problemas simples caracterizam-se por apresentarem poucas alternativas relevantes a considerar, de tal modo que seja viável o estudo de todas elas de forma detalhada. Nos problemas complexos, essa condição não é observada.

### *2.6.1 Problemas Simples*

Nos problemas simples de planejamento de equipamentos coletivos, como citado, observam-se poucas alternativas possíveis de intervenção. A questão em causa é saber se algumas dessas alternativas representam, em relação à situação inicial, mais benefícios do que custos e ainda, havendo mais de uma nessas condições, qual delas é a melhor. A resolução de problemas dessa natureza é feita com técnicas de avaliação de projetos, que podem ser de avaliação financeira (ou empresarial), onde são considerados apenas os custos em termos monetários; e de avaliação econômica (ou social), onde, além dos custos monetários, são ponderados também os custos sociais,



como variações de acessibilidade ou alterações no meio-ambiente. Parece óbvio, então, que as entidades privadas tendem a proceder a avaliações financeiras, enquanto uma entidade pública deve efetuar também uma avaliação econômica.

Os benefícios associados a um projeto de equipamentos coletivos dependem crucialmente do fato do equipamento ser de natureza pública ou privada. No caso privado, os benefícios são dados pelo valor das vendas dos serviços realizados no equipamento, buscando a minimização de custos ou maximização de lucros para os proprietários, que são, nesse caso, os beneficiários. No caso público, o fato dos serviços serem pagos nada representa em termos de benefício, uma vez que o que o Estado (nesse caso, o promotor dos serviços) recebe é o mesmo que a Sociedade (nesse caso, a beneficiária) paga. Além disso, quando os serviços não forem pagos, não significa que não geram benefícios. A forma de se medir, então, esses benefícios comporta sempre uma certa dificuldade e varia de equipamento para equipamento, como demonstra SCHOFIELD (1987), ao apresentar uma avaliação pormenorizada para diferentes tipos de equipamentos. Devido a isso, em termos práticos, o que se faz no setor público é exigir o cumprimento de metas (geralmente em termos de cobertura e acessibilidade da população aos equipamentos), e tratando de assegurar que isso seja feito com mínimos custos (REVELLE *et al.*, 1970).

A análise dos custos também é diferente para equipamentos coletivos públicos e privados. Para os equipamentos privados, consideram-se apenas os custos de promoção (que são financiados pelo promotor/empreendedor do equipamento); para os públicos, além dos custos de promoção, são considerados os custos de utilização, suportados pelos usuários do equipamento. Os custos de promoção dividem-se em custos de instalação (incorrem antes da entrada em funcionamento: custos de terrenos, construções, máquinas etc.) e exploração, estes divididos em custos de funcionamento (pessoal, combustíveis, água, energia elétrica etc.) e custos de manutenção. Os custos de utilização incluem basicamente os custos de deslocamento (transportes), mas podem incluir outros (estacionamento, alojamento etc.). As restrições de investimento podem tomar a forma de um limite superior no total a ser investido em construções somado aos custos operacionais anuais, ou de um número específico de equipamentos a serem operados. Uma questão importante que aparece nesses modelos é o horizonte de planejamento a ser considerado, devendo-se optar entre o planejamento estático ou dinâmico (REVELLE *et al.*, 1970).

Os problemas de localização no setor público podem ser classificados em duas categorias: localização de serviços **não-emergenciais** e localização de serviços de **emergência**. Como serviços não-emergenciais caracterizam-se alguns serviços de saúde pública, as escolas, aterros sanitários, agências de correio, entre outros. A categoria de serviços de emergência inclui, por exemplo, a localização de hospitais, de serviços de atendimento de emergência por ambulâncias e de estações do corpo de bombeiros (GALVÃO *et al.*, 1999). As medidas de eficiência a serem otimizadas são diferentes para as duas categorias. No caso de serviços não-emergenciais, utiliza-se geralmente a distância percorrida ou o tempo médio de viagem dos usuários aos equipamentos a serem localizadas. No caso de serviços de emergência, uma medida bastante utilizada é a máxima distância a ser percorrida (ou tempo a ser gasto) entre qualquer usuário do sistema e o equipamento mais próximo.

Com os levantamentos de custos e benefícios e a partir de técnicas de avaliação de projetos devem ser analisadas todas as alternativas, de forma a encontrar a que apresenta a melhor relação custo-benefício. Geralmente, isso é feito transportando todos os valores para um mesmo instante (geralmente atual), a partir de uma taxa de remuneração de capital. O saldo entre os benefícios e os custos (VAL – Valor Atual Líquido, ou VPL – Valor Presente Líquido) é utilizado para analisar se uma alternativa é economicamente viável (valor atual dos benefícios maior que o valor atual dos custos) e, entre várias alternativas viáveis, a que tiver o maior valor atual líquido é considerada a melhor alternativa.

### 2.6.2 *Problemas Complexos*

Os problemas complexos caracterizam-se por apresentarem um número suficientemente grande de soluções alternativas para o problema em causa, a ponto de inviabilizar a análise e comparação detalhadas dessas alternativas. A seguir, apresentam-se alguns dos principais problemas dessa natureza encontrados no planejamento de equipamentos coletivos. A formulação matemática detalhada dos diversos problemas pode ser encontrada em ANTUNES (2001).

### *Problemas de Minimização de Custos*

O problema mais simples associado a esse objetivo é denominado de problema UFLP (iniciais de *Uncapacitated Facility Location Problem*, ou seja, Problema da Localização de Instalações sem Restrição de Capacidade). O resultado desse tipo de problema apresenta, além da solução ótima relativa aos custos mínimos, a capacidade ótima a atribuir aos equipamentos. Algumas extensões do problema UFLP visam atender a outros aspectos pertinentes ao processo decisório, impondo limites em relação ao número de equipamentos a instalar, ao custo total desses equipamentos e aos limites de capacidades (superiores e inferiores) para os equipamentos. Problemas com essas extensões são denominados CFLP (iniciais de *Capacitated Facility Location Problem*, ou seja, Problema da Localização de Instalações com Restrição de Capacidade).

### *Problemas de Maximização da Acessibilidade*

O objetivo de maximizar a acessibilidade significa que se pretende que a demanda se encontre tão próxima quanto possível da oferta (equipamento). A medição desse objetivo é geralmente efetuada em termos da distância agregada, que é a soma das distâncias percorridas por todos os usuários de sua residência até o equipamento a utilizar. Quanto menor o valor da distância agregada, maior a acessibilidade. O problema mais simples associado a esse objetivo é denominado de problema da *p*-mediana, onde a função de utilidade a ser minimizada corresponde à distância total percorrida na rede, ou à distância média percorrida por um usuário do sistema para alcançar o equipamento mais próximo. O número de instalações a serem operadas é fixado em *p*.

GALVÃO *et al.*, (1999) definem o problema de localização de serviços não-emergenciais: “*Dado um número de áreas de demanda por um certo produto ou serviço, cada uma com demanda conhecida, e um número de locais alternativos onde facilidades podem ser construídas para atender a demanda, determine-se o número de facilidades a serem construídas, onde cada facilidade deve ser localizada e que áreas de demanda devem ser atendidas por cada facilidade.*” O objetivo é atender totalmente a demanda, de modo que a soma dos custos de transporte com os custos de construção e operação seja minimizada. Em termos de problemas de localização em redes (classe *c*),

as áreas de demanda e os locais alternativos para a construção de instalações coincidem, em geral, com os vértices da rede, que representam áreas de concentração populacional.

No modelo em consideração existe claramente uma dependência entre os custos de transporte e os custos de construir e operar os equipamentos. Quanto maior o número de equipamentos, menores os custos de transporte, mas maiores os custos relacionados à instalação e operação dos equipamentos. Assim, o número de equipamentos a construir representa o ponto ótimo de equilíbrio entre os dois custos que compõem a medida de utilidade a ser otimizada.

Problemas de localização de serviços não-emergenciais são tipicamente de maximização da acessibilidade e de maximização da equidade (apresentado a seguir). Estes modelos tem tido ampla aplicação no setor público. No Brasil, PIZZOLATO & FRAGA DA SILVA (1997) utilizaram-no num estudo sobre a localização das escolas e distribuição da demanda escolar no Município de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro.

#### *Problemas de Maximização da Cobertura*

O objetivo de maximizar a cobertura de uma determinada população em relação a um dado equipamento coletivo pressupõe a definição de uma irradiação máxima para o equipamento, isto é, de um círculo definido em torno do equipamento, fora do qual o usuário deixa de ser considerado como coberto por esse equipamento. A noção de cobertura implica a definição de uma distância (tempo) de serviço, que é a distância (tempo) crítica, além da qual a área de demanda é considerada não-coberta. Uma área de demanda é, portanto, considerada coberta se está a uma distância menor do que a crítica em relação a pelo menos um dos equipamentos existentes. O objetivo do problema em si é assegurar que o somatório dos usuários localizados no interior desses círculos seja tão elevado quanto possível. Obviamente, a formulação desse objetivo só faz sentido quando, por razões orçamentárias, não for possível assegurar a cobertura da demanda total. O problema mais simples associado a este objetivo é denominado por MCP (iniciais de *Maximal Coverage Problem*, ou seja, Problema de Cobertura Máxima), que busca obviamente maximizar o número de usuários cobertos restringindo em  $p$  o número de equipamentos.

Este modelo também tem sido bastante utilizado no setor público, principalmente em problemas de localização de serviços de emergência, como no trabalho de VASCONCELLOS (1997), que analisa a localização de postos de saúde no município do Rio de Janeiro.

#### *Problemas de Maximização da Equidade*

O objetivo de maximizar a equidade difere sensivelmente dos outros problemas, já que não é definido tendo como referência o conjunto dos usuários mas sim o usuário com pior acessibilidade a um número  $p$  de equipamentos, intervindo de modo que a situação desse usuário se torne tão favorável quanto possível. Geralmente, utiliza-se o modelo denominado *p-centros*, que busca a localização de  $p$  equipamentos de tal forma que a distância máxima de qualquer ponto de demanda ao equipamento mais próximo seja a mínima possível. (GALVÃO *et al.*, 1999).

#### *Extensões Importantes*

Todos os tipos de modelos básicos apresentados são construídos a partir de uma abordagem estática, determinística, setorial e uniobjetivo de planejamento de equipamentos coletivos, de acordo com as dicotomias apresentadas anteriormente. No entanto, para uma aproximação de situações reais, diversas extensões podem ser adicionadas aos problemas, buscando adequá-los a situação de decisão real. Essas extensões caracterizam modelos correspondentes às abordagens dinâmica, estocástica, integrada e multiobjetivos. Em linhas gerais, esses modelos partem dos modelos básicos e incorporam algumas restrições relativas à abordagem em questão. Uma descrição detalhada desses modelos pode ser encontrada em ANTUNES (2001).

Na abordagem dinâmica, considera-se no modelo a evolução da demanda ao longo do tempo e, se for o caso, a disponibilização gradual de recursos para instalação de equipamentos. Na abordagem estocástica, a incerteza passa a ser uma variável importante, particularmente em relação à demanda. A formulação de cenários de evolução alternativos e a avaliação das respectivas probabilidades de ocorrência pode se fazer necessária. No planejamento integrado, o que está em causa é a hierarquia de centros, com cada nível de hierarquia correspondendo a um conjunto de equipamentos de diferentes setores.

Dentre essas extensões, cabe dar algum destaque à abordagem multiobjetivo. Quando esse enfoque é adotado, não se trabalha mais com soluções ótimas e sim com soluções eficientes (ou não-dominadas), soluções em que a melhoria de um objetivo não é conseguida sem uma diminuição no(s) desempenho(s) de outro(s). Passa a estar em causa a determinação do conjunto dessas soluções. A escolha da solução a implementar entre as soluções eficientes é, do ponto de vista técnico, arbitrária, já que deste ponto de vista as soluções podem ser perfeitamente idênticas (ANTUNES, 2001). O aspecto gráfico de um conjunto de soluções eficientes é ilustrado na Figura 2.3.

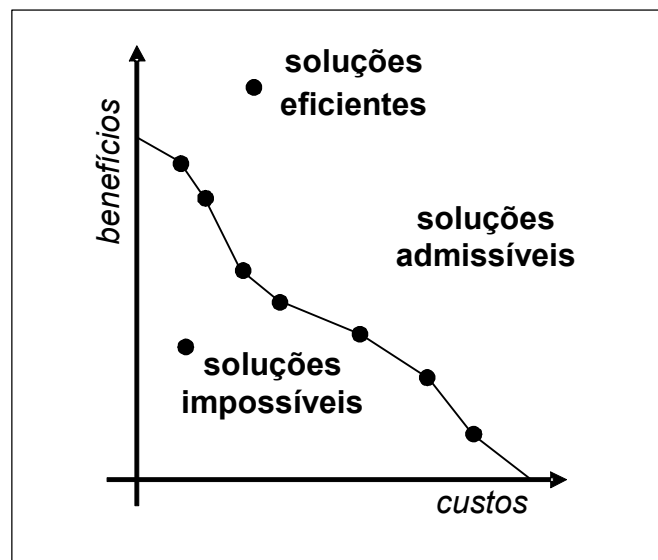


Figura 2.3 – Soluções eficientes (ANTUNES, 2001)

### Resolução

Os problemas descritos anteriormente são todos de programação matemática. No caso do planejamento de equipamentos coletivos, os problemas encontrados são essencialmente de programação linear inteira, pois tanto a função-objetivo como as funções-restrições são lineares e inteiras. A resolução desse tipo de problema raramente é simples. Ao contrário, pode ser bastante complexa. Pode ser obtida a partir de **métodos gerais (exatos)** ou **métodos especializados (heurísticos ou exatos)**.

Os **métodos gerais exatos**, cujo exemplo mais conhecido é o "*branch and bound*", tem a vantagem de poderem ser aplicados a todo e qualquer tipo de

problema de programação inteira e de garantirem teoricamente a obtenção de uma solução ótima global. Em contrapartida, podem não ser eficazes em problemas com dimensões elevadas (cabe mencionar que os recentes progressos nos *software* comerciais apontam para o contrário). A resolução de problemas reais de programação inteira não é geralmente viável em termos manuais, sendo portanto indispensável a utilização de computadores. *Software* comerciais estão disponíveis para a resolução desses problemas, como por exemplo o VISUAL XPRESS.

Os **métodos especializados heurísticos** têm a vantagem de poderem ser utilizados na resolução de problemas com grandes dimensões sem serem demasiadamente difíceis de resolver, mas têm o inconveniente de não garantirem um ótimo global (garantem um ótimo local, que pode inclusive estar distante do ótimo global). Na prática, os métodos exatos e os heurísticos foram os métodos utilizados quase que exclusivamente até há bem pouco tempo. Esses métodos continuam a ser de grande interesse, principalmente em problemas de grandes dimensões e na ausência de um **método especializado exato** já programado, uma vez que a programação pode ser um processo demorado. Os métodos especializados exatos têm a vantagem de garantir a obtenção de um ótimo global, inclusive nos problemas de grandes dimensões, mas são de difícil desenvolvimento. Métodos dessa natureza, com aplicações em planejamento de equipamentos coletivos, podem ser encontrados em ERLINKOTTER (1978).

## ***2.7 Localização de Equipamentos de Educação e Saúde***

A implantação e utilização de equipamentos urbanos de educação e saúde vem sendo tema de diversos trabalhos (SMITH *et al.*, 1985; OPPONG & HODGSON, 1994; AMER, 1997; SILVA & SILVA, 1997; DUTRA, 1998; ROSADO & ULYSSÉA NETO, 1999; ALMEIDA, 1999; ROSADO, 2000 ALMEIDA & GONÇALVES, 2001), principalmente a partir da década de 60, quando os modelos de localização passaram a ser utilizados mais freqüentemente com a publicação de definições e formulações matemáticas de diferentes tipos (GALVÃO & RAGGI, 1989). Conforme apresentado nas seções anteriores, tais modelos podem ser utilizados na localização de instalações industriais, comerciais e de serviços (escolas, hospitais e unidades de atendimento de

emergência), de modo a otimizar objetivos relacionados com a eficiência desses sistemas (VASCONCELLOS, 1997).

Modelos de localização de facilidades têm sido propostos, há algum tempo, como ferramentas de auxílio à decisão, principalmente quando uma base de dados geograficamente referenciada se encontra disponível. Nestes casos, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são muito importantes na coleta e análise desses dados, pois integram uma sofisticada interface gráfica a uma base de dados georeferenciados, constituindo-se em poderosas ferramentas de análise e planejamento espacial. Problemas complexos de localização de facilidades podem ser tratados com SIGs, levando-se em conta várias informações espaciais e, também, sócio-econômicas. Em decorrência da sua capacidade de armazenar, exibir e manipular dados espacialmente distribuídos, a integração de algoritmos de localização aos SIGs foi iniciada há alguns anos (LORENA *et al.*, 2001). Apesar disto, o uso combinado de SIGs e técnicas de Pesquisa Operacional para resolver problemas de localização ainda não está totalmente difundido na comunidade científica internacional.

Apesar das inevitáveis simplificações que devem ser feitas para representar um problema real através de um sistema de equações matemáticas, um modelo matemático pode ser considerado adequado se é capaz de prever com razoável precisão o efeito de mudanças em um dado sistema em seu desempenho. Sua análise e solução podem fornecer informações valiosas sobre a operação do sistema ou organização em estudo (GALVÃO *et al.*, 1999). No Brasil, apesar de ainda pequena, a utilização de modelos matemáticos nos estudos de localização de equipamentos de educação e saúde vem se multiplicando nos últimos anos.

### 2.7.1 Educação

A elaboração de políticas e escolha de projetos para o setor público são normalmente orientadas pelo custo social dos recursos utilizados e, conseqüentemente, dos produtos gerados. No entanto, nos sistemas escolares, as características são bastante específicas. O produto gerado, neste caso, é o preparo do aluno para o exercício da cidadania e sua formação geral e profissionalizante. Um segmento do sistema educacional que tem merecido considerável atenção dos pesquisadores, face às necessidades demonstradas pelos planejadores e administradores destes sistemas, é a



localização dos estabelecimentos escolares no espaço urbano e a alocação dos estudantes aos mesmos (ALMEIDA, 1999).

DUTRA (1998) estudou a distribuição espacial da rede escolar de São Carlos, levando em consideração os custos de deslocamento (distâncias percorridas) por uma parte dos usuários. Foi feita uma análise comparativa das mudanças nos deslocamentos dos estudantes, decorrentes de uma reorganização escolar presenciada no estado de São Paulo, segundo a qual foram separados os alunos de primeiro grau menor (1ª a 4ª séries) dos demais níveis. Após a reorganização, a demanda de cerca de 12000 alunos, que antes era atendida por 29 escolas, passou a ser atendida por 18 escolas. O estudo mostrou que a distância média dos deslocamentos aumentou em cerca de 20 % depois da reforma, o que comprova que a reorganização foi feita sem critérios confiáveis, do ponto de vista de transportes, e não chegou à solução ótima.

ALMEIDA (1999) apresenta uma metodologia para planejamento da distribuição espacial das escolas e do acesso dos estudantes às mesmas, utilizando um modelo de interação espacial e um indicador de acessibilidade, cujos resultados permitem também a análise da questão da equidade no acesso dos estudantes às escolas. Merece destaque a incorporação de aspectos comportamentais dos indivíduos nos modelos propostos através da utilização de técnicas de preferência declarada. A metodologia estabelece mecanismos para a avaliação de uma rede escolar, bem como a análise de propostas de criação, expansão ou transformação dessa rede. O estudo de caso, realizado para uma cidade de médio porte (Londrina, PR), corrobora a idéia de que modelos dessa natureza podem ser utilizados como ferramentas de planejamento urbano, na avaliação de planos de ação alternativos, uma vez que permite antever os impactos destes planos sobre grupos específicos da população.

PIZZOLATO & FRAGA DA SILVA (1997) propuseram uma metodologia para avaliação da distribuição espacial das vagas em escolas e para o planejamento de expansões. A metodologia, na primeira fase, verifica a distribuição das escolas e a compatibilidade com distribuição da população em idade escolar. Para cada escola, avalia-se o equilíbrio entre a demanda e oferta de vagas, assim como as regiões não-cobertas pelo sistema escolar. Na segunda fase, o modelo propõe a localização ideal das escolas a partir de mudanças no sistema atual e na capacidade das escolas. A partir

desse estudo podem ser feitas algumas observações interessantes, possíveis diretrizes para futuros trabalhos sobre o tema.

Os autores do trabalho acima citado afirmam que é comum nos estudos de localização de escolas admitir-se que todas elas são equivalentes, no que diz respeito as suas instalações, qualidade do ensino e qualificação dos professores, entre outros. No entanto, em muitos países, em particular onde as escolas são heterogêneas, os alunos é que elegem a escola de sua preferência. Essa condição foi observada no estudo de caso na região metropolitana do Rio de Janeiro, onde as escolas eram (e são) significativamente diferentes entre si. Outra constatação dos autores é que os alunos, para evitar o árduo processo de mudança de escola, preferem estudar numa escola integrada, que o permite permanecer no mesmo estabelecimento desde o ensino básico até o ensino médio. Além disso, tradição e reputação, competência dos professores e qualidade da merenda escolar são importantes fatores de atração.

Ainda segundo os autores, os procedimentos de construção e administração de escolas no Rio de Janeiro, eram (à altura) de dois tipos. No tradicional, responsável pela localização e expansão da maioria das escolas, a comunidade, representada por um político, um líder local, ou um diretor de escola, luta pela expansão ou construção de uma nova escola através de forças políticas. Esse procedimento, comum em todo o Brasil, é ruim para o município, já que não são avaliadas as relações espaciais e demográficas para a abertura, expansão e até possíveis fechamentos de escolas. Conseqüentemente, as carências por vagas escolares em algumas comunidades não são supridas, enquanto em outras são supridas além do que é realmente necessário.

O segundo procedimento envolvia um tipo novo de escolas àquela altura, os CIEPs (Centros Integrados de Educação Pública), que possuíam um projeto arquitetônico arrojado para atender 600 alunos em tempo integral, com fornecimento de material didático e apoio pedagógico. Foram construídas cerca de 500 unidades em todo o estado do Rio de Janeiro, com localização baseada mais na intuição e na disponibilidade de terrenos públicos do que propriamente em alguma análise. A localização dos CIEPs foi (e ainda é) motivo de severas críticas da sociedade, além da acusação do favorecimento político ter estado acima das necessidades dos estudantes.

No estudo de PIZZOLATO & FRAGA DA SILVA (1997) foi utilizado o modelo da *p*-mediana, tendo como função objetivo a minimização das distâncias médias

dos alunos às escolas, observando-se que o modo a pé é o modo de transporte mais utilizado pelos estudantes. Foram utilizados os dados agregados ao nível dos setores censitários do IBGE, transportados para os centróides de cada setor no SIG. A parcela de população considerada foi a dos 7 aos 14 anos, público alvo para as escolas de ensino básico (ainda que algumas exceções sejam encontradas em faixas etárias superiores, possivelmente devido à deficiência do ensino público). Os estudos foram feitos separadamente para as cidades de Nilópolis e Nova Iguaçu.

Em Nilópolis, os autores apontam duas importantes conclusões; uma se refere ao desbalanceamento geográfico (grandes deficiências de capacidade na parte oeste da cidade) e a outra diz respeito ao gerenciamento da capacidade. Os autores observaram que se podia conseguir um grande aumento de capacidade através de pequenas mudanças, como a ativação de espaços inutilizados para transformação em salas de aula, contratação de mais professores, adaptações etc., o que permitiria a expansão de capacidade de várias escolas com baixo custo. Por outro lado, escolas com excesso de capacidade poderiam ser parcialmente desativadas e parte de seus recursos, incluindo professores e mobiliário, simplesmente transferidos para áreas mais necessitadas.

Em áreas com a demanda um pouco maior do que oferta de vagas, os decisores podem se defrontar com outro problema: o que é melhor, expandir uma escola que já é grande ou construir uma pequena? O bom senso recomenda que se rejeite tanto escolas muito grandes quanto escolas muito pequenas. Os autores enfatizam a necessidade de uma melhora homogênea de qualidade no sistema público de educação e, mais ainda, o desenvolvimento do conceito de escola do bairro. O estabelecimento de uma identificação entre os moradores e sua escola pode reforçar o valor da escola na comunidade e, talvez, reduzir até atos de vandalismo.

Em Nova Iguaçu, cerca de um terço da demanda estudantil era atendida por escolas privadas, mas essa parcela seria consideravelmente menor se a capacidade do sistema público fosse maior. Os resultados revelam outro sério aspecto do inadequado sistema, relacionado à distância máxima entre a residência e a escola mais próxima. Os autores citam que em áreas urbanas a distância máxima recomendada é de aproximadamente 1500 metros e os resultados mostraram algumas diferenças alarmantes. Em um dos setores, com 289 estudantes, a escola mais próxima ficava a

alarmantes 17 km de distância. Outro problema: servindo outros 11 setores censitários da mesma região, com um total de 3557 estudantes, havia apenas uma escola com capacidade para 600 alunos.

Uma observação interessante e positiva é que o mesmo tipo de estudo foi realizado para a cidade de Niterói, conhecida por ter um melhor sistema de ensino público e uma melhor qualidade de vida em geral. Os autores completaram apenas a primeira fase do estudo (a avaliação da localização atual das escolas), uma vez que uma proposta de nova localização foi considerada desnecessária. Basicamente, o estudo concluiu que em Niterói o sistema público de ensino tem capacidade suficiente para atender a demanda escolar, com uma distribuição espacial equilibrada das escolas em relação à residência dos alunos.

### 2.7.2 Saúde

AMER (1997) estudou o problema do serviço de saúde pública da cidade de *Dar es Salaam*, Tanzânia. O autor identificou, utilizando um Sistema de Informações Geográficas, as áreas da cidade que não estavam sendo atendidas pelo sistema, através da relação entre a necessidade e a disponibilidade do serviço de saúde pública. O estudo permite concluir que é possível produzir informações práticas para as autoridades competentes, que mostrem a situação atual do sistema e priorizem as áreas que necessitam de um tratamento imediato, por exemplo.

No Brasil, nos últimos 25 anos as propostas de regionalização e hierarquização dos serviços de saúde vêm sendo colocadas como necessárias para uma assistência de melhor qualidade a menor custo. Ao longo desse período foi elaborada legislação detalhada e grande diversidade de normas tratando dessas questões, tanto por parte dos órgãos legislativos quanto pelas instituições governamentais prestadoras de serviços de saúde. Apesar disso, tiveram pouco êxito as tentativas de implementação de programas buscando regionalizar e hierarquizar os serviços de saúde segundo as normas e a legislação aprovadas (GALVÃO *et al.*, 1999).

VASCONCELLOS (1997) e GALVÃO *et al.* (1999) utilizaram um modelo hierárquico para a localização dos serviços de assistência materna e perinatal no Município do Rio de Janeiro. A partir de um modelo hierárquico de quatro níveis (localização de unidades ambulatoriais, maternidades, centros de neonatologia e

hospitais gerais), os autores analisaram o impacto que a adoção da metodologia teria em comparação com o sistema utilizado àquela altura. A distância média ponderada percorrida por gestantes no sistema (com dados de 1995), entre o bairro de sua residência e o bairro de ocorrência do parto, em hospitais financiados pelo serviço de saúde pública, foi de aproximadamente 11 quilômetros. Já se a localização proposta pelos autores estivesse implementada, com a redistribuição da demanda entre os equipamentos, esta distância média cairia para menos de 2 quilômetros.

ROSADO (2000) (ver também ROSADO & ULYSSÉA NETO, 1999) utilizou um Sistema de Informações Geográficas para relacionar medidas de acessibilidade a serviços públicos ofertados à população, através da localização espacial dos equipamentos urbanos de saúde e educação numa determinada área de estudo. Foram identificadas as regiões mais desprovidas dos serviços públicos de educação e saúde através de um índice de acessibilidade relativo à população de cada quadra da cidade de Araranguá (SC). O índice de acessibilidade indica o relacionamento da demanda (no caso a população residente nas quadras) e a oferta dos serviços públicos de educação e saúde (postos de saúde e escolas). O elemento fundamental do estudo foi o sistema viário, baseando-se na premissa de que o mesmo é considerado como parte integrante da estrutura urbana, podendo ser utilizado no planejamento urbano como ferramenta de indução, ou mesmo de restrição, da expansão urbana, e pelo qual estarão sendo realizadas as atividades humanas distribuídas espacialmente.

Os resultados de ROSADO (2000) mostram que a não consideração da atratividade dos pontos de oferta (escolas e postos de saúde) pode levar o planejador à conclusões erradas quanto às prioridades de investimento na oferta de vagas em educação e atendimentos em postos de saúde, uma vez que as quadras classificadas como de pior acessibilidade estão espacialmente próximas a pontos de oferta. O que ocorre, no entanto, é que esses pontos não oferecem uma boa atratividade. Isso significa que as pessoas preferem estudar numa escola mais afastada ou ir a um outro posto de saúde em busca de uma melhor qualidade. Portanto, uma análise um pouco mais profunda mostraria ao planejador que nesse caso mais vale investir na qualidade dos serviços oferecidos do que levar mais postos de atendimento à população em áreas de grande expansão urbana.

SILVA & SILVA (1997) também utilizaram um Sistema de Informações Geográficas para estudar o problema da localização adequada dos postos de saúde na cidade de São Carlos, SP. Os autores propuseram uma nova distribuição dos serviços, bem como uma realocação dos usuários, de modo a obter menores custos nos deslocamentos envolvidos. Em uma das propostas, os autores mostraram que seria possível conseguir uma redução de cerca de 5 % na distância média dos usuários aos postos de saúde, mesmo com a redução de 9 para 6 postos. Obviamente isso não significava que 3 postos de saúde deveriam ser fechados, apenas que seria possível gerar alternativas que otimizassem a distribuição espacial dos postos e dos usuários.

### *2.7.3 Considerações Gerais*

Embora ainda pouco utilizados nos setores de saúde e educação no Brasil, modelos matemáticos de localização de facilidades podem vir a ser ferramentas úteis no planejamento desses sistemas de serviços públicos. GALVÃO (2000) apresenta o desenvolvimento de Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE) para problemas de localização e distribuição, a partir da concepção de modelos dessa natureza e de sua integração aos SIGs. Um dos projetos descritos pelo autor refere-se à localização hierarquizada de serviços de saúde pública, no qual os autores pretendem desenvolver modelos de localização específicos, que deverão evoluir para a definição de um SADE na área de saúde pública.

As possibilidades de redistribuição da demanda implícitas nos modelos de localização e as vantagens de sua integração a Sistemas de Informações Geográficas podem e devem ser utilizadas no planejamento da saúde pública no Brasil, proporcionando apoio às decisões relacionadas à localização de serviços de saúde. Além disso, mais uma vez observa-se o apoio do SIG ao processo decisório, permitindo uma melhor análise dos dados relevantes ao estudo, e uma melhor compreensão, por parte das autoridades (decisores), das diversas alternativas a sua disposição.

Os trabalhos de SILVA & SILVA (1997) e DUTRA (1998) mostraram que é possível gerar alternativas que busquem melhorar a distribuição dos equipamentos coletivos públicos de cidades médias. Porém, seria mais interessante para o planejamento urbano que os sistemas de educação e saúde fossem analisados conjuntamente, através da unificação de cadastros, para que se pudesse antecipar as

necessidades de cada um dos sistemas, já que a demanda para os dois sistemas é freqüentemente composta pelos mesmos indivíduos, nas faixas etárias mais baixas da população. Em vista disso, pretende-se, nesse trabalho, criar um Sistema de Apoio à Decisão que trate os sistemas de educação e saúde como variáveis de um mesmo problema: reduzir custos de deslocamento sem onerar demasiadamente os custos com a infra-estrutura. Nesse sistema, através de um cadastro com o endereço do usuário, seria possível acompanhar o crescimento do recém-nascido, direcionando-o para o posto de saúde mais próximo desde o seu nascimento, até a escola mais próxima quando atingir a idade escolar, em um efetivo processo de planejamento.

## ***2.8 Planejamento da Rede de Educação e Saúde em Portugal***

Como uma referência importante para o estudo aqui conduzido foi realizada uma pesquisa detalhada sobre os critérios de planejamento e localização dos equipamentos coletivos de educação e saúde adotados em Portugal. Esta pesquisa, que não foi aqui incluída por sua extensão, pode ser encontrada em LIMA (2001). Ela reveste-se de importância para este trabalho por dois fatores: a similaridade dos traços culturais entre Brasil e Portugal e a experiência dos planejadores daquele país de estarem vivenciando um processo de redução do crescimento populacional que já se aproxima da estabilização, fato que o Brasil deverá experimentar em um futuro de curto a médio prazo.

Com relação à educação, a pesquisa incluiu uma caracterização da oferta de serviços, seguida de uma análise da evolução demográfica portuguesa e dos critérios de planejamento do sistema, definidos pela *Direcção de Serviços de Estudos e Planeamento*, do *Departamento de Avaliação Prospectiva e Planeamento* do Ministério da Educação de Portugal. Esses critérios de planejamento foram resumidos em quadros-síntese para cada tipo de escola e de nível de ensino. Com relação à saúde, procurou-se identificar os mesmos tipos de critérios de planejamento levantados para a educação, mas não foram encontrados na literatura (e nem eram conhecidos pelo responsável pelo sistema regional de saúde da cidade de Braga, no norte de Portugal) índices e parâmetros tão bem definidos quanto os do sistema educacional, apenas diretrizes mais gerais, também disponíveis em LIMA (2001).

### **3 TEORIA DA DECISÃO**

---

*Nesse capítulo são apresentados diversos aspectos relativos à Teoria da Decisão, tendo em vista que essas são as bases para o desenvolvimento do sistema proposto. A parte inicial do capítulo é dedicada à apresentação de alguns conceitos relativos ao Processo Decisório, com especial ênfase à Decisão Espacial, e ao Apoio e a Tomada de Decisões. A seguir, são apresentadas algumas características relevantes dos sistemas que apóiam o processo de tomada de decisão: os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), os Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE) e os Sistemas de Apoio ao Planejamento (SAP) seguidas, no final do capítulo, de algumas considerações finais.*

#### **3.1 O Processo Decisório**

Após uma análise da extensa bibliografia existente sobre o Processo Decisório nas áreas da Gestão e Pesquisa Operacional e do Planejamento do Território (por vezes referida como uma única disciplina designada Teoria da Decisão), constata-se uma grande heterogeneidade e divergência no uso da terminologia (ROSENTHAL, 1985). Por esta razão, foram adotadas neste documento as definições apresentadas em MALCZEWSKI (1999a) e RAMOS (2000), que estão de acordo com alguns dos trabalhos mais relevantes relacionados com a Teoria da Decisão e que são adequadas ao tipo de problema aqui tratado.

Assim, começando pela definição básica, **Decisão** é a escolha entre alternativas. As alternativas podem representar diferentes localizações, diferentes planos, diferentes classificações, diferentes hipóteses sobre um fenômeno etc. Por exemplo, a escolha entre três classificações de aptidão (Alta, Média, Baixa) para um determinado uso do solo com relação a uma determinada parcela de terreno é um ato que se designa por Decisão. Um **Critério** representa uma condição de avaliação que



pode ser quantificado ou avaliado de forma a ordenar as alternativas de decisão, em termos do desempenho ou eficácia dessas alternativas. É portanto a medida de uma evidência que, entre outras, serve de base para a decisão. Critério é considerado como um termo genérico que engloba os conceitos de **atributos** e **objetivos**.

**Atributos** são as propriedades dos elementos de uma representação do mundo real. Um atributo é usado para medir o desempenho de uma alternativa em relação a um objetivo. Um **Objetivo** é um padrão de desempenho desejado para um sistema em consideração, em relação a um ou mais atributos, indicando a direção de melhoria a ser seguida por esses atributos para se atingir o determinado objetivo. Um atributo é uma variável concreta e descritiva; um objetivo é uma variável mais abstrata, uma especificação do desempenho desejável de um ou mais atributos.

Os critérios podem ainda ser divididos em **Exclusões** e **Fatores**. Uma **Exclusão** é um critério que limita as alternativas em consideração na análise. Um exemplo de uma exclusão é a consideração de “não-aptas” as áreas de reserva ecológica, quando se estuda a aptidão dos solos para a expansão urbana. Na maioria dos casos, uma exclusão traduz-se na criação de limitações ao espaço de análise, definindo as alternativas não elegíveis que deverão ser excluídas do espaço inicial de soluções possíveis. No entanto, em alguns casos, as exclusões buscam garantir que a solução final possua algumas características preestabelecidas, como por exemplo, procurar uma área de terreno livre que possua área superior a 1 hectare (RAMOS, 2000).

A **Regra de Decisão** é o procedimento através do qual os critérios são combinados para chegar a uma determinada avaliação, incluindo a própria comparação entre avaliações no sentido de produzir decisões. Tipicamente, as regras de decisão incluem procedimentos para normalizar e combinar diferentes critérios, resultando em um índice composto e uma regra que rege a comparação entre alternativas utilizando este índice. As regras de decisão são estruturadas no contexto de um objetivo específico, o qual corresponde a um conjunto de motivações de alguém interessado na decisão, constituindo assim uma perspectiva que orienta a estruturação das regras de decisão.

No sentido de atingir um determinado objetivo, normalmente é necessário que diversos critérios tenham de ser avaliados e combinados através de procedimentos que se designam precisamente por **Análise de Decisão Multicritério (AMC)** (VOOGD, 1983; CARVER, 1991; MALCZEWSKI, 1999a). Embora em muitas

decisões esteja apenas em causa um objetivo, normalmente envolvendo vários critérios, ocorrem também situações em que importa decidir face a diversos objetivos (e também diversos critérios). Este último caso configura um exemplo de **Análise de Decisão Multiobjetivo (AMO)**, onde os objetivos podem ser complementares ou conflituosos.

A análise de decisão constitui-se em uma série de procedimentos sistemáticos para analisar problemas decisórios complexos. A estratégia básica é dividir o problema em partes menores, analisar cada parte e integrar novamente as diversas partes de uma maneira lógica e que produza uma solução factível (MALCZEWSKI, 1999a). As **alternativas** são opções de decisão, cursos de ação alternativos entre os quais o decisor precisa optar. Problemas de decisão multicritério são mais complexos do que aqueles baseados em único critério devido à dificuldade de se encontrar uma alternativa que domine (seja melhor) que todas as outras em relação a todos os critérios.

Segundo MALCZEWSKI (1999a), “*os problemas abordados segundo o enfoque da Análise Multicritério (AMC) envolvem uma série de alternativas que são avaliadas levando em conta critérios muitas vezes conflitantes e incomensuráveis*”. Em linhas gerais, os problemas de AMC envolvem seis componentes:

- i. *Um objetivo ou uma série de objetivos que o decisor (indivíduo ou grupo) tenta atingir;*
- ii. *O decisor ou grupo de decisores envolvidos no processo decisório, com suas preferências no que diz respeito ao seu critério de avaliação;*
- iii. *Uma série de critérios de avaliação (objetivos e/ou atributos), base com a qual os decisores avaliam alternativas e o curso das ações;*
- iv. *A série de alternativas de decisão, ou seja, as decisões ou as variáveis de ação;*
- v. *A série de variáveis incontroláveis ou estados naturais (ambiente de decisão);*
- vi. *A série de produtos ou conseqüências (outputs) associados a cada par atributo-alternativa.*

Assim, para efeito de classificação, duas classes de AMC podem ser identificadas: as **multiatributos (AMA)** e as **multiobjetivos (AMO)**. AMA e AMO são ainda subdivididas de acordo com o tipo de decisor, que pode ser um único indivíduo ou um grupo. Essas duas categorias são, cada uma, dividida em decisões **determinísticas, probabilísticas e fuzzy**. Problemas determinísticos assumem que os dados e informações necessários são conhecidos e confiáveis, e existe uma relação determinística conhecida entre cada decisão e a correspondente conseqüência. A análise probabilística assume uma quantidade de incerteza no que tange ao estado do problema

e em relação a cada decisão e sua consequência, tratando essa incerteza como um processo estocástico. A análise *fuzzy* também considera a incerteza, tratando-a sob a ótica da imprecisão inerente às informações envolvidas no processo decisório (MALCZEWSKI, 1999a).

Assim, problemas de AMC podem ser classificados com base nos componentes principais do processo decisório, conforme mostrado na Figura 3.1. Três dicotomias podem ser destacadas:

1. *Processo de decisão multiobjetivo versus processo de decisão multiatributo;*
2. *Problemas com decisor individual versus decisor em grupo;*
3. *Decisões com certeza versus decisões com incerteza.*

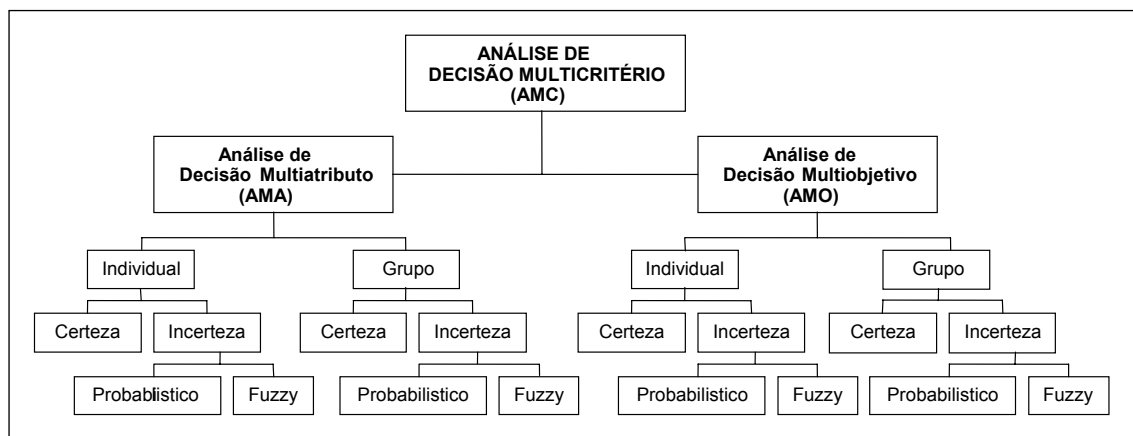


Figura 3.1 – Classificação dos problemas de decisão multicritério (MALCZEWSKI, 1999a)

Um outro aspecto a considerar nos processos decisórios é o risco. Em um problema multicritério está implícita a avaliação de diferentes aspectos que contribuem (a favor ou contra) uma decisão. A forma de combinar os critérios, a consideração de todos ou apenas parte deles (os melhores, os piores, os médios, ou qualquer combinação), e a forma como uns critérios podem compensar outros são aspectos que assumem grande importância nas decisões, particularmente em contextos de recursos escassos. Entre as atitudes mais extremas de risco na avaliação - pessimistas (conservadoras) e otimistas (arriscadas) - pode haver lugar para cenários de avaliação que sejam mais compatíveis com o problema decisório em questão (RAMOS, 2000).

### 3.1.1 *Análise de Decisão Espacial*

Durante as últimas décadas os governos de muitos países gastaram consideráveis quantias de dinheiro para desenvolver bases de dados descrevendo em detalhes a geografia de seus territórios, grande parte delas em meio digital. Essas bases de dados digitais incrementaram o processo decisório, principalmente com a redução do tempo necessário para o processamento da informação e com a capacidade de se utilizar muito mais dessa informação no processo, graças à crescente capacidade dos computadores e ao progresso das ciências computacionais, incluindo os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a Análise de Decisão Multicritério (AMC) (JOERIN *et al.*, 2001).

**Dados geográficos** ou **espaciais** podem ser definidos como material não-organizado, não-tratado e não-avaliado que pode ser associado a uma posição geográfica. Dados em si têm pouco valor. Para serem úteis, precisam ser transformados em informação. Quando os dados são tratados, organizados, analisados e considerados úteis para um problema de decisão particular, tornam-se **informações**. Assim, **informação geográfica** é definida como um conjunto de dados georeferenciados que foram processados de modo a significar algo para os decisores. Problemas de decisão que envolvam dados e informações geográficas são denominados problemas de **decisão espacial**. Um problema de decisão espacial é a diferença entre a realidade e o que é desejável segundo a visão do decisor, num sistema geográfico do mundo real. (MALCZEWSKI, 1999a). WORRALL (1991) estima que 80 % dos dados utilizados por decisores são de natureza geográfica.

O processo de conversão de dados em informações adiciona valores extras aos dados originais. Nos estágios subseqüentes do processo decisório, os dados originais são interpretados e analisados de modo a produzir informações úteis aos decisores. Nesse processo, os dados são progressivamente convertidos em informações sobre o problema decisório. Nessa altura, é necessário fazer uma distinção entre informações **concretas** e **flexíveis**. Informações concretas são derivadas de fatos relatados, estimativas de quantidades e pesquisas de opinião sistemáticas (dados censitários, dados de sensoriamento remoto e pesquisas meteorológicas). Informações flexíveis representam as opiniões (preferências, prioridades, julgamentos etc.) dos decisores, baseadas na intuição, questionários, comentários e pesquisas similares. Todo

decisor precisa buscar uma mistura de informações concretas e flexíveis. O ponto crucial para o decisor é o modo como esses dois tipos de informação são combinados, assim como a ponderação correta da quantidade de informação concreta e flexível utilizada no processo decisório (MALCZEWSKI, 1999a).

É importante notar que ambos os tipos de informação podem envolver alguma quantidade de incerteza. De fato, problemas de decisão espacial são tipicamente caracterizados pela incerteza. Informação reduz a incerteza e daí vem seu valor. Assim, os problemas de decisão podem ser classificados numa escala contínua, indo de situações previsíveis (informações perfeitas) até situações que não podem ser previstas (sem informação). As do primeiro tipo são comumente referidas como situações de certeza ou determinísticas, e as do último como problemas de decisão sob incerteza. As decisões sob incerteza podem ainda ser categorizadas, conforme mencionado anteriormente, em decisões envolvendo informações estocásticas (probabilísticas) e informações imprecisas (*fuzzy*) (LEUNG, 1988; MUNDA, 1995; MALCZEWSKI, 1999a).

Todo processo decisório começa com o reconhecimento do problema de decisão. A tomada de decisão espacial é uma atividade do dia-a-dia, comum a indivíduos e grupos. As pessoas levam em conta as características espaciais quando selecionam um lugar para viver, escolhem uma estratégia de desenvolvimento urbano, alocam recursos ou gerenciam infra-estruturas. Alguns autores afirmam que os problemas de decisão espaciais são multicritério por natureza (MASSAM, 1980; NIJKAMP & RIETVELD, 1986). Cada alternativa de decisão espacial é composta de pelo menos dois elementos básicos: ação (o que fazer?) e localização (onde fazer?).

O tipo e a quantidade de informação necessárias e disponíveis para abordar um problema de decisão particular estão relacionados à **complexidade cognitiva** da situação de decisão. A complexidade cognitiva, por sua vez, pode ser considerada em dois “espaços”: o espaço dos critérios e o espaço das alternativas de decisões. O número de critérios de avaliação representa a complexidade no espaço dos critérios; no espaço das decisões, a complexidade é usualmente expressa pelo número de decisões factíveis (JANKOWSKI *et al.*, 2001).

Quando os problemas de decisão são de natureza espacial, geralmente necessitam que um vasto número de alternativas factíveis seja avaliado baseadas em

múltiplos critérios. Nesse caso, busca-se reduzir a complexidade cognitiva do problema, em seus dois espaços. A redução da complexidade no espaço dos critérios pode ser alcançada através de tratamentos estatísticos. Neste ponto, FAYYAD *et al.* (1996) relatam a utilização de métodos computacionais **data-mining** na investigação de dados, detectando regularidades, dependências ou tendências. Assim, critérios dependentes ou redundantes podem ser eliminados ou combinados. No espaço das decisões, a complexidade pode ser reduzida aplicando-se o princípio da **Pareto-dominância** (COHON, 1978; BALLING *et al.*, 2000). Uma solução factível é chamada não-dominada caso não exista nenhuma outra solução que a supere em um critério sem reduzir a performance em algum outro critério. Da aplicação da regra da Pareto-dominância resulta a divisão da série de opções de decisão em dominadas e não-dominadas, simplificando a estrutura do espaço das decisões.

### 3.1.2 Problemas de Decisão e Apoio à Decisão

O trabalho original de SIMON (1960) sobre problemas de decisão estruturados *versus* problemas de decisão não-estruturados tem sido a essência do conceito de sistemas de apoio à decisão, funcionando como base para a classificação dos problemas decisórios (SPRAGUE & WATSON, 1996), incluindo problemas de decisão espacial (DENSHAM, 1991; MALCZEWSKI, 1999a). Qualquer problema decisório situa-se em algum ponto de uma escala contínua que vai de problemas completamente estruturados a problemas sem estruturação alguma (Figura 3.2). As decisões estruturadas ocorrem quando o problema de decisão pode ser totalmente estruturado baseado no conhecimento técnico do decisor ou na teoria relevante sobre o assunto. Nesse caso as pessoas envolvidas no processo de resolução do problema são capazes de identificar totalmente e de modo coerente todos os elementos da situação de decisão. As decisões estruturadas são também referidas como **questões programáveis**, pois podem ser programadas e solucionadas por computador. Os problemas são repetitivos e rotineiros, e uma vez desenvolvido o procedimento computacional adequado, um computador pode resolver o problema estruturado até mesmo sem a participação de um decisor. O usuário de um sistema desse tipo pode se concentrar apenas na saída (*output*) do procedimento computacional, despendendo pouca ou nenhuma atenção ao processo decisório.

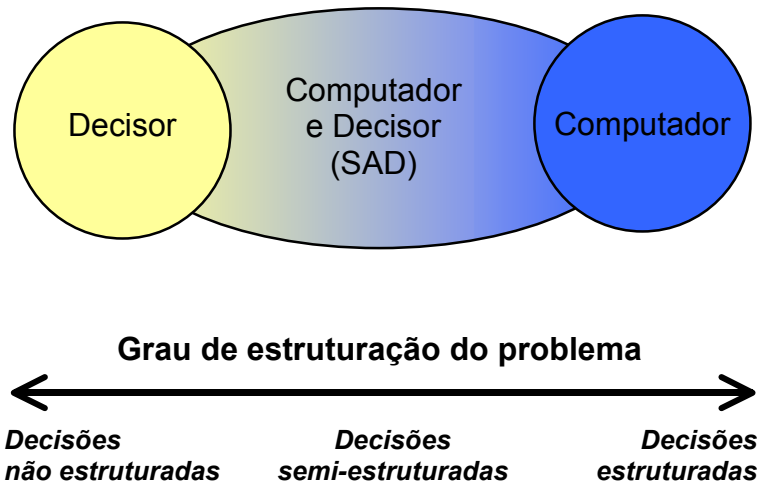


Figura 3.2 – Grau de estruturação do problema decisório (MALCZEWSKI, 1999a)

A Figura 3.2 mostra que no outro extremo no grau de estruturação das decisões estão as decisões não-estruturadas. Estas decisões acontecem quando os atores envolvidos no processo decisório não são capazes de estruturar o problema, e nem a teoria relevante sobre o assunto possibilita essa estruturação. Essas decisões são **não-programáveis**; são mal definidas, não se repetem frequentemente, ou as condições são bastante diferentes a cada repetição, de modo que nenhum modelo geral de resolução possa ser programado. Nesse caso, o decisor deve usar a sua experiência, empregando heurísticas e bom senso, sendo ele o único recurso para se chegar à decisão.

Não é comum encontrar exemplos de problemas totalmente estruturados ou não-estruturados num problema de decisão espacial real. Algumas situações de localização de atividades no setor privado podem ser utilizadas como exemplo de problemas bem estruturados, quando os executivos da companhia conseguem definir claramente seus critérios e objetivos e técnicas formais de localização podem ser utilizadas. No entanto, para a imensa maioria das situações de decisão espacial, a definição dos critérios e objetivos é mais complexa e os problemas são pouco estruturados, devido aos diferentes interesses dos grupos envolvidos e à incerteza associada ao processo. Por exemplo, aspectos intangíveis em algumas decisões de localização de equipamentos coletivos públicos (aterros sanitários, escolas, postos de saúde) geralmente não podem ser especificados numa linguagem formal e numa linguagem de programação.

A maioria dos problemas de decisão espacial reais pode ser alocada em algum lugar entre esses dois casos extremos de decisões completamente estruturadas e

não-estruturadas. A Figura 3.2 indica que essas decisões são chamadas semi-estruturadas. Esta é a área onde o conceito de Apoio a Decisão tem maior aplicação, na concepção dos **Sistemas de Apoio ao Planejamento (SAP)**, dos **Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)** e, em sua vertente espacial, os **Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE)**.

Os problemas semi-estruturados podem ser resolvidos pelos decisores com o apoio de computadores. Isso requer uma interação entre decisores e sistemas baseados em computadores. Ao computador cabe gerar uma solução automatizada para a parte estruturada do problema, enquanto a parte não-estruturada é responsabilidade do decisor (MALCZEWSKI, 1999a). POLLONI (1992) relaciona o nível de estruturação das decisões ao escalão em que são tomadas, no âmbito empresarial:

- **Decisões estruturadas** – estão ligadas diretamente à gerência de controle operacional, seguindo normas e regras bem definidas.
- **Decisões semi-estruturadas** - dizem respeito à atuação de gerências intermediárias, exigindo capacidade de análise e julgamento, e experiência na área do negócio.
- **Decisões não-estruturadas** - decisões tomadas pelo alto escalão da empresa. Precisam de informações aleatórias e de grande complexidade. Contam quase que totalmente com a intuição humana.

O processo que envolve a tomada de decisão é, na maioria das vezes, multidisciplinar, multiobjetivo e multicritério, o que praticamente impossibilita ao planejador chegar sozinho a uma decisão que atenda aos interesses de todos, que seja livre de preconceitos e que não privilegie algumas forças de mercado. Portanto, é necessária a formulação de uma gama de questões e opções aceitáveis para que se chegue a uma solução adequada, que muitas vezes não é única. A função dos sistemas que apóiam a tomada de decisão é justamente auxiliar e otimizar todo esse processo, a fim de que a melhor solução possível seja encontrada (MENDIRATTA & RAVIKUMAR, 1997).

### 3.1.3 Tomada de Decisão

Segundo SANCHES (1997), os ingredientes básicos da tomada de decisões são: *informação, preferências do decisor e intuição*. O primeiro porque o conhecimento necessário para se decidir somente se torna disponível por meio de *informações*. O segundo porque, de um modo geral, as pessoas não decidem apenas com



base nas informações, mas sobretudo a partir de suas experiências passadas e *preferências*. O terceiro, por constituir a *intuição* uma qualidade essencial aos bons decisores. Será sobre o conjunto de *informações* disponíveis que o decisor irá exercer seus julgamentos de valor (*preferências + intuições*) com vistas a melhor escolha, seguindo o processo de cinco estágios que caracteriza as decisões:

1. *Definição do problema e de seu contexto;*
2. *Levantamento de alternativas para o seu equacionamento;*
3. *Antecipação das possíveis conseqüências de cada alternativa;*
4. *Determinação dos possíveis resultados de cada alternativa;*
5. *Escolha do melhor curso de ação.*

Portanto, ainda segundo SANCHES (1997), a qualidade da decisão ou da avaliação depende, intrinsecamente, da qualidade das informações colocadas à disposição do decisor, da capacidade que este possui para interpretá-las corretamente e de sua experiência para combiná-las de modo apropriado à natureza da situação que requer a decisão e/ou avaliação e ao contexto em que ocasionará efeitos. Para DAVIS (1974), “*o valor da informação é relativo às decisões: se não há escolhas ou decisões, as informações são desnecessárias*”.

São essas razões que levam as organizações, a fim de instruir os processos decisórios críticos (estratégicos) que lhes são peculiares, a estruturar sistemas que apóiem a tomada de decisão, com vistas a tornar disponíveis informações selecionadas, organizadas de acordo com seu ambiente operacional e com as necessidades dos decisores. Com certa frequência, as organizações se deparam com decisões não-rotineiras, de maior complexidade, exigindo sistemas de apoio cada vez melhor estruturados e a atuação sistemática do especialista (gerente de informação) na integração das informações no formato adequado às necessidades dos decisores.

Segundo POZZEBON & FREITAS (1997), um dos desafios dos pesquisadores em sistemas de informação e de apoio à decisão é a busca de um modelo global de sistemas de informação que propicie condições de proatividade aos decisores. Entende-se por decisores proativos “*todas aquelas pessoas de uma organização que tomam decisões, em diferentes níveis de atuação, não somente de forma reativa mas sobretudo com proação, ou seja, pessoas que capitalizam seus conhecimentos, que conduzam mudanças e que não apenas reajam aos problemas, mas também se antecipam a eles, assim como identificam e aproveitam oportunidades*” (FREITAS, 1993). A proatividade significa antecipação, inovação, inteligência. A matéria prima

básica do profissional proativo é a informação. A interface necessária: os sistemas de informação. Modelar sistemas que apóiem a decisão implica compreender o processo decisório como sendo humano, complexo, envolto por variáveis de naturezas diversas, que se inter-relacionam de forma ora previsível, ora imprevisível.

### ***3.2 Sistemas que Apóiam o Processo de Tomada de Decisão***

De acordo com os conceitos relativos ao Processo Decisório e com as principais características da maioria dos problemas de decisão espacial reais, que se inserem no campo das decisões semi-estruturadas, são apresentados a seguir alguns dos sistemas que apóiam o processo de tomada de decisão: os **Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)**, os **Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE)** e os **Sistemas de Apoio ao Planejamento (SAP)**.

#### ***3.2.1 SAD – Sistemas de Apoio à Decisão***

As raízes do que viriam a ser os Sistemas de Apoio à Decisão começaram a aparecer no final da década de 60 do século XX, como resultado da evolução de duas áreas de pesquisa: a dos estudos teóricos sobre o processo de tomada de decisão organizacional, feito no *Carnegie Institute of Technology*, durante as décadas de 50 e 60, e os trabalhos realizados com sistemas computacionais interativos no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) nos anos sessenta. Diversos fatores contribuíram para essa evolução: o desenvolvimento emergente dos sistemas de computação, o crescimento da economia, o aumento na competitividade, e a busca pela melhoria de qualidade nos diversos setores da economia, entre outros. Nos anos 70 houve um crescimento cada vez maior do interesse pelos Sistemas de Apoio à Decisão na comunidade acadêmica, decorrência do número de empresas que começavam a utilizar esses sistemas. Essas primeiras experiências fundamentaram os conceitos de Sistemas de Apoio à Decisão (SPRAGUE & WATSON, 1986).

A tecnologia de informação em organizações do setor público – assim como no privado – tem sofrido alterações, ou se desenvolvido, ao longo das últimas décadas. Segundo KLOSTERMAN (2001), esse desenvolvimento pode ser sintetizado

nos conceitos de: (1) *dados*, nos anos 60; (2) *informação*, nos anos 70 e (3) *conhecimento*, nos anos 80.

Nos anos 60, a incipiente indústria de computadores tinha como foco principal de desenvolvimento a capacidade de tratamento de dados. Os sistemas de informação computacionais eram dedicados quase que exclusivamente aos problemas com dados eletrônicos (PDE), à automatização de procedimentos manuais já existentes e a digitalização de grandes quantidades de dados que estavam previamente armazenados em papel.

Nos anos 70, a ênfase mudou dos dados para a informação. Em 1971, MORTON (1971) questionou como os computadores e modelos analíticos poderiam ajudar aos gerentes no suporte e na tomada de decisões chaves. O objetivo principal, que era melhorar a eficiência do processamento de dados para fins operacionais, passou a ser o desenvolvimento dos chamados Sistemas de Gerência de Informações (SGI), que buscavam estruturar e sintetizar dados em formatos que poderiam servir às atividades de gerência (gestão). MORTON (1971) criou um SGI pioneiro, baseando-se na experiência de gerentes, e utilizou este sistema para coordenar o planejamento de uma linha de produção de máquinas de lavar. Algumas empresas e escolas começaram a pesquisar e desenvolver esses sistemas, que eram basicamente sistemas de computação interativos que auxiliavam no processo de decisão através da utilização de dados e modelos para resolução de problemas não-estruturados (SPRAGUE & WATSON, 1986).

A ênfase mudou novamente nos anos 80, da informação para o conhecimento. Visando suprir a deficiência da capacidade analítica dos sistemas de informações tradicionais, os primeiros Sistemas de Apoio à Decisão propriamente ditos surgiram como um tipo de sistema completamente novo. Esses novos sistemas mitigavam o desejo dos decisores por ferramentas analíticas de modelação e uma maior interação com o processo de solução do que a que se conseguia com os Sistemas de Gerência de Informações dos anos 70, através da integração, em um único ambiente, de sistemas gerenciadores de bancos de dados, modelos analíticos e visualização gráfica (SPRAGUE & WATSON, 1986). Os SADs tornaram-se um recurso importante para os gerentes envolvidos com problemas de localização de instalações, programação e distribuição da produção, planejamento de investimentos e outros problemas complexos (GALVÃO, 2000).

SPRAGE & CARLSON (1982) descrevem uma visão prática e compreensível de como as organizações poderiam e deveriam construir um SAD. Embora isto tenha criado algumas expectativas pouco plausíveis, o problema se concentrava mais no limite tecnológico para construção dos SAD do que nas limitações conceituais apresentadas pelos autores. Em meados de 1980, surgem os SIE – Sistemas de Informações Executivos. Os SIE eram orientados apenas a um único usuário, enquanto os SAD eram orientados ao sistema como um todo.

Duas características básicas marcavam os SAD dos anos 80. Primeiro, eles eram compostos por três componentes: uma interface com o usuário, uma base de dados e uma base de modelos. Juntos, esses três componentes eram projetados para compor uma estrutura que integrasse todas as informações relevantes (de uma ampla variedade de fontes) com uma série completa de modelos analíticos e estatísticos e com uma interface gráfica que apresentasse as informações de modo compreensível ao decisor. Segundo, e mais importante, os SAD distinguiam-se dos anteriores SGI por serem propositalmente designados para abordar decisões semi-estruturadas (KLOSTERMAN, 2001).

No final dos anos 90, o conceito de proatividade passou a despertar especial interesse nos pesquisadores. A própria evolução dos sistemas de informação evidenciou a necessidade da concepção de sistemas mais flexíveis, mais “inteligentes”, que não se restrinjam ao diagnóstico de problemas, mas que criem condições para a antecipação, para a inovação, para a geração e disseminação de idéias. Enfim, sistemas que criem condições para que seus usuários – decisores em potencial – sejam proativos (POZZEBON & FREITAS, 1997).

Os desenvolvimentos paralelos nas esferas das tecnologias de planejamento e de sistemas de informação formaram, em conjunto, as bases para um conceito mais importante para o papel que as avançadas tecnologias de informação podem desempenhar no planejamento. Esses desenvolvimentos sugerem um possível próximo estágio, onde o conhecimento necessário para apoiar o processo decisório iria para o topo da pirâmide organizacional, para prover **inteligência**: a habilidade de abordar novas situações e novos problemas e de aplicar o conhecimento adquirido com a experiência (KLOSTERMAN, 2001).

### 3.2.2 SADE – Sistemas de Apoio à Decisão Espacial

A disponibilidade de dados e a possibilidade de manuseá-los cria uma necessidade de metodologias para extrair informações para o processo de tomada de decisões. Potencialmente, metodologias desenvolvidas nas ciências espaciais, análise de decisões, pesquisa operacional e inteligência artificial são relevantes para este propósito. Isso inclui técnicas para modelar o comportamento espacial, otimizar a configuração espacial de redes de instalações, avaliação multicritério e outras. A estrutura dos SAD facilita a integração dessas metodologias no processo de planejamento. A forma desses sistemas é adaptada às características do processo de tomada de decisão e às preferências e restrições impostas pelos usuários do sistema (ARENTZE, 1999).

A partir dos anos 80, as aplicações dos computadores no planejamento têm mudado substancialmente em dois aspectos. Primeiro, a revolucionária redução, em termos de custo e tamanho, dos computadores (*hardware*) e, conseqüentemente, o desenvolvimento de *software* de utilização geral, mais acessíveis e com uma interface mais amigável ao usuário. Segundo, o desenvolvimento de sistemas computacionais gráficos, que fez com que os modelos computacionais da Pesquisa Operacional (PO), passassem por uma fase de reavaliação. O papel dos modelos de otimização da PO, face aos avanços da microcomputação e das novas tecnologias relacionadas à computação gráfica, passou a ser bastante discutido. Ficou evidente que esses modelos teriam cada vez mais que ser embutidos em sistemas computacionais gráficos, de forma invisível ao usuário não-especialista. Em particular, com o surgimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no final da década de 80, abriram-se amplas perspectivas para a inserção de modelos computacionais da PO nestes sistemas de informação (GALVÃO, 2000).

Entretanto, a capacidade analítica dos SIG não é capaz de atender satisfatoriamente parte dos problemas encontrados nos setores público e empresarial. Assim o conceito de sistemas de apoio à decisão vem sendo ampliado, dando origem aos Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE). Um SADE é explicitamente projetado para auxiliar o processo de decisão envolvendo problemas espaciais, problemas complexos que exijam algum tipo de análise espacial, constituindo-se em um ambiente que integra Sistemas de Informações Geográficas, modelos analíticos,

recursos gráficos para representação do problema, interface amigável ao usuário e recursos para geração de tabelas e relatórios apropriados ao problema que esteja sendo abordado (GALVÃO, 2000).

Segundo ARENTZE (1999), os SADE são geralmente definidos como SAD que combinam informações geográficas com algoritmos apropriados para dar suporte ao processo de decisão em um local. Como consequência dessa definição, os SADE usam uma combinação da metodologia de SAD e SIG. Os SADE podem se beneficiar dos correntes avanços na tecnologia de SIG e Inteligência Artificial, além de todas as técnicas que já dão suporte aos SAD, de forma a desenvolver uma solução gráfica e de uso imediato para o problema. Isso, numa perspectiva a longo prazo, tem o potencial de promover a integração entre pesquisa fundamental e aplicada.

O conceito de SADE está envolvido numa área de pesquisa que surgiu e se desenvolveu mais fortemente nos últimos 15 anos, juntamente com outras estruturas e enfoques, como os SADE de Grupo, SADE Colaborativos, Sistemas Espaciais Baseados no Conhecimento, Sistemas Espaciais Especialistas, SADE Inteligentes, Sistemas de Apoio Espacial Especialistas e SADE-MC (Multicritério). Uma perspectiva geral sugere que todos esses sistemas de informações espaciais têm um objetivo comum: melhorar o desempenho de gerentes e decisores quando esses se defrontam com problemas de decisão espacial semi-estruturados. Central para o conceito de SADE é a interação do(s) usuário(s) com um sistema baseado em computador contendo uma série de ferramentas para estruturação e análise de problemas de decisão espacial. Uma importante contribuição dos SADE para a ciência da informação geográfica é a integração de ferramentas de análise espacial, que previamente estavam separadas, em um sistema único com desempenho global melhor do que as partes separadas (MALCZEWSKI, 1999a).

O conceito de SADE tem evoluído paralelamente com o de SAD (DENSHAM, 1991). Baseado na definição genérica de SAD, os SADE podem ser definidos como sistemas computacionais interativos, desenvolvidos para apoiar um decisor ou grupo de decisores em problemas semi-estruturados de decisão espacial. DENSHAM (1991) sugere seis características básicas dos SAD que também são aplicáveis ao conceito de SADE:

- 1. Deve ser projetado para tratar problemas semi-estruturados;*

2. *Deve apresentar interface fácil de usar e amigável ao usuário, com recursos para alimentação e edição de dados espaciais;*
3. *Deve permitir ao usuário combinar dados e modelos de forma flexível;*
4. *Deve auxiliar o usuário na exploração do espaço das soluções do problema, permitindo que uma série de alternativas sejam propostas e avaliadas;*
5. *Deve permitir a incorporação de diferentes “estilos” de decisões;*
6. *Deve possibilitar que o processo de resolução do problema seja feito de forma interativa e com diversos recursos.*

Além dessas características comuns aos SAD, DENSHAM (1991) aponta quatro habilidades e funções que um SADE deve apresentar.

1. *Deve prover mecanismos que possibilitem a incorporação de dados espaciais (input);*
2. *Deve permitir a representação das estruturas e relações espaciais;*
3. *Deve incluir técnicas de análise espacial;*
4. *Deve disponibilizar a saída de dados (output) em diversos tipos de mídia, incluindo mapas e outros tipos mais específicos.*

Segundo GALVÃO (2000), os SADE representam um estágio superior à simples integração de modelos matemáticos aos SIG: os SADE devem ser desenvolvidos em estrutura modular, permitindo a captação de dados espaciais, manuseio de bases de dados geográficos através de ferramentas apropriadas, operações específicas de um SIG e integração eficiente de dados com os módulos de otimização do sistema.

Dadas a definição e as características dos SADE, cabe ressaltar três termos que definem a sua essência: **problemas espaciais semi-estruturados**, **eficiência**, e **apoio**. Apesar da utilização do SADE poder eventualmente aumentar a **eficiência** do processamento de dados e informações na resolução de **problemas espaciais semi-estruturados**, esse não é o seu objetivo principal. Mais importante é que o SADE melhore o desempenho do processo decisório, incorporando as preferências do decisor e ferramentas computacionais. O sistema deve incorporar os vários estilos de decisão que possam estar presentes num problema particular, de onde vem uma característica fundamental dos SAD: sua função não é a de substituir os julgamentos do(s) decisor(es) e sim **apoiar** o decisor e o processo decisório como um todo na busca por melhores decisões. Deve portanto fornecer mais e melhores subsídios para que a decisão tomada seja a melhor entre as alternativas disponíveis. Para “melhorar” o processo decisório, o SAD incorpora o conhecimento, a intuição, a experiência, a iniciativa, a criatividade, e outras características dos decisores. Associado

a essas características, o sistema possibilita aos usuários explorar o problema num ambiente interativo e com diversos recursos multimídia (MALCZEWSKI, 1999a).

A estrutura do SADE pode ser descrita identificando-se os componentes principais ou subsistemas do sistema principal. Um SADE geralmente contém três componentes genéricos: um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) e respectivas bases de dados geográficos; um sistema gerenciador de modelos de avaliação (SGMA) e respectivas bases de modelos e um sistema gerenciador da interface entre os modelos (SGIM) (FIGURA 3.3).

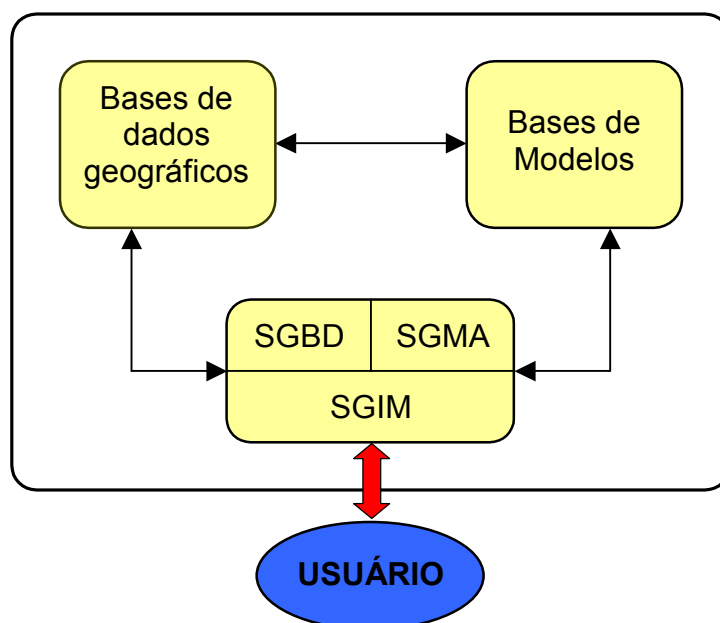


Figura 3.3 – Componentes do SADE (MALCZEWSKI, 1999a)

O subsistema dos dados realiza todas as operações relativas aos dados (incorporação de fontes diversas, armazenamento, combinação e geração de novas informações). Provê acesso aos dados e aos programas de controle necessários para obter os dados formatados de modo adequado a um problema de decisão particular. O subsistema dos modelos contém a “biblioteca” dos modelos e rotinas, armazenando-os de forma a serem utilizados sempre que forem necessários durante as análises do processo decisório. O sistema gerenciador da interface provê a ligação entre os diferentes modelos, de forma que a saída de um modelo possa ser a entrada de um outro modelo. A importância do subsistema de diálogo não pode ser subestimada, uma vez que todas as habilidades do SADE precisam estar articuladas e implementadas através desse subsistema. Um SGIM contém mecanismos através dos quais dados e informações entram (*input*) e saem (*output*) do sistema.



Esses três subsistemas constituem a parte *software* de um SADE e estão inseridos em um ou mais computadores (*hardware*). Além disso, o decisor ou usuário é considerado como uma parte do sistema, o que é natural, já que a principal contribuição dos SAD deriva da interação entre computador e usuário.

### 3.2.3 SAP – Sistemas de Apoio ao Planejamento

A utilização de computadores no planejamento começou durante os anos 60, numa época de otimismo em que se conseguiam grandes avanços tecnológicos e se depositava grande confiança na eficácia da ciência e da tecnologia. O rápido crescimento dos meios de transporte motorizados e a conseqüente necessidade por métodos de planejamento de transportes eficazes impulsionaram o desenvolvimento de modelos baseados em computadores para analisar e projetar a interação do uso do solo urbano e as mudanças nos padrões de transportes (KAMMEIER, 1999).

Esse cenário de otimismo foi duramente posto à prova durante os anos 70, com o fracasso dos modelos urbanos de larga escala, dos primeiros sistemas de informações municipais, e de todas as tentativas de se desenvolver modelos políticos computacionais. O entusiasmo dos planejadores na tecnologia computacional renasceu nos anos 80, com o desenvolvimento de microcomputadores que tornaram tecnologias de informação avançadas e modelos baseados em computadores amplamente disponíveis para planejadores profissionais e acadêmicos de todo o planeta. Nos anos 90 observou-se ainda outra “revolução na tecnologia de informação” como resultado da proliferação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

De acordo com KLOSTERMAN (2001), apesar desse contínuo otimismo, parece claro que a revolução no planejamento baseado no computador ainda não ocorreu. A maioria dos planejadores pode ter agora microcomputadores em suas mesas, mas as evidências atuais sugerem um uso superficial desses computadores, para funções gerais de escritório, encontrando apenas limitada aplicabilidade naquelas funções que são intrínsecas ao planejamento, tais como previsões, análises e avaliações. Mesmo no caso dos SIG, a informação disponível sugere que essa tecnologia cada vez mais acessível esta ainda sendo usada de forma superficial, em funções operacionais e gerenciais rotineiras, como a preparação de mapas temáticos. Ainda há poucos casos em que se possa afirmar que o SIG esteja de fato sendo usado em análises e avaliações de

planejamento, embora pareça óbvio que metodologias adequadas poderiam melhorar significativamente o desempenho de sistemas que apóiem o processo decisório.

A busca por uma melhor utilização de bases de dados computacionais e de metodologias de planejamento não deve começar, no entanto, com uma tecnologia (ou uma série de tecnologias) em particular mas, ao invés disso, com uma concepção de planejamento. Essa observação sugere que embora não haja tecnologia capaz de fornecer sozinha todos os subsídios que os planejadores precisam para desempenhar suas atividades profissionais, uma série de diferentes tecnologias pode ser utilizada em conjunto a fim de fornecer capacidades que nenhuma ferramenta sozinha pode prover.

A partir dessa idéia, muitos autores têm adotado o conceito de Sistema de Apoio ao Planejamento (SAP) (HARRIS, 1989) como uma plataforma (ou modelo) apropriado para combinar uma série de métodos e modelos computacionais em um sistema integrado que possa apoiar a função de planejamento. A denominação de SAP é agora amplamente aceita, pois incorpora uma gama de conceitos maior do que os Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (KAMMEIER, 1999). No entanto, cabe ressaltar que para alguns autores os termos SAP e SADE se confundem, já que inúmeras características são comuns aos dois tipos de sistemas. Desse modo, os SAP, assim como os SAD (e os SADE), devem ser projetados para fornecer procedimentos interativos, integrativos e participativos no tratamento de processos decisórios não-rotineiros e semi-estruturados. No entanto, como sistemas de planejamento, os SAP dedicam particular atenção a problemas de grande abrangência, onde várias questões e interesses estejam envolvidos, bem como a questões estratégicas. Este é um contraste com os SAD e SADE, que são geralmente projetados para apoiar processos decisórios mais específicos, ou de abrangência relativamente menor.

Essas características de abrangência e estratégia também sugerem que o SAP não deve ser visto como uma nova forma radical de tecnologia que irá substituir todos os métodos de planejamento atualmente utilizados. Ao contrário, o SAP precisa tomar a forma de uma estrutura de informação que integre o leque total de tecnologias atuais (e futuras) úteis para o planejamento. O SAP não deve também ser visto como uma “caixa preta”, uma coleção de modelos computacionais que, a partir de uma série de dados, automaticamente gera a melhor solução. Ao contrário, deve ter por função fornecer a infra-estrutura de informações necessária para o planejamento, que facilite a

interação entre os planejadores e entre planejadores e outros atores. O coração do SAP será invariavelmente um SIG. No entanto, um SAP não pode ser composto apenas por um SIG, devendo incluir também ferramentas tradicionais de planejamento (KLOSTERMAN, 2001).

Ainda que diversas definições para o conceito de SAP sejam encontradas na literatura especializada, KLOSTERMAN (2001) apresenta uma definição geral (inicial) bastante ampla, na qual um SAP seria o conjunto de todas as tecnologias atuais e futuras aplicáveis ao planejamento. No entanto, essa definição não significa que um SAP deva incluir todas as ferramentas computacionais e metodologias utilizadas pelos planejadores; essa definição exclui *software* de utilização geral, utilizados para edição de textos, preparação de relatórios e todos os outros que os planejadores utilizem do mesmo modo que outros profissionais. Ao contrário, essa definição inclui somente *hardware*, *software* e bases de dados utilizados especificamente para planejamento.

KLOSTERMAN (1995) afirma que o foco dos SAP não deveria estar em um sistema *ideal* e sim na definição das necessidades dos usuários, que poderiam ser bem atendidas com um sistema *parcial*, um modesto conjunto de modelos com total flexibilidade para crescimento e mudanças. A nova lógica de computação para planejamento deve ser direcionada essencialmente para respostas a problemas e formulação de políticas, e não para atender a requisitos dos dados ou a características dos modelos. Este é de fato o mesmo princípio apontado por LEE (1973) há 30 anos, “*começar a desenvolver um modelo a partir de um problema que precisa de solução, e não a partir de uma metodologia que precisa ser aplicada*”.

Se é verdade que a real revolução computacional ainda não ocorreu nos sistemas de planejamento de muitos países industrializados (KLOSTERMAN, 1995), o mesmo pode ser dito de maneira muito mais profunda nos países em desenvolvimento, que apresentam sérias necessidades de metodologias de planejamento e de sistemas que apóiem a gestão de seus processos de desenvolvimento (social e econômico), alocando os recursos, geralmente escassos, apropriadamente. Dependendo das necessidades dos usuários, uma modesta estrutura inicial poderia ser desenvolvida e tornar-se um grande e funcional SAP através da incorporação de algumas ferramentas computacionais que incrementassem substancialmente os métodos de análise requeridos (KAMMEIER, 1999).

Segundo KLOSTERMAN (1995), planejadores geralmente esperam utilizar a tecnologia de informação para promover interação, comunicação e diálogo. Um SAP precisa ser flexível e capaz de incorporar crescimentos e mudanças nas necessidades dos usuários. As novas ferramentas de análise espacial e ferramentas de planejamento parecem ir ao encontro de pelo menos algumas dessas expectativas, especialmente quando essas ferramentas estão integradas com outros métodos apoiados pelo computador. Os conceitos estão inter-relacionados e se reforçam mutuamente: todo planejamento espacial implica em um processo decisório com análises multicritério (e muitas vezes multiobjetivo) e com vários atores envolvidos, que só podem ser desenvolvidas adequadamente, em larga escala, num sistema apoiado pelo computador (KAMMEIER, 1999). O autor enfatiza, no entanto, que um Sistema de Apoio ao Planejamento (SAP) completo ainda não existe na realidade, apesar de recentes experiências indicarem avanços promissores no desenvolvimento de sistemas que oferecem suporte ao planejamento e à tomada de decisão.

KAMMEIER (1999) apresenta um caso de estudo que poderia ser considerado como um teste de SAP em larga escala: o Programa Nacional de Educação da Tailândia. O SAP proposto seria aplicado ao nível municipal, onde a maioria do planejamento e a responsabilidade pela gestão estão concentradas. O processo de planejamento convencional, feito sob uma base de dados primária de escolas por distritos, baseia-se em simples técnicas manuais de planejamento, fortemente influenciadas por negociações políticas ao nível local. Através do SAP, o objetivo do planejamento poderia ser encontrar o mais efetivo programa a médio e/ou longo prazo para novas escolas (incluindo também as escolas que deveriam ser expandidas ou fechadas), em termos de custos globais (que envolvessem parâmetros como tamanho mínimo e máximo de escolas, acessibilidade, restrições do orçamento municipal ou setorial, e informações geográficas locais). Esse objetivo poderia ser revisto anualmente, a partir da atualização das bases de dados, em um tipo de simulação de sistema ou exercício de monitoração virtualmente impossível sem o suporte computacional do SAP proposto. Os benefícios de aplicações como essa no setor público não são apenas do tipo intangíveis (maior transparência e equidade, maior flexibilidade para acomodar variações locais) mas, acima de tudo, tangíveis, relacionados à melhor aplicação dos recursos econômicos e à geração de benefícios sociais.

### 3.3 Considerações Finais

A despeito da evolução das teorias que fundamentam e explicam o Processo Decisório, o desenvolvimento prático de sistemas que lhe dêem suporte ainda não está totalmente equacionado, como demonstram algumas experiências documentadas na literatura. O lado positivo dessas experiências, mesmo daquelas que não foram tão bem sucedidas, no entanto, é a possibilidade de servirem como referência para identificar diretrizes para o seu aperfeiçoamento. Desta forma, alguns dos problemas e aspectos relevantes de experiências concretas foram selecionadas para concluir esse capítulo de fundamentação teórica, como contribuição efetiva para o desenvolvimento de sistemas com possibilidades de sucesso do ponto de vista prático.

SANCHES (1997), por exemplo, relata a experiência do Sistema de Planejamento do Estado do Paraná, que nos anos de 1975 e 1976 implantou o *Sistema de Acompanhamento Físico* (SAF), com vistas ao acompanhamento da ação governamental. A operacionalização do SAF defrontou-se com uma série de problemas, entre os quais o autor ressalta:

- *Visar o atendimento simultâneo a vários usuários (governador, secretários estaduais, diretores-gerais, assessorias de controle de resultados), cada um dos quais com demandas peculiares;*
- *Ter sido desenvolvido e implantado antes que as unidades setoriais de planejamento atingissem um nível de consolidação que permitisse a sistematização dos fluxos de informações e a realimentação do sistema com avaliações críticas;*
- *Desconsiderar o preceito técnico de que sistemas complexos não devem ser convertidos para processamento de dados antes de atingirem maturidade em sua operação por procedimentos convencionais;*
- *Subestimar a importância dos aspectos políticos, tecnológicos e comportamentais.*

Após essa experiência com o SAF foi implantado, em 1977, o Sistema de Acompanhamento de Obras (SAO), que corresponde à antítese do SAF, caracterizando-se como um sistema simples, de preocupações bem definidas, voltado para dois usuários principais (o governador e o secretário de Planejamento), com gerência própria e dispondo de uma rede estruturada de informantes. Com base nessas duas experiências, SANCHES (1997) lista alguns equívocos e verdades na estruturação de sistemas de informação. Algumas premissas falsas:

- *A operação do sistema através de computadores lhe confere garantia de efetividade;*
- *Quanto mais rico em dados e mais detalhadas as informações propiciadas, melhor será o sistema;*
- *O usuário não precisa compreender como o sistema funciona, basta saber como usá-lo.*

O autor aponta ainda, com destaque, “o pressuposto que constitui a causa mais freqüente de insucesso dos sistemas de informação gerencial: o de que as pessoas não se incomodam em prestar informações de caráter estratégico ou sobre o próprio desempenho. Informação é poder e, portanto, quanto mais estratégica ela for, maior será a resistência em torná-la disponível. Quanto ao desempenho, no setor público a maior parte dos seus agentes não gosta nem da palavra, quanto mais das suas conseqüências.”

Alguns aspectos relevantes no desenvolvimento e implantação de sistemas, ainda em SANCHES (1997):

- *Informações são recursos para instrumentalizar o processo decisório e não para a solução de problemas;*
- *Quanto mais simples e específico o sistema, maior a sua eficácia e confiabilidade;*
- *O melhor sistema é aquele que oferece a informação com oportunidade (em tempo de ser usada, ainda que inexata) e satisfatória confiabilidade (é melhor um erro de 10 % que um chute de 100 %);*
- *Os dados devem ser tratados segundo critérios, categorias de agregação e unidades de referência que permitam associações legítimas e comparações válidas (a interpretação dos dados é extremamente dependente de como estes são coletados).*

Outra dificuldade enfrentada pelos sistemas de informação é a da qualidade intrínseca dos processos decisórios, ou seja, da qualidade do decisor e dos instrumentos de que se utiliza. Não existe sistema que possa elevar os níveis de excelência do decisor, sobretudo se este for preconceituoso em relação a novas tecnologias ou avesso à atualização de suas habilidades na utilização de recursos modernos.

Apesar da abrangência da revisão da literatura acerca dos processos decisórios aqui apresentada, ela certamente não esgota o assunto. Isto se deve, em parte, à constante evolução desta área do conhecimento, fato que se pode também aqui constatar. Uma das vertentes desta evolução no momento é, sem dúvida, a possibilidade de incorporar novos métodos, técnicas e ferramentas para prover suporte aos processos decisórios. Algumas destas alternativas serão discutidas em maior nível de detalhe no próximo capítulo, sempre procurando demonstrar o seu papel como elemento de suporte à decisão e ao planejamento. A seleção dos métodos e ferramentas apresentadas, no entanto, também não tem como proposta cobrir todas as opções existentes, tendo sido intencionalmente direcionada para aquelas que apresentam particular interesse para o problema pesquisado.

## **4 TÉCNICAS E FERRAMENTAS**

---

*Algumas das técnicas e ferramentas que podem ser incorporadas ao Sistema de Apoio à Decisão Espacial (SADE) a ser desenvolvido são apresentadas nesse capítulo: Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a Análise de Decisão Multicritério (AMC), os Autômatos Celulares (CA, de Cellular Automata) e as Redes Neurais Artificiais (RNA). No caso dos SIG, especial ênfase é dada ao seu papel no Apoio à Decisão e ao Planejamento, que vem ganhando expressão nos últimos anos, em consequência de sua capacidade de associar atributos das entidades analisadas à sua localização espacial, bem como de servir como plataforma para a utilização de diversas técnicas e ferramentas.*

### **4.1 SIG e Apoio à Decisão**

Ao longo da última década tem havido um vasto e crescente interesse em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) no mundo acadêmico, nas empresas de *software* e mais recentemente entre os profissionais liberais, como consequência do aumento da capacidade de processamento, da redução dos custos dos microcomputadores e do aumento da disponibilidade de bases de dados cartográficos digitais. Os SIG integram a entrada, armazenamento, gerenciamento, manipulação, análise e saída de dados, tanto espaciais como não-espaciais (atributos), funcionando como valiosa ferramenta em estudos de planejamento e gerenciamento.

As possíveis áreas de atuação do SIG são imensas e continuam crescendo. Há, contudo, uma consciência crescente de que o conceito de SIG falha ao prover suporte efetivo para a estratégia de tomada de decisão, apresentando limitações para atuação em algumas questões críticas do planejamento. Estas questões são, em termos coloquiais, as do tipo “*o que aconteceria se...*”, questões típicas a serem exploradas e respondidas antes que qualquer decisão seja tomada de maneira alicerçada.



Recentemente, os conceitos de Apoio à Decisão têm sido introduzidos nos SIG para mudar o foco da informação para o processo de decisão e para aumentar as propriedades de interação dos sistemas e suas habilidades de adaptação ao processo de tomada de decisões (DENSHAM, 1991; ARMSTRONG & DENSHAM, 1990; CLARKE & CLARKE, 1995). Para MALCZEWSKI (1999a), o mais recente propósito dos SIG tem sido fornecer suporte para os problemas de decisão espacial. JANKOWSKI *et al.* (2001) afirmam que o apoio à decisão espacial é uma das funções principais dos SIG. Os SIG podem ser utilizados na construção de elementos básicos das análises de decisão multicritério espaciais; mapas temáticos e alternativas de decisão, e na integração dos dados de entrada requeridos pelo processo de decisão multicritério (MALCZEWSKI, 1999a).

No entanto, métodos de resolução de problemas multicritério e multiobjetivo associados com técnicas já existentes de análise espacial não são ainda partes integrantes de um típico ambiente SIG. Segundo KAMMEIER (1999), este quadro começa a mudar e, provavelmente, está mudando mais rapidamente do que o esperado há alguns anos. Usando a expressão “*What if?*” (E se?) como título, KLOSTERMAN (1997) vem desenvolvendo um sistema que pode ser adaptado a um ambiente SIG e parece ser um promissor caminho para construir e avaliar cenários detalhados de alternativas para o desenvolvimento urbano.

No âmbito da administração municipal, os SIG podem permitir um maior controle e gerência em prefeituras e outros órgãos de planejamento. Podem também propiciar um sistema de consulta com maior velocidade de coleta e manuseio de informações, melhorando a qualidade do serviço. Departamentos essenciais da administração municipal (planejamento, cadastro tributário, transportes, obras, saúde, educação, entre outros) podem e devem ser integrados a um SIG, pois este pode fornecer ao decisor ferramentas para atualizar e controlar as informações, auxiliando com antecedência nas decisões que irão permitir o controle no futuro. O SIG pode ser utilizado ainda no Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), nas funções de coleta, armazenamento e associação dos dados a lotes e propriedades urbanas, por exemplo (ROSADO, 2000).

#### 4.1.1 SIG e o Processo Decisório

As ferramentas de apoio do SIG às decisões espaciais podem ser analisadas no contexto do processo decisório discutido no Capítulo 3. SIMON (1960) sugere que todo processo decisório pode ser estruturado em três fases principais: *inteligência* (há um problema ou uma oportunidade de mudança?) *projeto* (quais são as alternativas?) e *escolha* (qual alternativa é a melhor?) (Figura 4.1).

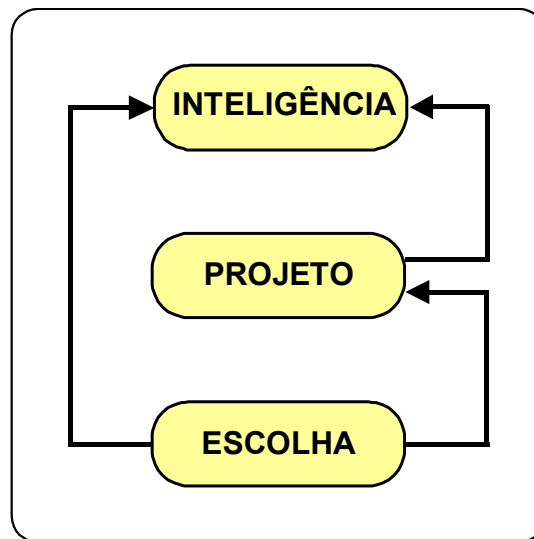


Figura 4.1 – Fases do processo decisório

#### *Inteligência*

Durante a fase de inteligência, os dados brutos são obtidos, processados e examinados seguindo regras que possam identificar oportunidades ou problemas. As funções de aquisição, armazenamento, recuperação e gerenciamento de dados convertem a situação de decisão do mundo real em bases de dados do SIG. Isto envolve suposições (ou simplificações) relativas ao problema de decisão específico, do tipo: quais das entidades reais precisam ser observadas, selecionadas, filtradas, classificadas e armazenadas como dados, e quais desses dados são relevantes para o subsequente problema de decisão espacial.

Questiona-se se o SIG fornece um apoio adequado à fase de inteligência. Para MALCZEWSKI (1999a), o SIG oferece uma oportunidade única de abordar os problemas de forma tradicional, associada com uma coleta e análise de dados mais eficiente e mais efetiva. Fornece ainda auxílio vital no estágio inicial do processo decisório espacial, armazenando e gerenciando uma grande quantidade de dados e

informações espaciais, coordenando situações de análise através da habilidade de integrar dados e informações de diversas fontes diferentes. O SIG pode ainda apresentar as informações numa forma abrangente para os decisores, que talvez possam não estar habilitados a analisar todos os dados e informações em várias páginas de tabelas de um relatório.

### *Projeto*

A fase de projeto envolve o levantamento, desenvolvimento e análise de uma série de possíveis soluções (diversos cursos de ações) para o problema identificado na fase de inteligência. Tipicamente, um modelo formal é utilizado no apoio ao decisor para a determinação da série de alternativas. Um modelo é uma representação simplificada ou abstração da realidade. É uma representação simplificada porque a realidade é muito complexa para ser reproduzida exatamente e porque muito dessa complexidade é irrelevante para o problema específico. No contexto dos problemas de decisão espaciais, um modelo é uma representação dos aspectos relevantes da decisão nas bases de dados do SIG e de outros sistemas utilizados. Alternativas de decisões espaciais são derivadas da manipulação e análise dos dados e informações armazenados no SIG.

A habilidade dos SIG para gerar uma série de alternativas de decisão está baseada principalmente nas relações espaciais de conectividade, contigüidade, proximidade e sobreposição (as operações fundamentais dos SIG). Contudo, quando a seleção de alternativas envolver conflitos de preferências em relação aos critérios de avaliação, as funções de sobreposição do SIG não provêem suporte analítico suficiente, devido às capacidades limitadas de incorporação das preferências dos decisores. Devido a essa deficiência, há a necessidade de se integrar técnicas de decisão às funções do SIG, seja através da incorporação direta de modelos analíticos, seja criando-se uma interface amigável com sistema de análise de decisões já desenvolvido. Isto resultaria numa acentuada melhora na capacidade do SIG de realizar funções analíticas avançadas, especialmente modelos de simulação e otimização.

Para esse fim, cabe ressaltar que as ferramentas de análise espacial dos SIG melhoraram substancialmente seu desempenho nos últimos anos. Alguns SIG já possuem funções analíticas avançadas para apoiar a análise espacial, incluindo análise

de decisão (autocorrelação espacial, interação espacial, modelos de localização de atividades, simulação e otimização). Cabe ressaltar, no entanto, que as funções analíticas avançadas fazem parte de conjuntos de *software* específicos. Por exemplo, o TransCAD<sup>®</sup>, um sistema projetado especificamente para planejamento de transportes, inclui uma série de funções utilizadas no projeto de complexos sistemas de transporte. Várias funções disponíveis em SIG especializados, tal como o TransCAD<sup>®</sup>, não estão disponíveis em SIG mais genéricos (MALCZEWSKI, 1999a; ROSE, 2001).

### *Escolha*

Enquanto a geração de alternativas é tarefa específica da fase de projeto, a avaliação dessas alternativas é a parte principal da fase de escolha. Nessa fase, cada alternativa é avaliada e comparada às outras segundo regras de decisão específicas. As regras são utilizadas para ordenar as alternativas sobre consideração, segundo as preferências do decisor.

A capacidade de incorporar as preferências do decisor no processo decisório é um fator crítico para o uso do SIG na fase de escolha. Em geral, os SIG não provêem mecanismos para representação de escolhas e prioridades num contexto de avaliação de critérios e objetivos conflitantes. Esta restrição faz do SIG uma ferramenta bastante estática no contexto do processo decisório e assim reduz seu alcance como ferramenta de apoio à decisão (HEYWOOD *et al.*, 1995). Essa característica é de importância vital se o SIG é utilizado como um Sistema de Apoio à Decisão (SAD). Um modo de se fazer isso é incorporar técnicas de Análise de Decisão Multicritério (AMC) no processo decisório. Enquanto os SIG podem ajudar como ferramenta no tratamento das discontinuidades dos dados, provendo mais e melhores informações, as técnicas de análises de decisão podem ajudar administrando as divergências entre as partes de interesse conflitante. Sob essas circunstâncias, o sucesso do SIG no processo decisório está associado ao seu grau de desempenho como um Sistema de Apoio à Decisão Espacial (SADE) (MALCZEWSKI, 1999a).

## 4.2 SIG e AMC

O objetivo da utilização de AMC é auxiliar na busca por soluções para problemas de decisão que se caracterizem por múltiplas alternativas de escolha, que possam ser avaliadas em termos de características de performance denominadas critérios de decisão. Como muitos dos modelos elaborados no SIG trabalham com avaliação e escolha de alternativas baseadas em critérios de aptidão, considerável atenção foi dedicada na última década à integração de SIG-AMC, aprimorando ainda mais o SIG como ferramenta de apoio à decisão (JANKOWSKI *et al.*, 2001). A literatura internacional recente é repleta de trabalhos combinando SIG e AMC. Se por um lado o uso de mapas para visualização de resultados de análises não se constitui em um Sistema de Apoio à Decisão Espacial, por outro lado pode com essa característica evoluir para sistemas mais completos e mais complexos, como discutido na seqüência. Dentro do planejamento territorial, por exemplo, além dos Sistemas de Apoio à Decisão Espacial, podem-se destacar duas outras áreas de aplicação: escolha de localizações e avaliação de aptidão do uso do solo.

### 4.2.1 Diretrizes de Utilização da AMC

Os decisores e outros atores devem estar atentos a cada passo no processo decisório. Devem gastar o tempo e esforço necessários para definir claramente o problema. Por exemplo, eles devem responder questões sobre: aspectos reais, os atores influentes, as alternativas e os critérios. Também devem concordar com o grau de precisão, a área geográfica etc. É realmente muito difícil, e por vezes impossível, responder a todas essas questões nas fases preliminares do processo decisório. Assim, essas questões e respostas devem ser reconsideradas de maneira interativa durante todo o processo. A fase de estruturação do problema é também utilizada para desenvolver o modelo necessário para apoiar o processo decisório. Os diferentes atores devem então validar o modelo no que diz respeito aos seus pontos de vista e objetivos particulares.

A escolha do método de AMC é muito importante, uma vez que tem um efeito significativo no resultado final. É, então, necessário que esse ponto seja discutido entre todos os atores. As características e propriedades da AMC devem ser compatíveis com a natureza específica do problema de decisão. Algumas técnicas de AMC

trabalham bem com séries contínuas de alternativas e critérios pertencentes a um mesmo domínio (econômico, por exemplo), enquanto outras consideram apenas uma pequena série de alternativas discretas, mas são mais eficientes para lidar com critérios heterogêneos (JOERIN *et al.*, 2001).

Durante a fase de estruturação do problema, deve ser realizada a identificação de todos os atores envolvidos, os critérios e as alternativas. Como a identificação dos critérios é geralmente uma questão complicada para os decisores, uma análise sistemática de todos os potenciais fatores de influência no problema deve ser efetuada. Os decisores podem, então, examinar a lista resultante com os fatores e a partir dela selecionar aqueles fatores que julguem relevantes. Os fatores são então comparados com os dados disponíveis e, com o consentimento dos decisores, alguns fatores podem ser ignorados por serem irrelevantes para o estudo (por exemplo, riscos de abalos sísmicos no Brasil) e outros agrupados em um único fator (por exemplo, distância a escolas, postos de saúde, áreas de lazer podem, dependendo do estudo, ser substituídos pela distância à cidade mais próxima) quando dados mais detalhados não estão disponíveis.

#### *4.2.2 Avaliação de Pesos, Normalização e Combinação de Critérios*

Um dos problemas geralmente encontradas num processo de decisão com múltiplos critérios envolvidos é a forma como se deve quantificar a importância relativa de cada um deles, somado ao fato dos mesmos possuírem graus de importância diferentes para diferentes decisores. Cada critério utilizado deve ser compreensível e mensurável. A série de atributos deve ser completa (os atributos precisam cobrir todos os aspectos do problema de decisão), operacional (de modo a serem incorporados à análise), divisível (permitindo a simplificação do processo), não-redundante (para não haver mais de um critério relativo a um mesmo fator) e mínimo (o número de critérios deve ser o menor possível). A série de critérios para um problema de decisão particular pode ser obtida a partir de uma análise da literatura relevante, um estudo analítico ou pesquisas de opiniões. Definidos os critérios, cada um deles pode ser representado por uma camada no SIG, no caso de uma análise espacial. Embora não se possa afirmar que exista um método consensual para a definição de pesos, encontram-se na literatura várias propostas de procedimentos para essa definição, como o **ordenamento de**

**critérios, a escalas de pontos e a distribuição de pontos, e os métodos baseados em comparações par a par** (VOOGD, 1983; MALCZEWSKI, 1999a; RAMOS, 2000).

Normalmente os valores de diferentes critérios não são comparáveis entre si, o que inviabiliza a sua agregação imediata. Para resolver este problema é necessário normalizar para a mesma escala de valores a avaliação dos diferentes critérios. O processo de normalização é na sua essência idêntico ao processo de fuzzification<sup>1</sup> introduzido pela lógica fuzzy, segundo o qual um conjunto de valores expressos numa escala de valores é convertido em outro comparável, expresso numa escala normalizada (por exemplo 0-1). Para a normalização dos critérios, várias são as funções que podem ser utilizadas para reger a variação entre o ponto mínimo, a partir do qual os valores de *score* do critério começam a contribuir para a decisão, e o valor máximo, a partir do qual *scores* mais elevados não trazem contribuição adicional para a decisão. Uma vez normalizados os *scores* dos critérios para um intervalo fixo (0 a 1, ou outro qualquer) estes já podem ser agregados de acordo com a regra de decisão. Existem diversas classes de operadores para a combinação de critérios (para uma descrição extensiva ver MALCZEWSKI, 1999a). Os mais utilizados nos processos de decisão espacial são a **Combinação Linear Ponderada (WLC, do inglês *Weighted Linear Combination*)** e a **Média Ponderada Ordenada (OWA, do inglês *Ordered Weighted Average*)**. Aplicações desses procedimentos podem ser encontradas em BOSSARD (1999); MENDES (1999); MENDES *et al.* (1999); LIMA *et al.* (2000a); RAMOS (2000) e RODRIGUES (2001).

#### 4.2.3 Mapas como Ferramentas de Apoio à Decisão

O uso de mapas como ferramentas nas análises de decisão espacial tem sido pouco explorado, pois pode-se questionar se mapas podem ser considerados como ferramentas de estruturação de problemas. Para alguns especialistas, um mapa é principalmente uma conveniente ferramenta usada para detectar discrepância entre os resultados obtidos em um modelo e os esperados pelos especialistas, baseados em alguma preferência implícita. Que tipos de mapas são produtivos para o processo de decisão espacial e que direção deve ser tomada para o desenvolvimento de ferramentas

---

<sup>1</sup> *Fuzzification* é a expressão original apresentada por Zadeh (1965), para a qual não se adotou qualquer tradução. O mesmo acontece para a palavra *fuzzy* (Ramos, 2000).

mais efetivas para as análises de decisão espacial e multicritério são ainda questões abertas. MALCZEWSKI (1999b) sugere que o objetivo principal do uso de mapas nas análises de decisões espaciais multicritério deveria ser a busca da melhor solução ao problema decisório (a localização geográfica, num problema espacial), através de processos de compensação (*trade-offs*) entre critérios de decisão. O decisor pode ter a oportunidade de escolher uma alternativa considerada como sendo uma boa candidata a solução do problema selecionando-a diretamente num mapa ou gráfico associado.

Além disso, as técnicas convencionais de AMC assumem uma divisão espacial homogênea dentro de uma determinada área de estudo. Essa hipótese é irreal em muitas situações de decisão porque o critério de decisão varia no espaço. Conseqüentemente, existe a necessidade de uma representação explícita da dimensão geográfica na AMC (MALCZEWSKI, 1999a). É neste aspecto que a inserção das AMC nos SIG ganha destaque, gerando, com a união, Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE). JANKOWSKI *et al.* (1997), por exemplo, desenvolveram um SADE chamado *Spatial Group Choice*. Esta ferramenta tem três partes: visualização espacial, análise multicritério de decisão e votação. Essa última parte pode ser utilizada, por exemplo, para a seleção de critérios e métodos de atribuição de pesos ou para escolher entre métodos de ordenamento alternativos.

JOERIN *et al.* (2001) concentraram-se mais numa *metodologia* de apoio à decisão do que num *sistema* de apoio à decisão, visando a avaliação de aptidão do solo. Os autores afirmam que é necessário um nível muito alto de integração de *software* e uma interface amigável para interagir diretamente com um Sistema de Apoio a Decisão baseado em computador. Essa opção teria requerido um investimento maior em desenvolvimento de *software*, o que não era o objetivo e nem uma das prioridades da pesquisa. Além disso, do ponto de vista teórico, os autores afirmam que o risco de um uso inadequado e uma simplificação excessiva parece ser um pouco maior quando um SAD é utilizado para as questões de planejamento do uso do solo.

Por essas razões, os autores desenvolveram um modelo conceitual de apoio à decisão para o planejamento do uso do solo, denominado MAGISTER (*Multicriteria Analysis and GIS for Territory*). Seu objetivo principal é auxiliar os planejadores do uso do solo a traduzir as políticas gerais em decisões de localização concretas. Para computar os diferentes critérios de aptidão do uso do solo, o a AMC



ELECTRE foi incorporado a um SIG comercial (MapInfo®). A partir daí, uma completa metodologia de apoio à decisão foi desenvolvida, começando com a definição dos critérios e alternativas e terminando com o mapa de aptidão do solo. Os mapas resultantes aproximaram-se bastante das expectativas de todos os atores, sugerindo que mesmo com algumas simplificações efetuadas, como a divisão da região em zonas, modelos como esse podem apoiar eficientemente o planejamento do uso do solo. No final do processo os decisores têm uma ferramenta de apoio à decisão compreensível e podem debater as razões subjacentes a uma determinada decisão, o que é uma vantagem fundamental quando um processo decisório requer negociação.

JANKOWSKI *et al.* (2001) apresentam um novo protótipo de ferramenta de apoio à decisão espacial, enfatizando o papel dos mapas como estrutura de problemas multicritério de decisão espacial. O mapa está dinamicamente associado aos dados e funciona como um “índice visual”. Qualquer alteração experimentada pelo decisor na importância de algum dos critérios tem o seu efeito automaticamente exibido ao decisor no mapa. Os resultados da pesquisa demonstram que as técnicas de exploração de dados podem ser aplicadas para incrementar análise de decisão espacial multicritério. O alto nível de interação entre mapas e dados abre novas possibilidades para a integração dos critérios e das alternativas de decisão, além de auxiliar o decisor a melhor entender a estrutura do problema decisório em questão.

#### *4.2.4 Aplicações no Planejamento do Território*

*A escolha de uma localização adequada para uma atividade ou instalação está obviamente relacionada ao apoio à decisão e a AMC. O problema pode ser generalizado em termos de o que precisa ser feito e onde deve ser realizado. O objetivo do planejamento pode ser um hospital, um aterro sanitário ou qualquer tipo de equipamento coletivo. Numa série de dois artigos, MALCZEWSKI & OGRYCZAK (1995, 1996) definem claramente o problema da localização multicritério, comparando as vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de AMC. Problemas de localização têm sido também tratados com um uso mais intensivo do SIG. CARVER (1991) usa o SIG para avaliar várias alternativas de localização para um depósito de lixo nuclear, avaliando também a eficácia de três técnicas de AMC usadas para comparar cenários e para permitir a escolha do melhor deles.*

A *avaliação de aptidão do uso do solo* é similar à escolha de uma localização adequada, exceto pelo fato do objetivo final não ser o de eleger as melhores alternativas, e sim o de mapear as diferentes aptidões para toda a área de estudo. A combinação de SIG e AMC é também uma poderosa ferramenta para avaliações de aptidão do uso do solo. EASTMAN *et al.* (1993) desenvolveram um mapa de aptidão do solo para instalação de indústrias utilizando o IDRISI<sup>®</sup> (um SIG *raster*) e uma abordagem AHP (*Analytical Hierarchy Process*). RAMOS (2000) utilizou a mesma metodologia para a localização de áreas industriais na região de Valença, no norte de Portugal. Alguns outros trabalhos (JANKOWSKI, 1995; LAARIBI *et al.*, 1996) concentraram-se nos aspectos técnicos da combinação de SIG e AMC.

BOJÓRQUEZ-TAPIA *et al.* (2001) apresentaram um modelo de avaliação de uso do solo baseado em SIG que traduzia as decisões de uso do solo numa rigorosa análise espacial. Esse modelo foi utilizado no plano regional de uso do solo para a Costa Norte, estado de Nayarit, México. Os dados básicos para o modelo foram obtidos durante *workshops* de planejamento, que contavam com a participação de representantes dos atores e decisores, com o intuito de produzir uma série de critérios de uso do solo. A partir daí, a AMC foi utilizada para determinar *scores* de aptidão para cada setor. De modo análogo a outros estudos (EASTMAN *et al.*, 1993; RAMOS, 2000), cada *pixel* (célula) da representação da área do SIG *raster* foi avaliado de acordo com a sua aptidão para um uso particular, e cada camada (*layer*) representou um critério de aptidão. Em seguida, uma avaliação multiobjetivo (AMO) agregou parcelas do terreno em grupos de aptidão, baseados na AMC de cada setor. Finalmente, grupos de aptidão de uso do solo são associados a conflitos ambientais em termos da aptidão relativa entre os grupos. Assim, os usos do solo podem ser alocados em um padrão que minimize conflitos e maximize o consenso entre os atores.

Em síntese, através da AMC, se existe um conflito entre os atores eles podem negociar os parâmetros subjetivos, como os pesos associados aos critérios, antes de se adotar uma série comum de valores. Também é possível repetir o processo de AMC e então selecionar, para cada grupo diferente de atores, uma solução que se adapte as suas necessidades específicas. Os resultados da AMC podem ser apresentados em mapas, mostrando a distribuição espacial das melhores alternativas. As diferentes partes envolvidas podem então discutir e comparar os resultados sobrepondo esses mapas, que são na verdade representações geográficas das suas próprias preferências. A obtenção

de um consenso nos parâmetros subjetivos pode aumentar a aceitação do resultado final pelos atores.

### ***4.3 Autômatos Celulares (Cellular Automata, CA)***

O aumento de recursos computacionais disponíveis propiciou o destaque das técnicas emergentes de análise espacial, dentre as quais estão incluídos os modelos baseados em *Cellular Automata* (CA), que embora não sejam necessariamente novos, ganharam destaque apenas nos últimos anos do século XX. Este conjunto de técnicas possui importante papel para o planejamento urbano e de transportes, no desenvolvimento de estratégias eficientes para a gestão do volume cada vez maior de dados que hoje se colocam a disposição dos planejadores.

RAMOS & SILVA (2002) afirmam que as técnicas emergentes seguem um padrão de desenvolvimento: inicialmente há uma forte contribuição ao desenvolvimento teórico, seguido ou acompanhado da criação de ferramentas para sua utilização. Uma série de estudos de caso, em seguida, permitem detectar e confirmar o bom desempenho e adequação para solução de problemas práticos, permitindo, finalmente, o início do processo de transferência do conhecimento e técnicas para equipes de planejamento públicas e privadas. No processo descrito acima, os modelos de CA para fins de simulação dinâmica encontram-se atualmente numa fase de transição do estágio inicial, em que se dá a consolidação das teorias que fundamentam a técnica, para o estágio em que se desenvolvem os primeiros estudos de caso por pesquisadores.

#### ***4.3.1 Modelos de Cellular Automata para Simulação da Dinâmica Urbana***

Os modelos CA procuram explicar alguns fenômenos urbanos através de regras simples, permitindo aos seus componentes interagir dinamicamente até o fenômeno macroscópico emergir (TAYLOR, 1992). Apresentam comportamento semelhante ao do corpo humano, no qual regras codificadas no nosso DNA especificam o comportamento para o desenvolvimento de nossa biologia. Os produtos deste desenvolvimento interativo no nível genético são órgãos, sistemas e características físicas – que apresentam pouca semelhança com os componentes originais do nosso DNA. O sistema nervoso central, por exemplo, é significativamente mais complicado

que o conjunto organizado de guanina, adenina, timina e citosina no nosso genoma (TORRENS, 2000).

É relativamente fácil generalizar as especificações básicas de CA para representar sistemas urbanos. O espaço da célula, na qual a automação celular opera, pode ser considerado equivalente aos territórios urbanos. A malha pode representar as estruturas espaciais e os estados da célula podem representar atributos do espaço territorial como, por exemplo, densidade populacional (TORRENS, 2000). As células, sobre as quais são aplicadas regras de transição qualitativas ou quantitativas que determinam quando e porque o estado de uma célula se altera, geralmente possuem tamanhos e formatos idênticos (*regular tessellations*) (PEDROSA & CÂMARA, 2002).

A construção de um modelo CA destinado a simular um problema específico real, tal como a dinâmica de crescimento populacional, deve obedecer a algumas escolhas. Dentre elas, as mais importantes são: a geometria da rede, o tamanho da vizinhança, condições de fronteira, condições iniciais, classe de estados e regras de transição (RAMOS & SILVA, 2003).

A geometria da rede consiste da dimensão e forma desta. Na maioria dos casos, utiliza-se uma rede quadrada, devido à facilidade de representação e visualização (VIHER *et al.*, 1998). Entretanto, a maioria dos objetos das cidades não é regular e a utilização de redes irregulares aumentaria o realismo dos modelos. A vizinhança na qual as células podem interagir consiste na própria célula e de um conjunto de células adjacentes. Exemplos de vizinhança são a de Moore, na qual oito células formam um quadrado em torno da célula, e a de von Neuman, na qual quatro células adjacentes a uma célula formam uma cruz centrada nesta. As condições de fronteira permitem que o CA possa ser simulado no computador, pois a definição formal de CA exige que a rede seja definida em todas as dimensões (produzindo uma rede infinita). A condição inicial é o cenário de partida para a análise do problema real. A classe de estados das células, a qual pode representar qualquer característica a elas atribuídas, como uso da terra (residencial ou comercial), densidade populacional, entre outras, é de tamanho finito. As regras de transição podem ser determinadas para refletir como o fenômeno real acontece, e podem então ser interpretadas como algoritmos na simulação. Elas especificam o comportamento das células com a evolução do tempo, decidindo as futuras condições dessas células (TORRENS, 2000).

Depois de efetuadas as escolhas, deve-se analisar a adequação do modelo de CA para a simulação do problema específico real, considerando suas diversas vantagens e desvantagens, detalhadas no item a seguir.

#### 4.3.2 Vantagens e Desvantagens do Uso dos Modelos CA

A comparação entre os modelos CA e a maioria dos modelos desenvolvidos até a atualidade revela propriedades vantajosas para o emprego de CA no estudo de sistemas urbanos, conforme destacado por TORRENS (2000):

- *Capacidade de, aplicando um pequeno número de regras ou leis a objetos de nível local, gerar uma complexidade surpreendente na forma agregada;*
- *Transparência: os usuários são capazes de compreender o procedimento que produz os resultados a partir dos dados;*
- *Habilidade em replicar resultados;*
- *Resolução adequada à visualização;*
- *Capacidade de considerar a vizinhança das células, ao fazer uso implícito da complexidade espacial (WHITE et al., 1997);*
- *Descentralização;*
- *Afinidade com novas técnicas de análise espacial;*
- *Dinamismo (fenômenos espaciais dinâmicos são melhor representados por modelos dinâmicos);*
- *Simplicidade;*
- *Ambiente amplamente visual para simulação;*
- *Permite o uso de escalas de tempo múltiplas, adequando a simulação à escala de tempo necessária para o problema a ser resolvido no planejamento urbano (apesar de o tempo ainda ser representado em intervalos discretos, nos modelos de CA os intervalos podem ser pequenos o suficiente para representar o dinamismo da vida real, caso seja necessário e os dados permitam).*

O' SULLIVAN & TORRENS (2000) destacam, no entanto, a necessidade de mudanças ao formalismo do CA para adaptá-lo ao sistema urbano real, devido a algumas de suas características, a saber:

- *Dificuldade de descrever toda a atividade urbana numa célula através de propriedades apenas qualitativas;*
- *Num CA formal cada mudança de estado deve ser local e não são permitidas ações à distância;*
- *Não é realista admitir apenas interações locais em redes relativamente grosseiras (com resolução superior ou igual a 100 m);*
- *Redes não-regulares: hidrografia e terras não-ocupáveis são exemplos óbvios que introduzem irregularidade e assimetria ao sistema;*

- *A malha quadrada é muito simplificada para representar cidades reais porque a maioria dos objetos nas cidades não é regular. Para proporcionar maior grau de realismo, pesquisadores introduziram várias malhas de estruturas irregulares.*

Decidindo-se pela aplicação de CA para modelar um sistema urbano real deve-se proceder à construção do modelo, que se inicia com a definição dos estados das células. No próximo item é detalhado o procedimento adotado para esse fim no presente estudo.

#### 4.3.3 Definição dos Estados das Células nos Modelos CA

RAMOS & SILVA (2003) desenvolveram a metodologia descrita a seguir para definição dos estados das células baseada na relação entre a densidade dos setores e a densidade de seus vizinhos. O primeiro passo da análise é a estimativa dos valores da correlação espacial entre as células, que utiliza três elementos básicos:

- *Matriz de proximidade espacial ( $W$ ) – matriz de dimensões  $n \times n$  na qual cada elemento  $p_{ij}$  recebe valor 1 se as zonas  $i$  e  $j$  são vizinhas e 0 no caso contrário. A matriz é normalizada através da divisão de cada elemento igual a 1 da linha pela soma total da mesma linha.*
- *Vetor de desvio ( $Z$ ) – cada elemento do vetor é obtido pela subtração da média total pelo valor do atributo de cada zona.*
- *Vetor de médias ponderadas ( $W_Z$ ) – produto de  $W$  por  $Z$ . Cada elemento do vetor é a média dos desvios dos vizinhos à zona  $i$ .*

Como base nestes elementos pode-se calcular o índice de correlação espacial global denominado  $I$  de Moran. Esse coeficiente, que varia de  $-1$  a  $+1$  e tem um valor esperado próximo a zero para um universo grande na ausência de autocorrelação, é calculado através da equação:

$$I = \frac{Z^t W_Z}{Z_t Z} \quad (4.1)$$

Onde  $t$  denota vetor transposto.

Um exame cuidadoso da expressão de  $I$  sugere que o coeficiente de Moran possa ser interpretado como um coeficiente de regressão linear, visualizando  $W_Z$  como variável independente. Desta forma,  $I$  representaria a inclinação da reta ajustada aos pontos e permitiria analisar a variação de  $W_Z$  em relação a  $Z$ . Se a inclinação for zero,  $W_Z$  não varia em relação a  $Z$ , não havendo relação entre o valor da característica analisada numa zona particular e o valor da mesma característica nas zonas vizinhas. Se

a inclinação for positiva,  $W_Z$  sofre um acréscimo se o valor de  $Z$  aumenta. Se a inclinação for negativa,  $W_Z$  decresce quando o valor de  $Z$  aumenta.

Além do Índice I global, há quatro combinações possíveis entre  $W_Z$  e  $Z$  que podem definir quadrantes em um gráfico, e que reproduzem as situações individuais das células analisadas, como segue:

- *Q1: altos valores de  $Z$  e  $W_Z$*
- *Q2: baixos valores de  $Z$  e  $W_Z$*
- *Q3: alto valor de  $W_Z$  e baixo valor de  $Z$*
- *Q4: alto valor de  $Z$  e baixo valor de  $W_Z$*

Para fins da modelagem aqui proposta, o estado de cada célula é definido baseando-se no quadrante a que ela pertence. Assim, as células pertencentes aos quadrantes Q1, Q2, Q3 e Q4 são classificadas, respectivamente, nos estados 1, 2, 3 e 4. A partir das mudanças nestas condições é que se procura identificar regras de transição que permitam construir o modelo aqui almejado. Para este fim são utilizados, no presente estudo, as Redes Neurais Artificiais (RNA), que constituem o tópico abordado no próximo subitem.

#### ***4.4 Redes Neurais Artificiais (RNA)***

Pode-se dizer que o desenvolvimento de sistemas de inteligência artificial teve início a partir do momento em que se tentou simular as atividades do cérebro humano através de máquinas. Os computadores convencionais mostram-se capazes de executar seqüencialmente tarefas que estejam programadas em sua memória. São, por exemplo, muito mais rápidos e precisos do que o cérebro humano no cálculo de operações matemáticas. Porém são pouco eficientes na execução de funções aparentemente simples para o ser humano como, por exemplo, o reconhecimento de padrões visuais.

Os neurocomputadores, por outro lado, buscam modelar a estrutura do cérebro do homem, bem como a forma pela qual ele é capaz de processar informações. Para atingir este objetivo, é preciso uma estrutura computacional diferente, que, tal como o cérebro do homem, possua uma grande quantidade de unidades de processamento, altamente conectadas, operando de forma paralela (BRONDINO, 1999).

Apesar dos primeiros trabalhos mais relevantes sobre Redes Neurais Artificiais datarem de 1943, apenas mais recentemente é que a área ganhou grande interesse da comunidade científica. Segundo QUEIROZ (1999), o conceito de “novo” vem principalmente do grande impulso adquirido com o aparecimento de novos paradigmas, do desenvolvimento da tecnologia dos computadores – com máquinas cada vez mais rápidas e baratas – e de *software* específico, e de uma análise bem fundamentada em métodos científicos desenvolvida a partir do início dos anos 80.

As Redes Neurais Artificiais constituem um método de solução para problemas de inteligência artificial, através da construção de um sistema com circuitos que simulem o cérebro humano, aprendendo, errando e fazendo descobertas. São sistemas paralelos distribuídos, compostos por unidades de processamento simples (nós) que calculam determinadas funções matemáticas (normalmente não-lineares). Essas unidades geralmente são conectadas por canais de comunicação que estão associados a determinado peso. As unidades fazem operações apenas sobre seus dados locais, que são entradas recebidas por suas conexões. O comportamento “inteligente” de uma Rede Neural Artificial vem das interações entre as unidades de processamento da rede (BRAGA *et al.*, 1998).

Segundo BLACK (1995), dentre os inúmeros modelos de RNA encontrados na literatura, três merecem destaque. São eles: o modelo *backpropagation* (McCLELLAND & RUMELHART, 1988), *counter-propagation* (HECHT-NIELSEN, 1987) e o sistema de memórias associativas bi-direcionais (KOSKO, 1988, 1992). A exemplo do que fez o próprio BLACK (1995), o modelo aqui empregado é do tipo *backpropagation*, um dos mais utilizados no treinamento de redes de camadas múltiplas, ou MLP (*Multilayer Perceptron*), que consiste de unidades de Perceptrons (concebidos por ROSENBLATT, 1958) arranjadas em camadas. Nas redes MLP, portanto, existe mais de um neurônio entre alguma entrada e alguma saída, o que confere às mesmas um poder computacional muito maior do que aquele apresentado pelas redes sem camadas intermediárias. A solução de problemas não-linearmente separáveis passa pelo uso de redes com uma ou mais camadas intermediárias.

Os paradigmas de aprendizado definem a maneira como a rede se relaciona com o ambiente e se dividem em três grupos principais: supervisionado, não-supervisionado e híbrido. Para o aprendizado supervisionado, apresenta-se à rede, na



fase de treinamento, um conjunto de entradas acompanhadas de suas respectivas saídas, com o objetivo de minimizar o erro, que é uma função da diferença entre a saída desejada e aquela fornecida pela rede. O método *backpropagation* (HINTON *et al.*, 1986) é um exemplo deste paradigma. No aprendizado não-supervisionado a rede aprende sozinha, sem uma mensagem de erro, e é necessário que entradas parecidas sejam apresentadas à rede para que esta possa extrair características estatisticamente relevantes. O aprendizado híbrido, por sua vez, consiste de uma combinação dos aprendizados supervisionado e não-supervisionado (BRONDINO, 1999).

No caso do algoritmo *backpropagation*, quando um padrão é apresentado à rede pela primeira vez, esta produz uma saída aleatória. A diferença entre esta saída e a desejada constitui o erro. A intenção do trabalho de treinamento é diminuir o valor deste erro, ajustando o valor dos pesos a cada nova iteração (RAIA Jr., 2000). Tal ajuste depende de variáveis como a taxa de aprendizado e o momentum. Segundo RAIA Jr. (2000), o valor da taxa de aprendizado determina o quão suavemente se dará a atualização dos pesos. O termo *momentum* pode aumentar a velocidade do aprendizado e tem por característica acelerar o treinamento.

O desempenho de um modelo é medido pela sua taxa de erro. Para o cálculo dessa taxa de erro existem várias técnicas, dentre as quais a mais comum é a que divide o conjunto de dados em 50 % dos dados no subconjunto de treinamento, 25 % dos dados no subconjunto de validação e 25 % dos dados no subconjunto de teste. O conjunto de treinamento é utilizado para o aprendizado da rede neural. O de validação é usado para a observação da eficácia da rede quanto à capacidade de generalização durante a fase de treinamento e o conjunto de teste, por fim, serve para a verificação do comportamento da rede sob situações reais de utilização.

#### *4.4.1 Redes Neurais Artificiais no Planejamento Urbano e de Transportes*

A partir da década de 1990, o uso de Redes Neurais Artificiais em planejamento urbano e de transportes expandiu-se significativamente, como demonstram alguns exemplos aqui citados. De acordo com DOUGHERTY (1995), na área de Engenharia de Transportes, as redes neurais têm sido aplicadas em diversos temas, a saber: comportamento dos motoristas, manutenção de vias, detecção de veículos, análise do padrão de tráfego, operações de transporte de mercadorias, previsão

de tráfego, política e economia de transportes, transporte aéreo, transporte marítimo, veículos submarinos, operações com metrô e controle de tráfego.

No Brasil, BRONDINO (1999), por exemplo, estudou a influência da acessibilidade no valor de lotes urbanos através do uso de redes neurais; RAIA Jr. (2000) estudou a acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e SIG; COSTA (2001) utilizou as RNA para avaliar o consumo de energia com transportes em cidades do estado de São Paulo; e BOCANEGRA (2002) pesquisou procedimentos para tornar mais efetivo o uso das redes neurais artificiais em planejamento de transportes.

#### 4.4.2 EasyNN-plus<sup>®</sup>

Muitos dos passos necessários para construir e utilizar redes neurais são automatizados pelo programa EasyNN-plus<sup>®</sup>, que foi selecionado para utilização no presente estudo. A estrutura de rede empregada pelo EasyNN-plus<sup>®</sup> é a *Multilayer Perceptron*, com até 3 camadas intermediárias (*hidden layers*). Segundo o criador do programa, uma rede com uma camada intermediária geralmente produz resultados melhores do que redes com mais camadas intermediárias. Apenas casualmente duas camadas intermediárias serão necessárias, porém uma rede neural com uma camada deverá sempre ser testada primeiro (WOLSTENHOLME, 2002).

O EasyNN-plus<sup>®</sup> utiliza a função sigmóide logística para a construção dos modelos a serem analisados e o algoritmo *backpropagation* para o aprendizado. Para cada conjunto de dados a ser rodado, o simulador do programa estabelece valores para a taxa de aprendizagem e para o *momentum*, que podem ou não ser alterados pelo usuário. Posteriormente, de posse dos dados observados e dos estimados, pode-se calcular o erro para o conjunto. O processo consiste em criar diferentes redes e escolher a que produz o menor erro de estimativa (WOLSTENHOLME, 2002). Para avaliar os erros de estimativa existem diferentes procedimentos amplamente utilizados, alguns dos quais são comentados a seguir,

#### 4.4.3 Medidas de Desempenho

Várias medidas podem ser adotadas para avaliar o desempenho dos modelos de RNA, dentre as quais estão:

- **Gráfico de pontos (Scattergram)** – os dados são plotados como pontos em um gráfico, com o propósito de tornar explícito o quão próximo estão as previsões dos valores alvo correspondentes. Neste caso, no eixo  $x$  pode-se plotar o valor previsto e no eixo  $y$  o valor observado correspondente. De maneira ideal, os pontos devem coincidir com uma linha de  $45^\circ$  que passe pela origem dos eixos (BOCANEGRA, 2002).
- **Erro Quadrático Médio (EQM)** – esta medida, fácil de se computar e que possui um apelo intuitivo muito forte, é na realidade uma medida de exatidão da previsão em termos de valores absolutos ou relativos. O cálculo é feito da seguinte maneira:

$$EQM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{observado}_i - \text{estimado}_i)^2 \quad (4.2)$$

- **Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)** – esta medida de desempenho, adotada por BLACK (1995), consiste no cálculo da raiz quadrada do EQM.

## **5 DIRETRIZES CONCEITUAIS**

---

---

*Nesse capítulo são apresentadas algumas diretrizes conceituais que devem ser incorporadas ao Sistema de Apoio à Decisão Espacial a ser desenvolvido. A parte inicial é dedicada à apresentação de alguns conceitos relativos ao Planejamento Estratégico. A seguir, são destacadas algumas considerações a respeito de Planejamento e Demografia, focalizando as tendências atuais de diminuição do crescimento populacional. Logo após, apresentam-se algumas reflexões acerca dos problemas comumente encontrados no planejamento das cidades, relativos ao Cadastro e Endereçamento Urbanos. No final do capítulo são discutidos os aspectos (e diferenças) entre um Sistema e uma Metodologia de Apoio à Decisão Espacial.*

É um fato amplamente divulgado que o Brasil apresenta grande escassez de recursos para investimento em infra-estrutura básica e, conseqüentemente, na melhoria da qualidade de vida da população. Para agravar a situação, os processos de planejamento (urbano, regional e estratégico) foram relegados a um plano secundário pelos administradores, tornando cada vez mais premente a busca por alternativas que possam alterar esse quadro preocupante e sobrepujar essas dificuldades.

Segundo BARTOLI *et al.* (1996) “*O intenso processo de urbanização e os diversos setores que interferem no movimento das e nas funções urbanas, seja no âmbito social, econômico, político ou físico-espacial, são fatores que motivam a reformulação e a constante revisão do planejamento estratégico*”.

Para ROSADO (2000), o modelamento das questões urbanas visa informar ao tomador de decisão o processo pelo qual evolui a expansão que está ocorrendo dentro de seu ambiente e, por conseqüência, o quão carente encontra-se uma determinada área sob estudo. Indica, deste modo, a necessidade de alocação de recursos ou de alguma forma de indução do crescimento e/ou uso do solo que possam equilibrar o desenvolvimento do ambiente urbano como um todo.

Além das questões teóricas mais amplas já comentadas até aqui, há alguns aspectos conceituais particulares que têm impacto direto no desenvolvimento dos SAD, como se discute a seguir, que tratam da utilização dos SIG no planejamento estratégico, da relação entre planejamento e demografia e de algumas características básicas de cadastro e endereçamento necessárias para a implantação de um SADE urbano.

### 5.1 Planejamento Estratégico

Planejamento pode ser definido como o conjunto de ações integradas, situadas no tempo e no espaço, orientadas para a solução de problemas (existentes ou antecipados) ou a implementação de mudanças através do apropriado emprego de recursos (SANCHES, 1997). Planejamento estratégico, segundo DAVIS (1974) “*é aquele que lida com considerações de longo prazo. As decisões a serem tomadas com relação aos negócios em que a organização deva entrar, aos mercados para os quais se devam voltar, as composições de sua pauta de produtos etc.*”

Segundo FERRARI (1997), as atividades de uma organização podem ser classificadas em três níveis: operacional (atividades do dia-a-dia da organização), gerencial (decisões de caráter tático) e estratégico (contribuem diretamente para o cumprimento dos objetivos fundamentais da organização) (Figura 5.1).

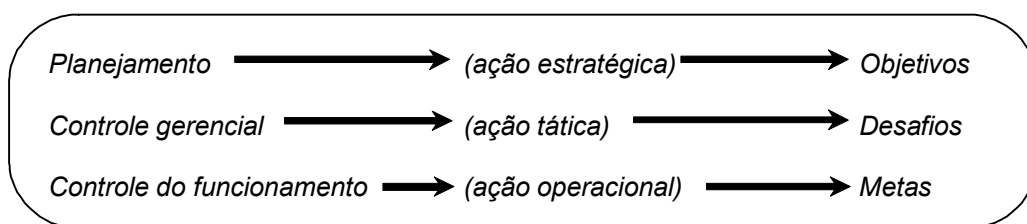


Figura 5.1 – Níveis de organização

Ainda segundo FERRARI (1997), o objetivo básico do planejamento estratégico, que é o nível de planejamento que se almeja com o presente projeto, é buscar respostas a perguntas do tipo “*onde queremos chegar?*” e “*como chegar lá?*”. Do ponto de vista do SIG, essas perguntas podem ser substituídas respectivamente pelos termos “*Visão Estratégica*” e “*Estratégia de implantação*”. *Visão Estratégica* define metas a serem atingidas. Se as metas forem audaciosas, pode ser inviável atingí-las em um único salto, da situação atual para a situação desejada. A *Estratégia de Implantação*

define um caminho viável em direção às metas estabelecidas, tendo em vista o contexto do projeto. Uma *Estratégia de Implantação* pode ser descrita através de dois componentes principais: fases de implantação e diretrizes para o tratamento de riscos. Se a implantação de uma só vez é inviável, devem ser previstas configurações intermediárias do sistema, ou fases, com objetivos bem definidos. Quanto aos riscos, devem ser definidas as precauções a serem tomadas para garantir a viabilização do projeto. As diretrizes estratégicas e os principais riscos à viabilização do projeto podem ser utilizados como uma lista a ser verificada ponto a ponto, ressaltando assim aspectos que precisam ser revistos.

Em síntese, o planejamento estratégico estabelece metas para o projeto. Depois dessa fase, entra em cena o planejamento executivo, cujo objetivo é elaborar um plano de implantação, definindo as atividades necessárias para atingir as metas já estabelecidas, uma seqüência para a execução de tais atividades, um prazo para a execução de cada uma delas, os responsáveis por cada tarefa e o orçamento. Este plano pode ser utilizado primeiramente como um roteiro para a implantação. Uma segunda função do plano de implantação é auxiliar o gerente do projeto a monitorar os eventos (FERRARI, 1997).

## **5.2 Planejamento e Demografia**

Seja na ampliação da rede de postos de saúde e de serviços médicos, seja na extensão da cobertura da rede de abastecimento de água e saneamento básico, ou no provimento de vagas em escolas públicas, é fundamental que o agente público, em qualquer nível de governo, disponha de estimativas da população presente e futura a ser atendida pelos programas. As projeções populacionais permitem estimar o quantitativo de pessoas em cada fase do ciclo vital e, por conseguinte, avaliar a demanda potencial de cada tipo de serviço e a necessidade de oferta de recursos humanos e equipamentos (PATARRA, 1996).

Segundo PATARRA (1991) “*a lógica do planejamento e da demografia (aqui expressa sob a forma de técnicas projetivas) coincidem; trata-se de antecipar os fatos para controlá-los mediante intervenção. O planejamento não pode caminhar sem*

*a projeção, e seu afastamento pode ser o início do afastamento do poder público do compromisso social”.*

JANNUZZI & PASQUALI (1999) discutem a pertinência, viabilidade e aplicação de estudos quantitativos de demanda de serviços e equipamentos sociais para subsidiar a elaboração de planos plurianuais de investimentos e planos diretores de desenvolvimento urbano municipais. Num estudo de caso para a cidade de Campinas (SP), as mudanças da estrutura etária da população são analisadas através das taxas de crescimento dos diversos grupos populacionais segmentados por idade. Os grupos etários de zero a três anos, de quatro a seis anos e de sete a catorze anos têm apresentado taxas negativas de crescimento desde o início década de 90 e assim devem permanecer até 2010, o que os levaria a reunir um contingente cada vez menor no horizonte de projeção. Em 1990, a população infantil (zero a três anos) totalizava cerca de 62 mil crianças; as crianças de quatro a seis anos, 49 mil indivíduos; o grupo de sete a catorze anos, 134 mil. Até 2010 estes efetivos apresentariam uma redução média de até 0,6 % ao ano, chegando no final do período a 59 mil crianças de zero a três anos, 43 mil crianças de quatro a seis anos e 119 mil de sete a catorze anos.

Em contrapartida, a população em idade ativa de 10 anos ou mais (PIA) estaria se expandindo a taxas médias de 1,6 % ao ano no final da década de 90, cifra cerca de 20 % superior à da população em geral. Com isso, a PIA passaria de 672 mil pessoas em 1990 para 807 mil em 2000 e quase 900 mil em 2010. O segmento de idosos com 60 anos ou mais estaria se expandindo a 2,4 % ao ano; no próximo decênio a taxa média de crescimento seria superior a 3 % ao ano.

Estudos como esse mostram que o planejamento urbano não pode desconsiderar as mudanças na estrutura etária da população, especialmente num país em desenvolvimento como o Brasil. Um planejamento eficaz não pode aumentar indiscriminadamente o número de vagas em Creches ou escolas de educação infantil ao longo dos anos, quando num horizonte de 30 anos essa demanda pode vir a diminuir. As projeções demográficas devem ser um dos insumos principais do planejamento urbano, para que os recursos públicos não sejam subtilizados com o tempo. Cabe ao planejador antever esses problemas e analisar a real necessidade de novos investimentos em determinado serviço, ou ainda planejar um redirecionamento dos serviços prestados,

passando a atender um outro tipo de demanda de acordo com as necessidades da população naquele instante.

### ***5.3 Cadastro e Endereçamento***

É estrategicamente importante, no mundo atual, ter acesso rápido a informações corretas e confiáveis. O modo mais rápido de se conseguir isso é através de um sistema de informações, desde que essas informações estejam organizadas racionalmente, o que geralmente pode ser conseguido com o auxílio de computadores. Dessa forma, o gerenciamento de sistemas de informações tornou-se uma das grandes tarefas da informática nos dias de hoje (DAVIS & FONSECA, 1996).

Os sistemas de informações de uma maneira geral, sejam eles informatizados ou não, têm por finalidade representar o mundo real através de modelos constituídos de entidades, objetos, informações e seu inter-relacionamento. Essa representação será mais ou menos precisa de acordo com as necessidades operacionais do sistema, mas em qualquer caso esse sistema estará trabalhando com uma simplificação, um modelo do mundo real que o represente de forma compacta e racional. Portanto, quando se analisa o conteúdo dos sistemas de informações operados hoje por empresas e órgãos públicos apenas serão encontradas, devidamente armazenadas e organizadas pelo computador, aquelas características do mundo real que foram julgadas indispensáveis para a sua caracterização, de acordo com o modelo simplificado. Apesar dessa simplificação, no entanto, constata-se facilmente que a maior parte das informações sobre entidades do mundo real contém alguma forma de referência espacial, principalmente nos sistemas voltados para cadastramento. Cadastros de clientes, fornecedores, estudantes, assinantes, todos eles terão, entre os dados registrados em computador, alguns que servirão para informar sua localização.

Em vista disso, qualquer sistema cadastral terá, entre os dados que gerencia, alguma forma de localização geográfica das entidades por ele representadas. Isso é natural, uma vez que a maioria das entidades do mundo real tem uma localização espacial e freqüentemente existe a necessidade de se estabelecer a comunicação entre os usuários e as entidades cadastradas, o que geralmente se consegue através de informações do tipo endereço, bairro, cidade, estado, telefone etc.



Apesar da freqüência com a qual os sistemas de informação lidam com a localização de entidades, apenas com o advento dos Sistemas de Informações Geográficas tornou-se possível realizar análises e pesquisas apoiadas na distribuição espacial das informações. Mas, para alimentar corretamente um SIG, é necessário transformar as referências espaciais alfanuméricas dos sistemas de informações em posições geográficas concretas, representáveis graficamente. Como conseqüência, o endereço urbano se tornou a forma de referência espacial mais importante para efetivar a ligação dos sistemas de informações tradicionais com os SIG, sendo que os problemas, as dificuldades e soluções desse processo tornaram-se um importante tema de pesquisa (DAVIS & FONSECA, 1996).

O endereço de correspondência é a forma de referência espacial mais encontrada nos sistemas de informação, mesmo nos sistemas não-automatizados. É também a forma de localização espacial mais utilizada pela população, tornando-se a “chave de acesso” mais adequada para armazenar e recuperar informações espaciais em um SIG urbano. Assim, a criação de uma base de endereços para um SIG é um passo fundamental para o sucesso de sua implementação, já que cadastros de atividades, registros de propriedades e dados sobre ocorrências no ambiente urbano geralmente têm o endereço como referência principal.

Especificamente, é necessário estabelecer formas de transformação de endereços, da forma como são informados pela população ou da forma como são armazenados nos sistemas de informações disponíveis em coordenadas geográficas e vice-versa. Segundo EICHELBERGER (1993), no ambiente urbano, de 80 a 90 % dos dados usados pela administração municipal são geograficamente localizáveis. Portanto, a disponibilidade de uma base de endereços em SIG tornará esses dados imediatamente mais úteis, uma vez que, estabelecida a correlação endereço-coordenadas geográficas, será possível georeferenciar com facilidade qualquer entidade para a qual se disponha do endereço e então lançar mão dos recursos tradicionais do SIG para a realização de análises e pesquisas (DAVIS & FONSECA, 1996)

No entanto, a falta de um cadastro de endereços consistente e padronizado é um sério problema na imensa maioria das cidades brasileiras, dificultando imensamente as pesquisas em planejamento urbano que utilizam o georeferenciamento. Ações simples do ponto de vista teórico, como a localização

espacial de demanda de serviços de educação e saúde, tornam-se extremamente complicadas na prática devido a inexistência desse cadastro de endereços, ou mesmo de um padrão de endereçamento a ser seguido. Esse problema não ocorre apenas com cadastros de endereços, se estendendo também a diversos outros tipos de dados.

Segundo JANNUZZI (1995), “*a indisponibilidade de dados espacialmente desagregados, atualizados de forma mais sistemática, para a elaboração de diagnósticos da realidade local, têm limitado a efetiva institucionalização do processo mesmo nos municípios com mais recursos*”. ROSADO (2000) acrescenta ainda que, como em outros trabalhos e como é do conhecimento de pesquisadores, planejadores e tomadores de decisão, a ausência de uma maior quantidade de dados impossibilita a consecução de muitos estudos ou obriga a que os estudos sejam realizados dentro de condições muitas vezes não desejadas.

Ainda em relação aos endereços, um problema comum é que muitos dos SIGs trabalham em seu banco de dados com o número inicial e final de cada segmento que representa o sistema viário, do lado esquerdo e direito, e utilizam basicamente a interpolação linear para localizar números intermediários, obedecendo ao padrão de números ímpares de um lado da rua e pares do outro lado. Todavia, na imensa maioria das cidades brasileiras, essa lógica muitas vezes não é seguida, o que pode deturpar todo o processo de localização de atividades no SIG de uma maneira geral. Para contornar o problema, ROSADO (2000) optou por adotar uma numeração hipotética que pudesse ser utilizada no processo de georeferenciamento, ressaltando que atualmente os municípios que implantaram o seu Plano Diretor já estão preocupados com a necessidade de uma melhor identificação das unidades residenciais e têm adotado como princípio de numeração a distância da residência até um ponto determinado no início do logradouro. Contudo, é sabido que a questão do endereçamento ainda continua sendo um grave problema na imensa maioria das cidades brasileiras, o que certamente irá trazer implicações para o projeto aqui em desenvolvimento.

#### ***5.4 Sistema ou Metodologia de Apoio à Decisão Espacial?***

Durante a fase de revisão bibliográfica desta pesquisa despertou especial atenção o trabalho de JOERIN *et al.* (2001), no qual os autores discutem as diferenças

entre um *Sistema* de Apoio a Decisão Espacial e uma *Metodologia* de Apoio à Decisão Espacial. Um SADE constitui-se em um ambiente que integra sistemas de informações geográficas, modelos analíticos, recursos gráficos para representação do problema, interface amigável ao usuário e recursos para geração de tabelas e relatórios apropriados ao problema que esteja sendo abordado. A princípio, todas essas características devem estar presentes no sistema a ser desenvolvido a partir desse trabalho, que por estar incorporado a um ambiente SIG inclui facilmente a incorporação de dados espaciais, técnicas de análise espacial e geração de mapas, por exemplo. Deve ser destacada também a tendência crescente de se considerar o SIG em si como um SADE, ou os próprios mapas de visualização como ferramentas de apoio à decisão, conforme discutido nos capítulos anteriores.

No entanto, JOERIN *et al.* (2001) afirmam que é necessário um nível muito alto de integração de software e uma interface amigável para caracterizar um Sistema de Apoio à Decisão baseado em computador, o que requer um investimento maior em desenvolvimento de software. No trabalho descrito em JOERIN *et al.* (2001), como não era essa uma das prioridades da pesquisa, os autores definiram o sistema criado para avaliação de aptidão do uso do solo como sendo uma *metodologia* de apoio à decisão ao invés de um *sistema* de apoio à decisão. Os autores afirmam ainda que uma metodologia é algo mais aberto do que um sistema, ao permitir que as ferramentas a serem incorporadas no projeto não sejam preliminarmente definidas, podendo ser escolhidas de acordo com a necessidade de cada caso particular. Nesse sentido, parece que o produto final desse projeto produziria benefícios muito mais amplos e expressivos se gerasse uma Metodologia de Apoio à Decisão do que um SADE propriamente dito, mantendo ainda uma maior coerência com o enfoque de planejamento estratégico que se pretende dar ao trabalho. Assim, no Capítulo 6, são apresentados e discutidos a metodologia e os elementos para a composição da Metodologia de Apoio à Decisão Espacial proposta nesta pesquisa (ainda que o termo “sistema” apareça algumas vezes como uma referência ao conceito inicial de SADE, que acabou por não ser o objeto de desenvolvimento nesta pesquisa pelas razões acima mencionadas).

## **6 METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO ESPACIAL**

---

*A partir da fundamentação teórica estabelecida nos Capítulos 2 e 3, das técnicas e ferramentas apresentadas no Capítulo 4 e das diretrizes conceituais observadas no Capítulo 5 foi possível propor, nesse capítulo, o que se entende por uma Metodologia de Apoio à Decisão Espacial. Através dessa metodologia, são definidas, passo a passo, as ações para se estruturar um Sistema de Apoio à Decisão Espacial. A parte inicial do capítulo é dedicada à delimitação do problema, definição dos objetivos e identificação de métodos e ferramentas potencialmente úteis para o sistema proposto. A metodologia é amplamente detalhada neste capítulo, através de uma divisão em etapas de atuação apresentada no item 6.5. Antes disto, no entanto, algumas etapas preliminares de fundamental importância para a estruturação do sistema são também discutidas nos itens de 6.1 a 6.4, que abordam: o estabelecimento das bases do sistema, a definição da sua abrangência, medidas para avaliação de desempenho e aspectos relativos à caracterização geral da demanda e da oferta. Por fim, é apresentada no item 6.6 uma lista resumida das atividades necessárias para a implementação da metodologia proposta em um estudo de caso.*

Esse trabalho enquadra-se essencialmente na tipologia dos problemas de localização, em particular na localização de equipamentos pontuais, tendo como característica específica a preocupação com os critérios de acessibilidade e cobertura da população (demanda) aos equipamentos urbanos de educação e saúde (oferta). Dado que um problema de localização é essencialmente um problema de avaliação (contínua ou discreta) de localizações de alternativas, e subsequente decisão (tipicamente alocação da demanda) – por isso designado *location-allocation problem* – é necessário definir uma estratégia neste aspecto.

A questão da localização de equipamentos pontuais pode ser abordada sob uma ótica de planejamento territorial, na qual se afigura como básico um modelo de localização que integre os pontos de vista (critérios) do interesse público (consubstanciados na legislação, políticas e prática das instituições públicas a quem

competete decidir a localização dos equipamentos) e do zoneamento do território. Pode ser abordada com base num único critério (situação inverossímil) ou com base em vários critérios, constituindo-se neste caso em um problema de análise multicritério. É, sem dúvida, questão relevante no Brasil, dados os indícios históricos e ainda hoje vigentes de falta de rigor na abordagem da questão da localização de equipamentos urbanos.

Além da questão da localização, a alocação da demanda caracteriza-se como primordial, já que uma correta utilização dos equipamentos existentes desenha-se como preliminar ao investimento em novas unidades. Essa etapa necessita basicamente de bancos de dados bem estruturados para a incorporação ao SIG e, a partir de modelos matemáticos (já incorporados ou a serem incorporados ao SIG), gerar alternativas para melhorar a distribuição da demanda.

Considerando que o objetivo aqui almejado é o desenvolvimento de um Sistema (ou Metodologia) de Apoio à Decisão Espacial para otimizar a distribuição espacial dos serviços de educação e saúde em cidades médias brasileiras, buscando minimizar os custos de transporte (custos de deslocamento), o problema deve ser tratado em pelo menos dois instantes:

- *No presente, otimizando a distribuição da demanda atual com os equipamentos já existentes;*
- *No futuro, indicando a melhor alternativa de localização para novos equipamentos e otimizando a distribuição da demanda futura.*

Mais ainda, com base naquilo que se extraiu da literatura pesquisada e que se encontra parcialmente resumido nos capítulos anteriores, os elementos que podem sustentar e operacionalizar, do ponto de vista instrumental, o desenvolvimento do modelo proposto são:

- *Os modelos teóricos de localização, em particular aqueles que tratam de equipamentos pontuais;*
- *Os modelos matemáticos “tradicionais” de alocação de demanda, para otimizar a distribuição espacial da demanda atual;*
- *Modelos de previsão de demanda, para antecipar necessidades futuras, em termos globais, por novos equipamentos;*
- *Os Autômatos Celulares (Cellular Automata) e as Redes Neurais Artificiais, como modelos para previsão da localização e distribuição espacial da demanda por serviços de educação e saúde;*
- *A Análise Multicritério, como ferramenta de avaliação de alternativas, particularmente interessante quando se exploram diversas hipóteses de*

*combinação de critérios visando o desenvolvimento de cenários de avaliação;*

- *Os Sistemas de Informação Geográfica, como ambiente de desenvolvimento de modelos de natureza espacial, possuidores de potentes ferramentas de análise e processamento espacial, além de se configurar como plataforma operacional para os demais modelos mencionados.*

Defende-se aqui que a reunião destes elementos deve então compor o sistema proposto de forma esquemática na Figura 6.1, onde estão implícitos dois níveis de abrangência. Em um deles encontra-se definida a abrangência “social” do sistema, que neste caso se limita às infra-estruturas de educação e saúde. Para cada um destes níveis da chamada dimensão “social”, podem ser detalhados ainda outros subníveis de abrangência. É o caso dos diferentes níveis de ensino (creches, primeiro grau, segundo grau), por exemplo. O mesmo pode-se dizer do sistema de saúde. Na outra dimensão do problema, que poder-se-ia chamar de dimensão temporal, o problema foi aqui dividido em três níveis, uma vez que o futuro foi desmembrado em dois: próximo ou distante. Esta divisão temporal reflete-se no tipo de análise que se deve conduzir em cada fase, que é, por sua vez, fortemente condicionada pelos dados disponíveis.

As seis etapas de ação apresentadas na Figura 6.1 são identificadas por algarismos romanos, de forma a facilitar a compreensão das referências a elas feitas no texto que segue. A metodologia apresentada nesse capítulo consiste basicamente na apresentação dos elementos que devem ser considerados para cada uma das seis etapas propostas, incluindo os dados necessários *a priori*, os dados existentes, os ajustes necessários para se utilizar os dados existentes, as técnicas sugeridas *a priori*, as técnicas disponíveis e os ajustes necessários para se utilizar as técnicas disponíveis. Paralelamente, são destacadas as dificuldades gerais, problemas específicos e possíveis soluções para os casos que podem ser gerados na construção efetiva do sistema proposto.

Há, no entanto, algumas etapas preliminares àquelas relacionadas na Figura 6.1, que por sua importância para o sistema merecem aqui também particular atenção. Elas dizem respeito ao estabelecimento das bases do sistema (item 6.1), à definição da abrangência do sistema (item 6.2), às medidas de desempenho a serem nele utilizadas (item 6.3) e à caracterização geral da demanda e da oferta (item 6.4).

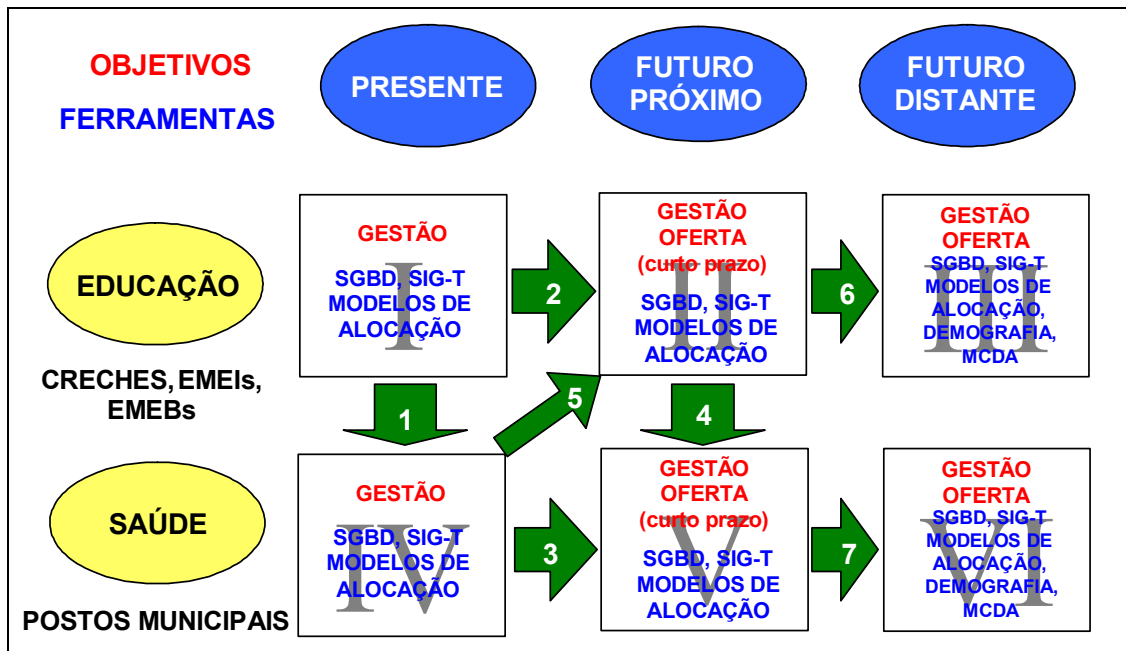


Figura 6.1 – Etapas do projeto

### 6.1 As Bases do Sistema

Uma importante etapa preliminar do sistema proposto é aquela que leva ao estabelecimento das bases do sistema. São elas: a busca por apoio institucional, tão sólido, permanente e abrangente quanto possível; e a identificação, delimitação ou construção dos bancos de dados que alimentarão todas as análises posteriores. Face à sua relevância para o presente estudo, alguns dos principais aspectos destes elementos são discutidos na seqüência.

#### 6.1.1 A Base Institucional

A primeira etapa para a estruturação do SADE é a busca de apoio institucional para o projeto. É primordial para o desenvolvimento do projeto que a Prefeitura, em particular, seja parceira ativa dos trabalhos, incluindo todas as secretarias direta ou indiretamente envolvidas no mesmo: Secretaria de Educação, Secretaria de Saúde, Secretaria de Planejamento (e Cadastro), entre outras. Conforme já mencionado, a existência de dados e a disponibilização dos mesmos é, na maioria das vezes, um fator crucial para o desenvolvimento de projetos dessa natureza. É preciso, por exemplo, que a Secretaria de Educação forneça os dados de matrículas de todos os alunos, contendo principalmente o endereço residencial. Outros dados podem ser relevantes, dependendo do enfoque que se venha a dar ao projeto, mas a informação essencial é sem dúvida a

dos endereços dos alunos. Da mesma forma, a Secretaria de Saúde precisaria coletar e disponibilizar pelo menos os dados de nascimentos ocorridos na cidade. Também aqui o endereço residencial do recém-nascido é o aspecto mais valioso para o fim a que se destinam os dados dos nascimentos no sistema desenhado. É assim, através do apoio institucional, que se torna possível a construção da base operacional do sistema, que se assenta nos dados de demanda e oferta.

### *6.1.2 A Base Operacional*

Embora se possa dizer, de forma genérica, que a base do sistema é formada por dados que de certa maneira sirvam para caracterizar a demanda e a oferta dos serviços considerados, estes podem advir de diferentes origens e podem apresentar diferentes níveis de agregação, refletindo assim distintos aspectos da demanda e da oferta. Um exemplo claro disto está nas possíveis formas de caracterizar a demanda por educação segundo a sua distribuição espacial. Pode-se definir a demanda simplesmente pelo total de alunos matriculados em uma cidade. Pode-se também identificá-la segundo subtotaís de alunos por regiões da cidade. E, mais ainda, pode-se caracterizá-la ponto a ponto, segundo o endereço residencial de cada aluno, ou seja, em locais precisos do espaço geográfico.

Como cada um destes níveis pode ser importante para o sistema proposto, a busca por dados no maior nível de desagregação possível deve ser sempre o objetivo a perseguir, já que a posterior agregação aos níveis superiores é sempre matematicamente factível. Neste sentido, já que se busca identificar a demanda pontualmente, uma base de endereços georeferenciada é fundamental para o sistema, principalmente para as análises ao nível operacional, embora também úteis para os níveis tático e estratégico. Nestes dois últimos níveis, projeções de demanda a médio e longo prazo realizadas com dados demográficos agregados podem ser comparadas e eventualmente refinadas com projeções realizadas com dados desagregados espacialmente, como dados de nascimentos, por exemplo. É por este motivo que dois elementos, dados georeferenciados e dados demográficos, importantes isoladamente e fundamentais para o SADE proposto quando combinados, são comentados em maior nível de detalhe a seguir.



### *Cadastro Urbano e Georeferenciamento*

Paralelamente a obtenção de dados, é preciso que se disponibilize um cadastro urbano bem elaborado com os endereços da cidade. A situação ideal seria que esse cadastro fosse mantido pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura, sendo único para todos os tipos de estudos realizados e com a garantia de que fosse continuamente atualizado. Ainda mais importante do que a montagem de um cadastro urbano, a sua atualização é fundamental para que todo o esforço de montagem não tenha sido em vão. No entanto, na realidade atual do Brasil ainda é muito pouco provável que as prefeituras já disponham de cadastros confiáveis. Nesse caso, a montagem do cadastro é um passo muito importante do projeto. Uma alternativa utilizada para este fim por LIMA *et al.* (2001) na cidade de São Carlos, e que pode ser repetida em outras cidades, é a utilização do cadastro de endereços do serviço de água e esgoto da cidade. Os resultados do método, através do qual são incorporadas as coordenadas geográficas de todos os pontos de fornecimento de água na cidade e respectivos endereços numa base do SIG, mostram-se bastante razoáveis, desde que o fornecimento de água atinja a quase totalidade da população (o que já é uma realidade na maioria dos municípios brasileiros). Dessa forma, comparando o endereço do recém-nascido ou aquele registrado no ato da matrícula de um aluno no estabelecimento de ensino com o cadastro de endereços do serviço de água da cidade é possível fazer o georeferenciamento dos usuários do sistema. No caso dessa hipótese ser a adotada, também é preciso estabelecer uma sólida parceria com a empresa que administra o sistema de fornecimento de água da cidade, de forma a assegurar que esse cadastro também seja continuamente atualizado, para que os usuários residentes em novos loteamentos que vão surgindo na periferia da cidade sejam imediatamente incorporados ao sistema.

Até esse ponto do projeto não foi utilizada nenhuma ferramenta com tecnologia excessivamente sofisticada, apenas foi considerada a aquisição de dados e formatação dos mesmos para utilização no sistema. Apesar disso, essas etapas acabam sendo as mais extensas e talvez as mais importantes de todo o projeto, uma vez que todas as análises conduzidas *a posteriori* são fortemente influenciadas pelas condições de obtenção e tratamento dos dados. Devido a isso, é recomendável que se reserve um considerável período de tempo para essa fase, preocupando-se em obter um cadastro operacional e uma infra-estrutura eficiente em diversas unidades e estruturas da administração municipal. Recomenda-se e incentiva-se a estruturação de um sistema

computacional em toda prefeitura, onde os registros de nascimentos e as matrículas dos alunos sejam feitas diretamente no computador, em um gerenciador de banco de dados que tenha a ele incorporado o cadastro dos endereços. Dessa forma seria garantido, no ato da matrícula, que o endereço do usuário constaria na base de dados do cadastro urbano, tornando o processo de georeferenciamento quase que imediato.

### *Dados Demográficos*

Apesar da importância salientada anteriormente do georeferenciamento e do cadastro urbano, muitas vezes a falta de organização e planejamento da administração pública torna quase impossível a obtenção dos dados de maneira operacional, seja na montagem do cadastro urbano, seja no georeferenciamento de alunos e recém-nascidos ao longo dos últimos anos (dados necessários para o início das análises). Face a esse cenário em alguns casos desolador, uma alternativa operacional é a utilização de dados demográficos (relativos à população por setor e por faixa etária dos censos do IBGE ou ainda agregados para toda a cidade) para a implantação da metodologia de planejamento.

O uso de dados demográficos não chega a se constituir em um problema para o sistema proposto já que eles seriam, a princípio, necessários para as etapas de planejamento a médio e longo prazo (futuro próximo e futuro distante). É a partir da série histórica de dados de população (em valores absolutos e em taxas de crescimento anuais) que se torna possível estimar o número de nascimentos anuais até o ano que define o horizonte do projeto (por exemplo, o ano em que se prevê que ocorrerá a estabilização da população). Para isso, seriam necessários apenas dados agregados ao nível do município, largamente disponibilizados, no caso dos municípios paulistas, pelo SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados), com informações anuais a partir do final do século XIX (SEADE, 2002).

Mais ainda, na hipótese de não se obter os dados georeferenciados junto à prefeitura, torna-se necessária a utilização de dados dos censos Demográficos do IBGE agregados ao nível dos setores censitários, já que essa é a distribuição espacial mais detalhada para a qual se dispõe de dados regulares e confiáveis. A partir desses dados e de algumas hipóteses simplificadoras é possível obter a distribuição espacial de nascimentos e outras faixas etárias que possibilitem a implementação da metodologia

preconizada. Ainda que essas simplificações levem a alguma distorção nos resultados absolutos, elas podem ser úteis para uma primeira aplicação (ou sondagem), sendo esta refinada posteriormente à medida que dados mais precisos sejam disponibilizados. No entanto, cabe ainda ressaltar que há um tipo de informação que só está disponível quando se dispõe de dados georeferenciados: a unidade de atendimento (escola ou posto de saúde) utilizada pelo usuário. Para os estudos relacionados principalmente ao Presente (Etapas I e IV), essa é uma informação fundamental e que não pode ser estimada.

## ***6.2 Definição da Abrangência do Sistema***

A segunda etapa preliminar do sistema proposto é aquela que leva à delimitação da abrangência do sistema. Ela se dá em duas dimensões, como se discutiu anteriormente tendo como referência a Figura 6.1: a dimensão “social” (educação e saúde) e temporal (presente, futuro próximo e futuro distante). A exemplo do que se fez com as bases do sistema, alguns dos principais aspectos destes elementos são discutidos na seqüência.

### ***6.2.1 A Dimensão “Social”***

A partir do contato e do esperado apoio do poder público, deve-se definir o campo de atuação no qual o SADE proposto deverá atuar. No caso do sistema de educação, o envolvimento da Prefeitura sugere que o sistema deverá abordar as crianças das Creches e das EMEIs (Escolas Municipais de Educação Infantil). No caso do ensino de 1º Grau, a inclusão no sistema fica condicionada à disponibilização dos dados das Escolas da Rede Estadual de Educação, uma vez que nesse nível de ensino a maioria das escolas é gerida pelo governo Estadual. A definição do “público-alvo” das Creches e EMEIs está diretamente ligada à legislação em vigor. No estado de São Paulo, por exemplo, até o ano 2001, as Creches atendiam crianças de 4 meses a 6 anos. Desde então, as Creches são destinadas apenas às crianças de 4 meses a 3 anos e, a partir dos 3 anos, as crianças devem ser encaminhadas às EMEIs. Assim, a opção mais lógica no momento seria trabalhar aqui com essa divisão imposta a partir do ano 2002, ainda que

isso implique em algumas correções em dados reais levantados no ano 2000, pois neste ano havia crianças de 3 a 6 anos utilizando tanto Creches quanto EMEIs.

No caso do sistema de saúde, as análises deverão se concentrar no sistema proposto para o público alvo de crianças de 0 a 6 anos, que são as mesmas que estão sendo consideradas no Sistema de Educação. Nesse caso, as análises são dedicadas especialmente ao atendimento pediátrico e sobretudo à vacinação das crianças. Obviamente, os estudos podem ser estendidos a outras faixas etárias, dependendo da disponibilidade dos dados, adequando-se os níveis de ensino e serviços de saúde oferecidos às especificações das respectivas faixas etárias. Para efeito desse trabalho, no entanto, a metodologia apresentada tratará apenas das Creches e EMEIs e dos serviços de saúde para crianças da mesma faixa etária (0 a 6 anos), ainda que algumas considerações mais genéricas sejam apresentadas no item 6.5.4, que trata do sistema de saúde de modo mais detalhado.

### *6.2.2 A Dimensão Temporal*

Uma tendência demográfica atualmente observada no Brasil, inclusive nas cidades médias, é que, apesar destas apresentarem na sua grande maioria um crescimento em números absolutos da população, a sua taxa de crescimento anual vem decrescendo ao longo do tempo, principalmente quando é considerada a tendência recente de 20 ou 30 anos. Com isso, uma hipótese bastante razoável é que essa taxa de crescimento atinja valores próximos de zero (ou mesmo negativos, com redução da população) daqui a alguns anos. A utilização de modelos demográficos permite estimar o ano em que a taxa de crescimento da cidade será zero, ou seja, instante em que a população da cidade se manterá em patamares constantes e o número de novos nascimentos apenas equilibrará o número de óbitos mais o saldo das migrações (imigrantes menos emigrantes). Como consequência direta desse fato, a tendência natural é que ocorra o envelhecimento gradual da população, ou seja, diminuição da população nas faixas etárias de menor idade. Com isso, deve-se ter cautela quanto à política de abertura de novas unidades escolares e de saúde destinadas às faixas etárias mais baixas da população, uma vez que essa capacidade pode se tornar ociosa a médio e sobretudo longo prazo. Além disso, a própria variação espacial da demanda dentro da cidade pode fazer com que uma unidade de oferta hoje existente venha a apresentar

capacidade ociosa no futuro, caso a demanda pelo seu serviço venha a diminuir na região em que esta unidade se situa.

Nesta etapa, para a implantação da metodologia deve-se definir o horizonte de projeto. Dadas as tendências demográficas atuais do Brasil, sugere-se que o horizonte de projeto esteja associado ao ano em que se dará a estabilização da população na cidade em estudo, doravante denominado ano  $n$ , e que pode ser estimado através de modelos demográficos. Assim, um dos passos iniciais da metodologia é, a partir dos dados históricos da população, obter-se os dados da taxa de crescimento anual, para que a partir daí se estime o ano  $n$  em que a taxa de crescimento anual seja igual a zero. O método aqui adotado é o de extrapolação de tendências em que, após identificada a curva de tendência que melhor se ajusta à série histórica dos dados, ela é empregada para estimar o dado no ano  $n$ . Na seqüência, com a estimativa do ano  $n$ , pode-se então estimar para a cidade em análise, ano a ano, a população total, a das faixas etárias específicas das Creches e EMEIs e o número de nascimentos. Esses dados, combinados com os dados georeferenciados obtidos para o presente (matrículas e nascimentos), serão as variáveis de entrada para o planejamento de médio e longo prazo dos sistemas de educação e saúde.

No caso dos dados demográficos, a definição do período de tempo a ser utilizado na análise como série histórica de referência deve ser considerado caso a caso, buscando-se sempre definir o período que reflita a tendência recente de evolução demográfica. Geralmente, esse período é observado nos últimos 20 ou 30 anos. Em suma, antes de se aplicar mecanicamente métodos de projeções demográficas, como os modelos de extrapolação de tendências, é vital que se realize uma análise prévia dos dados disponíveis com aguçado senso crítico.

Cabe ressaltar que o ano  $n$  não necessariamente deverá ser encarado como o ano de horizonte do projeto, apenas deve ser uma referência para que se tenha noção de quando a população deverá estar estabilizada. Como conseqüência, define-se o instante a partir do qual a população deverá gradativamente ir “envelhecendo”. Apesar desse processo de envelhecimento já começar bem antes do ano  $n$ , esse ano pode ser considerado como um limite para alterações estruturais nos serviços de educação e saúde. Assim, quaisquer alterações que fossem propostas nesses sistemas com fins de planejamento operacional, estratégico ou tático deveriam ser analisadas *a priori* para o

ano  $n$ , avaliando suas conseqüências e a possível ociosidade de novas instalações ou infra-estruturas criadas ao longo do tempo. A partir da estimativa do ano  $n$  deve-se também definir a periodicidade da aplicação da metodologia: se as análises serão feitas ano a ano ou de quatro em quatro anos, por exemplo (para se coincidir com os mandatos da administração pública).

### ***6.3 Medidas de Desempenho***

De vital importância para a utilização do sistema é a definição (ou apresentação) das medidas de desempenho que este pode dispor para auxiliar o tomador de decisão. Diversas medidas podem ser utilizadas (ou geradas) a partir dos dados disponíveis. Aqui, serão apresentadas as medidas utilizadas na aplicação prática conduzida neste trabalho, fortemente relacionadas aos custos com deslocamentos de transportes. Algumas delas são medidas convencionais do planejamento de transportes, divididas entre medidas de acessibilidade, abordadas no item 6.3.1, e cobertura, no item 6.3.2. Outras são desdobramentos menos usuais, como o Índice Global de Acessibilidade (IGA) e algumas variantes, apresentadas no item 6.3.3.

Obviamente, essas medidas de desempenho podem ser alteradas de acordo com os dados disponíveis e de acordo com o enfoque com que se deseja conduzir a análise. No caso de uma análise puramente econômica, por exemplo, variáveis como o custo de instalação de novas unidades assumiria um papel bastante importante. Adicionalmente, diversos enfoques e variáveis podem ser incorporados numa análise multicritério.

#### ***6.3.1 Medidas de Acessibilidade***

Quando se procura otimizar a distribuição espacial da demanda por serviços de educação e saúde do ponto de vista do planejamento de transporte, o objetivo básico é que os usuários realizem os menores deslocamentos possíveis de sua residência até a unidade de oferta (escola ou posto de saúde). Uma vez que os serviços de educação e saúde tratados no sistema são tipicamente não-emergenciais (conforme apresentado no Capítulo 2), os problemas associados à localização da oferta e alocação da demanda são, em geral, de maximização da acessibilidade, aqui considerada apenas

como minimização do tempo ou da distância (uma vez que a questão da atratividade aos pontos de oferta não está sendo considerada). Assim, as variáveis que podem ser consideradas como fundamentais na análise são as que refletem os custos de deslocamento, sejam elas relativas aos deslocamentos totais, individuais ou médios, detalhados a seguir.

Conforme descrito anteriormente, quando se obtém os dados de demanda para um determinado tipo de serviço de forma desagregada para as análises no presente (dados ao nível dos endereços residenciais), é possível calcular o **custo de deslocamento individual** e, entre todos os usuários, o **custo de deslocamento individual máximo**. Em sua hipótese mais básica, o custo de deslocamento de um usuário é admitido como sendo o menor caminho (em unidades de distância), através do sistema viário da cidade, entre sua residência e sua respectiva unidade de atendimento (oferta). Essa variável é bastante utilizada quando o objetivo é maximizar a equidade; nesse caso, comparam-se os valores dos custos de deslocamentos individuais com um valor definido como máximo e pode-se analisar quais são os usuários que têm seus custos acima desse valor máximo. De posse dos custos individuais, é possível calcular o **custo médio de deslocamento** (média e respectivo desvio padrão dos custos de deslocamento individuais), utilizado quando o objetivo é maximizar a acessibilidade. Nesse tipo de análise, o objetivo é melhorar a acessibilidade geral da demanda à oferta, ainda que alguns usuários estejam com custo individual bastante elevado. Também para esse tipo de análise pode ser utilizado o **custo total de deslocamento** (soma dos custos individuais), que indica o total de quilômetros (ou outra unidade de distância) viajados pelos usuários na cidade.

Quando se trabalha com dados agregados, o procedimento de cálculo dessas medidas de desempenho é diferente. O custo total de deslocamento corresponde à soma dos custos totais das unidades de agregação (geralmente setores censitários), que por sua vez são calculados a partir das distâncias dos centróides dos setores até as unidades de oferta, multiplicadas pelo número de usuários por setor. O custo médio de deslocamento é calculado dividindo-se o custo total de deslocamento pelo número total de usuários.

Conhecida a distribuição real da demanda e da oferta no presente e construídos cenários alternativos, tanto de distribuição dos alunos como de possíveis

localizações para novas Creches e EMEIS, geralmente busca-se minimizar os valores de deslocamentos médios e máximos. Pode-se então calcular, em termos relativos, as reduções desses deslocamentos em relação aos valores da distribuição real. Além disso, uma outra variável que pode ser utilizada é a **porcentagem de realocações**, que indica qual a porcentagem de alunos que deveria mudar de unidade de atendimento que freqüenta na distribuição real para que o cenário fosse implantado. Em casos de gestão de demanda atual, única condição para a qual se dispõe de dados desagregados, essa é uma variável importante e o desejável é que essa porcentagem seja a menor possível, uma vez que o processo de mudança de unidade de atendimento não é geralmente bem visto pelos usuários e em alguns casos é bastante penoso.

### 6.3.2 Medidas de Cobertura

Ainda de acordo com os conceitos apresentados no Capítulo 2, ao se tratar de serviços emergenciais o objetivo básico é maximizar a cobertura de uma determinada população em relação a um dado equipamento coletivo. Isso pressupõe a definição de uma **irradiação máxima** (círculo definido em torno do equipamento), dentro da qual o usuário é considerado atendido (ou “coberto”). A partir dessa irradiação máxima pode ser calculada a **porcentagem de cobertura** da população de usuários.

### 6.3.3 Índice Global de Acessibilidade (IGA)

Acessibilidade é um conceito muito amplo e para o qual muitas definições podem ser encontradas na literatura de planejamento de transportes. De particular interesse para este estudo, no entanto, é o trabalho de ALLEN *et al.* (1993), em que foi criado um índice de acessibilidade, denominado “E”, capaz de indicar a acessibilidade de uma região inteira. Isto permite comparações entre regiões, e não apenas entre pontos dentro de uma mesma região. A característica principal desta medida é a definição de acessibilidade somente como uma medida de esforço para superar a separação espacial entre dois pontos dentro de uma área, sendo por isto uma medida simples, que não necessita de muitos dados para o seu cálculo. Em síntese, o índice *E*, ou Índice Global de Acessibilidade (IGA), que pode ser tomado como elemento de comparação de acessibilidade devido à sua capacidade de representar de



forma agregada o nível de acesso de uma região ou da cidade como um todo, nada mais é do que a média de todas as distâncias médias para toda a cidade, conforme a Equação 6.1.

$$E = \frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{N-1} \sum_j C_{ij} \quad (6.1)$$

Onde:

$E$  = Índice Global de Acessibilidade;

$C_{ij}$  = custo percebido pelo viajante entre as zonas  $i$  e  $j$ ;

$N$  = número de pontos utilizados no cálculo (nós da rede viária).

Por sua capacidade de servir como parâmetro de referência para uma cidade inteira, LIMA & SILVA (1999) utilizaram o índice  $E$  para estudar a influência da forma geométrica das cidades nos valores de acessibilidade intra-urbana, comparando os valores de acessibilidade de duas cidades médias brasileiras com cidades hipotéticas de diferentes formas (retangulares, quadradas, circulares, entre outras), com um número aproximado de interseções do sistema viário. LIMA *et al.* (2000b) aprofundaram esse estudo, calculando o índice  $E$  para cidades circulares de diversos tamanhos e desenvolvendo uma equação que indicasse o índice  $E$  para uma cidade circular com um dado número de interseções. A forma da cidade circular foi tomada como referência para comparação, devido ao seu alto grau de compacidade, para analisar a influência que novos loteamentos poderiam causar no IGA real da cidade. As ruas nessa cidade hipotética formam uma grade regular com aproximadamente o mesmo padrão encontrado nas cidades reais (definido pelo tamanho da quadra). Teoricamente, essa forma de cidade tem um valor bastante baixo para o IGA. Isso implica que, quanto mais perto uma cidade real está do valor de  $E$  de uma cidade circular correspondente, melhor é a configuração de sua rede urbana.

A equação apresentada em LIMA *et al.* (2000b) para o cálculo do IGA em cidades circulares leva em conta simplesmente o número de nós da malha viária, mas pode ser desenvolvida de modo a incluir valores de densidade populacional para o cálculo do índice  $E$  para uma cidade circular ideal. A partir de valores de população e de densidade urbana, é possível estimar quais seriam os valores de  $E$  para um determinado cenário (por exemplo, qual seria a redução no valor de  $E$  quando se buscasse uma densidade urbana de 50 hab/ha, ou 100 hab/ha, numa cidade bastante compacta). A partir do desenvolvimento matemático da equação básica, chega-se à Equação 6.2, uma vez que, para uma cidade circular, com quadras de 100 por 100 metros, o número de nós

do sistema viário é igual ao número de habitantes dividido pela densidade populacional em habitantes por hectare.

$$E_{cd} = 0,0651 (P/D)^{0,4995} \quad (6.2)$$

Onde:

$E_{cd}$  = Índice Global de Acessibilidade para uma cidade circular com densidade  $D$  (km);

$D$  = Densidade populacional (hab/ha);

$P$  = População urbana.

SILVA *et al.* (1999) utilizaram o IGA para comparar os padrões de acessibilidade de duas cidades médias brasileiras com duas americanas e uma européia. Visando explorar ainda mais a potencialidade deste índice como uma referência para o planejamento urbano, LIMA *et al.* (2003) avaliaram os níveis de acessibilidade de algumas cidades médias paulistas, adotando valores de densidade  $D$  de 50 e 100 habitantes/hectare. O índice  $E$  foi utilizado como parâmetro de comparação dos níveis de acessibilidade no presente e como meta a ser atingida num planejamento urbano eficiente. O que se sugere para o sistema aqui proposto é que, da mesma maneira que nos estudos anteriores, o índice  $E$  e suas variantes possam ser utilizados como medidas de desempenho relativas à acessibilidade aos serviços de educação e saúde, através da avaliação dos níveis atuais de acessibilidade e da geração de cenários de localização de novas unidades escolares e/ou realocação de alunos que melhore essa acessibilidade.

#### **6.4 Caracterização Geral da Demanda e da Oferta**

Asseguradas as bases do sistema (item 6.1), definidas a sua abrangência (item 6.2) e as medidas de desempenho para o seu acompanhamento (item 6.3), o passo seguinte é caracterizar, de forma tão desagregada quanto possível, a demanda e a oferta. Para tal, lança-se mão de todos os elementos anteriormente mencionados, o que em geral produz um nível crescente de agregação das estimativas (e portanto decrescente de precisão espacial) à medida que o tempo evolui, aproximando-se do ano que caracteriza o final do horizonte de projeto.

Estimados o ano  $n$  e a população e o número de nascimentos anuais até lá, é necessário pois que se conheça o padrão de distribuição espacial da demanda por serviços de educação e saúde e a evolução dessa distribuição ao longo dos anos até o ano  $n$ , dados que alimentarão as análises das Etapas I, II e III (Educação) e IV, V e VI

(Saúde). Para as Etapas I e IV (presente) o ideal é que se obtenha essa distribuição diretamente através dos dados georeferenciados desagregados dos recém-nascidos (saúde) e das matrículas de todos os alunos nos níveis de ensino a se considerar (educação); para as etapas II e III (educação) e V e VI (saúde) o ideal é que os dados georeferenciados do presente sejam utilizados juntamente com dados dos censos demográficos do IBGE, agregados ao nível do setor censitário, e do SEADE (no caso do estado de São Paulo), agregados ao nível do município, para que se obtenham projeções futuras. Adicionalmente, essas projeções podem incorporar modelos de simulação urbana, baseados, por exemplo, em *Cellular Automata* e em Redes Neurais Artificiais.

O problema em se trabalhar somente com os dados georeferenciados, além de toda a dificuldade em obtê-los, como já mencionado, é que muito provavelmente essas dados estarão disponíveis, desagregados ao nível de endereços, apenas para os últimos dois ou três anos, salvo em raras Prefeituras que mantenham arquivados dados dessa natureza para um período de tempo superior a esse. Ainda que isso acontecesse, seria bastante questionável se esse georeferenciamento de dados passados se justifica para extrapolar tendências dos últimos 5 anos para projeções de 20 ou 30 anos, por exemplo. O que se imagina ser mais adequado é a utilização do georeferenciamento do instante atual (ou de 1 ou 2 anos atrás, adicionalmente) combinado com dados agregados ao nível dos setores censitários, oriundos de censos gerais, que ocorrem de 10 em 10 anos e que podem absorver tendências num espaço de tempo maior.

A divisão espacial da cidade em setores censitários é aquela para a qual se dispõe, via de regra, de uma maior variedade e consistência de dados. Essa divisão é diferente a cada censo geral, já que quando o número de domicílios em cada setor atinge um determinado número limite de domicílios ou pessoas ele é subdividido, além dos novos setores que vão surgindo na periferia das cidades com a natural expansão territorial das mesmas. Isto não chega, no entanto, a inviabilizar as análises de distribuição espacial, pois com as ferramentas hoje disponíveis nos SIG, é possível trabalhar com dados originalmente agrupados segundo diferentes divisões espaciais sem maiores problemas.

Para efeito de implementação da metodologia será assumida a hipótese de que as condições descritas anteriormente foram observadas e que todos os alunos

matriculados nas escolas e recém-nascidos estão localizados espacialmente (georeferenciados), quando poder-se-ia dar início às etapas I, II, III, IV, V e VI da Figura 6.1. Em cada uma dessas etapas, será detalhado o procedimento para a utilização de modelos alternativos (demográficos ou de simulação urbana), na hipótese de não se obter os dados georeferenciados, e também as possíveis ações em relação à oferta dos serviços de educação e saúde em cada etapa. A Tabela 6.1 apresenta resumidamente os dados e ferramentas necessárias e os problemas comumente encontrados nessa fase preliminar à implantação do SADE propriamente dito, onde se pode constatar sem grande dificuldade que o apoio institucional é essencial para o início dos trabalhos.

Tabela 6.1 – Levantamento preliminar de dados

<b>Dados necessários</b>	<b>Ferramentas necessárias</b>	<b>Problemas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arquivo contendo o eixo das ruas da cidade, caracterizado como rede</li> <li>▪ Banco de dados para montagem do cadastro urbano (desejável) ou:</li> <li>▪ Banco de dados em planilha eletrônica contendo todos os endereços da cidade com respectivas coordenadas geográficas, para incorporação ao SIG</li> <li>▪ Dados de matrículas de todos os alunos, contendo o endereço residencial</li> <li>▪ Monitoramento dos dados de todos os recém-nascidos, contendo a data de nascimento e endereço residencial</li> <li>▪ Endereço de todas as Creches e EMEIs</li> <li>▪ Endereço de todos os postos de saúde</li> <li>▪ Obtenção de série histórica com dados anuais da população total do município</li> <li>▪ Obtenção de série histórica com dados anuais de nascimentos (nascidos vivos)</li> <li>▪ Obtenção de dados de população por faixa etária agregados aos setores censitários dos últimos censos</li> <li>▪ Mapa dos setores censitários dos últimos censos em formato digital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de Informações Geográficas</li> <li>▪ Gerenciador de banco de dados (incorporado, direta ou indiretamente, ao SIG)</li> <li>▪ Modelos demográficos e de previsão de demanda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inexistência de cadastro urbano de endereços bem estruturado e atualizado</li> <li>▪ Dificuldade para georeferenciar todos os usuários (inconsistência de dados)</li> <li>▪ Dados dos usuários em papel (não digitalizados)</li> <li>▪ Relações políticas; dificuldade em "vender" a idéia do projeto e conseguir a parceria com a Prefeitura</li> </ul>

### 6.5 O Núcleo de Apoio à Decisão

Completada a etapa de georeferenciamento e também os estudos demográficos preliminares têm início as diversas etapas do SADE propriamente dito,

divididos entre os serviços de educação e saúde e para diferentes períodos de tempo, conforme a Figura 6.1.

#### 6.5.1 Etapa I: Educação - Presente

A primeira etapa para o sistema de educação é avaliar a situação no presente, através de um enfoque predominantemente operacional, procurando fazer os ajustes necessários para que o sistema existente funcione com algumas alterações operacionais e, a princípio, poucos investimentos em novas infra-estruturas. Nessa etapa a ferramenta principal a ser utilizada são os modelos matemáticos de alocação (modelos *location-allocation*), com os quais, a partir da demanda escolar georeferenciada, se busca uma redistribuição dos alunos que minimize os custos de deslocamentos dos usuários.

Assim, o primeiro passo para qualquer proposta de redistribuição da demanda é, com esta georeferenciada e já incorporada ao SIG, avaliar a distribuição real dos alunos. Para isso, pode-se identificar no SIG a escola em que estuda cada um dos alunos, e começar o processo de análise por um procedimento extremamente simples, se os dados estão georeferenciados, que é fazer um mapa temático em que todos os alunos de uma mesma escola apareçam com a mesma cor. Essa forma de comunicação da informação em geral produz grande impacto junto aos tomadores de decisão, uma vez que a má distribuição espacial é facilmente identificada numa análise visual. A experiência em estudos de caso conduzidos em São Carlos (DUTRA, 1998; LIMA *et al.*, 2001) mostrou que isso é muito interessante para o projeto, uma vez que comprova de forma imediata para o administrador público que realmente não existe um padrão racional para a distribuição espacial dos alunos e acaba por mostrar o valor das análises do projeto.

A partir do conhecimento da distribuição espacial real, o próximo passo é calcular os custos de deslocamentos para todos os alunos. A princípio, esse custo é, para cada aluno, a menor distância percorrida através do sistema viário entre a casa do aluno e a respectiva escola em que estuda. Com esses custos de deslocamento (em termos de distância percorrida), os modelos *location-allocation* devem ser utilizados para buscar uma melhor distribuição espacial, buscando gerar alternativas (através de uma redistribuição espacial da demanda) que possam otimizar cada nível de ensino do

sistema de educação (Creche e EMEIs) a partir de medidas de desempenho de acessibilidade e equidade, utilizando modelos matemáticos de localização ( $p$ -mediana,  $p$ -centro etc.).

Alguns critérios podem ser considerados como metas nessa redistribuição da demanda. O primeiro deles, talvez o mais imediato, seria a redistribuição dos alunos de toda a cidade, com a atual oferta de vagas nas escolas (que é necessariamente igual a demanda atual). Adicionalmente, podem ser utilizados modelos que promovam uma maior equidade em relação a acessibilidade aos serviços de educação buscando, por exemplo, que todos os alunos estejam, no máximo, a uma distância igual a um valor de acessibilidade predefinido. Este seria o caso, por exemplo, do Índice Global de Acessibilidade (IGA) citado no item 6.3.3, que reflete a separação média entre os nós da rede viária da cidade. Nesse caso verificar-se-ia quais seriam os eventuais ajustes de capacidade necessários e possíveis pontos em que seria necessária a abertura de novas unidades. Esse IGA pode inclusive incorporar variações de densidade populacional, para que se possa avaliar alterações nas condições de acessibilidade global da cidade promovidas através de maiores valores de densidade urbana, combinando assim objetivos do planejamento pontual realizado para os serviços de educação e saúde com objetivos mais amplos de planejamento urbano.

Para cada um dos cenários gerados, diversas medidas de desempenho podem ser calculadas, incluindo aí custos de deslocamento médios, individuais máximos e totais e a porcentagem de realocações de alunos necessárias em cada cenário, variáveis nas quais o gestor do sistema poderia basear seu julgamento de forma objetiva para tomar decisões. No entanto, deve-se ter em mente que não devem ser feitos grandes investimentos financeiros nessa fase, uma vez que, como ainda não foi feito nenhum estudo de previsão de demanda por nível de ensino de longo prazo, há o risco de se ter uma oferta ociosa num futuro próximo ou distante. Deve-se procurar ao máximo melhorar as condições de acessibilidade dos usuários com a utilização ótima das unidades escolares já existentes.

Com relação aos custos de deslocamento, vale ressaltar que se adotou como medida deste custo, inclusive para o estudo de caso, a menor distância entre residência e escola, percorrida (em princípio, a pé) através do sistema viário. Apesar de diversos estudos nacionais comprovarem que para cidades médias essa é uma variável

bastante representativa, seria interessante incorporar ao SADE fatores de atratividade ou alguma variável que refletisse o modo de transporte utilizado pelos alunos. O mesmo raciocínio aplica-se ao cálculo do IGA utilizado como medida de desempenho nos modelos de alocação.

Outra consideração importante e que não está sendo incorporada ao Sistema é a real demanda por serviços de educação existente na cidade. Os dados processados no SADE consideram apenas os alunos realmente matriculados, não sendo considerada a real demanda, ou demanda reprimida, pois se existissem mais vagas disponíveis talvez mais crianças frequentassem as Creches, por exemplo. Para isso, é necessário que se realize um estudo aprofundado sobre a real demanda escolar, através dos dados censitários do IBGE, que apontam a distribuição da população por faixa etária e por nível de renda. É preciso, além disso, que se conheça a política da administração pública no que concerne à expansão de vagas nos diversos setores de educação, isso já num horizonte de médio ou longo prazo, assunto que será novamente abordado na Etapa II. A Tabela 6.2 apresenta resumidamente as atividades e dificuldades encontradas na execução da Etapa I.

Tabela 6.2 – Resumos das atividades da Etapa I – Educação – Presente

<b>Dados necessários</b>	<b>Ferramentas necessárias</b>	<b>Problemas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Demanda (alunos) georeferenciada</i></li> <li>▪ <i>Oferta (escolas) georeferenciada</i></li> <li>▪ <i>Valores de população da zona urbana e densidade populacional (real e desejável)</i></li> <li>▪ <i>Valores de demanda reprimida</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Sistema de Informações Geográficas</i></li> <li>▪ <i>Gerenciador de banco de dados (incorporado ao SIG)</i></li> <li>▪ <i>Modelos de alocação (location-allocation)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Dificuldade para georeferenciar os endereços de todos os alunos</i></li> <li>▪ <i>Dificuldade para incorporar fatores de atratividade e modos de transporte no cálculo dos custos de deslocamento</i></li> <li>▪ <i>Dificuldade para incorporar a demanda reprimida no modelo</i></li> <li>▪ <i>Dificuldade de obtenção de dados do local de emprego das mães dos alunos das Creches</i></li> </ul>

#### 6.5.2 Etapa II: Educação – Futuro Próximo

Terminada a etapa de gestão da demanda de educação para o presente inicia-se a etapa para o futuro próximo. Essa etapa deve ter uma abordagem essencialmente tática, onde procura-se por soluções para melhorar as condições de funcionamento do que se está gerindo que não envolvam investimentos tão elevados e que possam dar soluções em período de tempo não muito longo. Isso inclui a abertura

de novas unidades escolares, em regiões da cidade com comprovada carência de vagas que não puderam ser atendidas com a gestão da demanda em nível operacional feita na Etapa I. Além disso, nessa etapa deve ser observado o mesmo tipo de gestão feito na Etapa I, ou seja, uma abordagem operacional, mas nesse caso com caráter mais de acompanhamento e bom funcionamento do sistema do que com drásticas redistribuições de alunos.

Outro ponto a considerar é a antecipação das necessidades futuras, como a necessidade por vagas para o próximo ano para uma determinada classe escolar, ou em que escola matricular um novo aluno no primeiro ano do ensino pré-escolar que está saindo da Creche, por exemplo. Resumidamente, deve ser analisado o funcionamento do sistema como um todo durante os próximos anos. Não devem aqui ser observadas grandes variações na demanda, mas é necessário que se acompanhe as mudanças de escolas que deverão ocorrer na vida escolar dos usuários (saída da Creche e entrada nas escolas de educação infantil), indicando ao aluno a melhor escola (em termos de localização) em que deva ser matriculado. Muitas das ações de um planejamento tático acabam sendo bem aceitas numa administração pública, pois o seu tempo de ação pode coincidir com o mandato do prefeito (4 anos).

Em termos práticos, é preciso que se conheça para os próximos anos a população de crianças na faixa etária de Creches e EMEIs e a respectiva distribuição espacial. A situação que se considera ideal é que as previsões de distribuição de demanda sejam feitas a partir do cadastro de recém-nascidos dos últimos anos, agregados segundo as divisões dos setores censitários. Com isso, é possível monitorar onde os usuários estarão entrando no sistema e ajustar as projeções, na escala macroscópica, com os valores anuais totais obtidos através da projeção do número anual de nascimentos. Esse cenário pressupõe que o cadastro georeferenciado tenha sido estruturado e que o monitoramento dos endereços dos recém-nascidos esteja sendo feito continuamente. Caso isso não ocorra, uma alternativa seria a projeção da futura demanda (respectiva distribuição espacial) através de modelos.

Nesse caso, a concepção básica para a modelagem dos dados de demanda seria, para os últimos censos demográficos de que se dispõe de dados por setores censitários (relativos aos anos de 1980, 1991 e 2000), estimar o número de crianças na faixa etária das creches (0 a 3 anos) e das EMEIs (4 a 6 anos) em cada um dos setores,



através de extrapolação de tendências. No caso da saúde, a demanda seria a soma dessas duas faixas (0 a 6 anos).

Para isso, deve-se primeiramente construir um modelo capaz de estimar a população total, a partir do qual se possa ajustar os resultados obtidos para Creches e EMEIs. Calcula-se inicialmente a densidade populacional para cada um dos setores e para cada um dos censos considerados. A partir daí, numa planilha de cálculo pode-se associar uma função de interpolação (geralmente linear) a cada um dos setores e admitir como hipótese simplificadora que essa função possa ser extrapolada (observando-se como limite inferior um valor de crescimento igual a zero, para que não ocorram densidades negativas em setores que vêm tendo densidades decrescentes). Com isso pode-se estimar futuras densidades para qualquer ano  $i$  entre o ano 0 (presente) e ano  $n$ . Assim, com a estimativa da densidade de cada um dos setores para o ano  $i$ , pode-se, pelo processo inverso, obter a população do setor e a população total da cidade. Esse valor total (doravante denominado de **população total do censo**, ou **PTC**), deve ser comparado com o valor estimado a partir da curva de tendência ajustada aos dados históricos anuais do SEADE para a estimativa do ano  $n$ , que passa a ser adotado como referência para as estimativas de população total (doravante denominada **população total do SEADE**, ou **PTS**). Uma diferença percentual significativa pode indicar que o modelo PTC (por setor) não é adequado para projeções globais e, menos ainda, locais. No caso de uma pequena diferença, por outro lado, deve-se apenas multiplicar o valor da densidade de cada setor pelo fator que é obtido pela razão entre PTC e PTS, de forma a ajustar o valor PTC ao valor PTS, tomado como referência.

Ajustado o modelo global deve-se repetir o processo duas vezes, uma para a população que frequenta as Creches e outra para a população que frequenta as EMEIs. Como os dados dos censos de população por faixa etária geralmente estão distribuídos de cinco em cinco anos (o que se sabe já não acontece com os dados mais recentes, do censo 2000, onde os dados estão reunidos ano a ano, pelo menos no intervalo dos 0 aos 24 anos de idade), é necessário que se ajuste a faixa de que se dispõe de dados à faixa que se pretende estimar. Assim, é possível adequar os dados totais para o município relativos às duas primeiras faixas etárias (de 0 a 4 anos e de 5 a 9 anos), extraídos dos censos, às faixas etárias correspondentes às Creches e EMEIs, de acordo com o esquema da Figura 6.2.

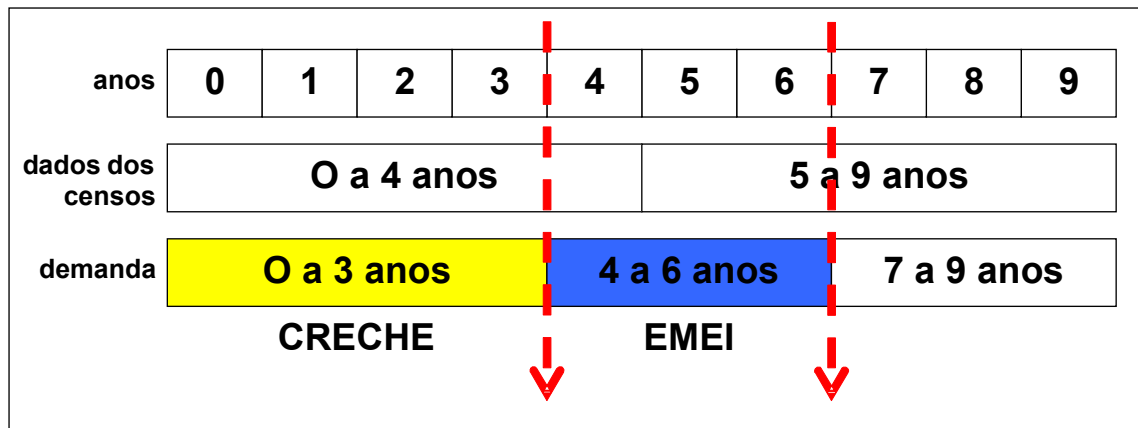


Figura 6.2 – Ajuste das faixas etárias para Creches e EMEIs

Uma outra opção de modelo demográfico seria estimar o número anual de nascimentos, ao invés da população de creches e EMEIs. Este procedimento torna-se particularmente interessante quando a Secretaria Municipal de Saúde realiza um monitoramento do endereço dos recém-nascidos na cidade, ainda que apenas para períodos mais recentes. Esses nascimentos podem ser agregados segundo as divisões dos setores censitários e associados aos dados dos censos (agora apenas com a faixa etária de 0 a 1 ano) para a extrapolação de tendências. Nesse caso, uma alternativa poderia ser a de trabalhar com a porcentagem de nascimentos por setor, dividindo-se em cada setor o número de nascimentos (ou população de 0 a 1 ano) pelo total de nascimentos da cidade.

Assim, a estimativa do modelo para o ano  $i$  seria a de porcentagem de nascimentos. Esta, associada à projeção do número anual de nascimentos forneceria, ano a ano, o número de nascimentos por setor e, a partir daí, seria possível obter a demanda por Creches e EMEIs (e da saúde, como somatório de Creches e EMEIs). No caso das Creches, a partir das estimativas anuais de nascimentos por setor, que podem ser calculadas até o ano  $n$ , deve ser somado, para cada ano em que se aplica a metodologia, o número de nascimentos daquele setor naquele ano aos dos 3 anos anteriores (população de 0, 1, 2 e 3 anos) para se ter a população total na faixa etária das Creches naquele ano (não considerando migrações). No caso das EMEIs, devem ser somados os nascimentos de 4 a 6 anos antes do ano em questão. A Figura 6.3 mostra graficamente os anos para análise nos dois casos (Creches e EMEIs). As barras representam o número de nascimentos e a queda acentuada aparece apenas a título de exemplificação, uma vez que mesmo que a queda seja esperada, ela não deve ser tão acentuada.

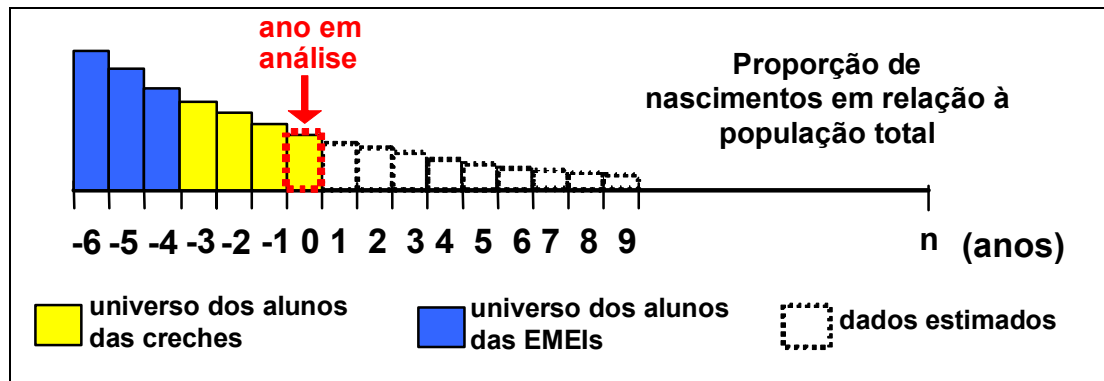


Figura 6.3 – Universo de alunos de Creches e EMEIs

Caso o modelo adotado estime a porcentagem de nascimentos em relação à população total, deve-se ter em mente que o saldo migratório está sendo ignorado. A hipótese básica é, portanto, que o número de alunos que freqüentam Creches e que não nasceram na cidade é relativamente igual (ou muito próximo disto) aquele de alunos que nasceram na cidade e emigraram. Alguns dados do SEADE e do censo 2000 do IBGE indicam que essa hipótese pode ser considerada aceitável: segundo o censo 2000, havia em São Carlos 14597 habitantes na faixa etária de 0 a 4 anos. Segundo os dados do SEADE, a soma dos nascimentos no ano 2000 e nos quatro anos anteriores resultava em 15029 habitantes, ou seja, uma diferença de 3 %, que pode ser considerada relativamente pequena.

No entanto, cabe aqui ressaltar que apesar do fluxo migratório ser considerado nulo (as emigrações serem compensadas pelas imigrações), o bom senso indica que a hipótese parece ser razoável apenas no nível macroscópico (na cidade como um todo). Não se tem nenhuma estimativa de como ocorrem os fluxos migratórios intra-urbanos, ou seja, crianças que vão mudando de residência dentro da cidade ao longo dos anos. Essa, sem dúvida, é uma informação essencial e que não está (em princípio, pela ausência de dados) sendo incorporada ao sistema. Em vista disso, admite-se mais uma hipótese simplificadora de que a mesma compensação que se admite em termos macroscópicos acontece em termos microscópicos (ao nível dos setores censitários): as crianças que nascem no setor  $i$  e mudam-se para outro setor com o passar do tempo são compensadas por outras que nascem em outros setores e mudam-se para o setor  $i$ . Mais uma vez, cabe ressaltar que esse tipo de informação seria facilmente obtida caso existisse um cadastro eficiente e bem estruturado, onde as mudanças de endereço das crianças seriam monitoradas ao longo do tempo e os imigrações e emigrações seriam detectadas a cada período de matrícula ou na próxima

data de vacinação, por exemplo. Nesse sentido, a utilização do modelo demográfico baseado em densidades de população de Creches e EMEIs parece funcionar melhor, uma vez que os dados de entrada já são de fato o da respectiva faixa etária, sem influência do fluxo migratório. Portanto, caso realmente não se obtenha o monitoramento dos nascimentos em nenhum instante, os modelos baseados em densidades de população parecem mais adequados para o sistema aqui proposto do que aqueles baseados na porcentagem de nascimentos em relação à população total.

Qualquer que seja o modelo adotado, no caso das creches, por exemplo, o resultado do modelo representa o universo total de possíveis utilizadores das Creches que, não necessariamente, será a demanda total por Creches. Isso acontece porque nem todas as crianças de 0 a 3 anos freqüentam as Creches. Uma parcela dessas crianças freqüenta as Creches particulares porque os pais não estão satisfeitos com o serviço público oferecido. Aqui, aplicam-se conceitos de demanda reprimida (quantas crianças migrariam das Creches particulares para as públicas se aumentasse a oferta de vagas?). Há ainda uma outra parcela de crianças que não freqüentam Creche alguma pois ficam em casa com os pais, os avós, ou uma babá, por exemplo. Nesse sentido, na falta de estudos mais específicos relacionados à oferta e demanda por vagas no ensino privado, resta ao administrador público optar por uma porcentagem de atendimento à população de 0 a 3 anos.

Numa situação de atendimento pleno deveriam ser fornecidas vagas a 100 % de crianças em idade de 0 a 3 anos, situação bastante improvável e provavelmente desnecessária. Algo mais realista seria um aumento relativo progressivo da oferta de vagas a longo prazo, como incrementos de 1 % da população a cada 4 anos, por exemplo. Obviamente, esses números dependem da política de melhoria dos serviços sociais e do ensino público da administração municipal. A título de exemplo, em São Carlos, no ano 2000, num universo de 10.666 crianças com idade de 0 a 3 anos, segundo dados do censo 2000 (relativos apenas à população urbana), havia um total real de 1164 crianças nas 10 Creches municipais no mesmo ano, segundo dados da Secretaria Municipal de Educação. Portanto, as vagas oferecidas pela administração atendiam a cerca de 10 % da população na faixa etária dos 0 a 3 anos. Assim, uma possível opção do poder público ao longo de uma gestão de quatro anos poderia ser a de se aumentar as vagas em Creches para algo em torno de 15 % das crianças da população na faixa etária de 0 a 3 anos, por exemplo, o que corresponderia a um aumento de 50 %

no número de vagas, num cenário bastante otimista. Talvez nem mesmo este limite superior chegasse a ser alcançado, dependendo da resposta da demanda ao aumento da oferta.

Obviamente, inúmeras alternativas poderiam ser previamente estudadas (particularmente em um Sistema de Apoio à Decisão Espacial) para uma análise dos efeitos desse aumento de atendimento em termos de números de vagas e, por conseguinte, dos custos de instalação de novas Creches ou de aumento de vagas nas Creches existentes. O que se observa na realidade, em visitas à Secretaria Municipal de Educação, é que de fato existe uma demanda reprimida, comprovada pelas listas de espera por vagas em diversas Creches municipais. No caso das EMEIs, ainda em São Carlos, para uma população na faixa etária de 4 a 6 anos de 8365 crianças havia um total de matrículas em EMEIs de 6522. Ou seja, nesse caso, o atendimento por EMEIs atinge cerca de 78 % do universo das crianças de 4 a 6 anos. Conclui-se então, com base nos dados de Creches e EMEIS, que a medida que a criança vai crescendo, aumenta a procura por serviços de educação, no caso, municipais.

Vale ressaltar que em cada hipótese de porcentagem de atendimento a ser testada, a porcentagem será aplicada de maneira igual a todos os setores, admitindo que mais uma vez a proporção global mantenha-se ao nível dos setores censitários. Assim, caso se decida por uma porcentagem de atendimento de 15 % para as Creches, por exemplo, deve-se multiplicar a população total estimada anteriormente de cada setor na faixa etária correspondente às creches por um fator 0,15. Essa proporcionalidade não deve ser contudo observada na realidade, uma vez que em bairros de baixa renda a porcentagem de crianças que freqüentam as creches municipais deve ser maior do que em bairros de população com maior poder aquisitivo. Uma vez mais, a inclusão de dados específicos de outras variáveis (por exemplo, nível de renda da população) poderia incrementar o modelo.

A partir da distribuição espacial da demanda deve-se prover a oferta necessária para absorvê-la. A hipótese básica a se considerar é que a oferta de vagas deva ser igual à demanda de projeto (porcentagem do universo da população que se pretende atender). A oferta total deverá ser igual à demanda total e, no caso da abertura de novas unidades, os modelos *location-allocation* indicam os pontos de abertura ou fechamento de novas unidades (caso seja necessário) e possíveis alterações nas

capacidades das unidades. No caso da necessidade de abertura de novas unidades no planejamento no futuro próximo, deve-se avaliar o que acontecerá com a distribuição de alunos e custos de deslocamento no ano  $n$ , de forma a avaliar se o investimento era de fato necessário a longo prazo ou não. Novamente, vale ressaltar que nessa fase não devem ser promovidas grandes alterações de oferta, pois essas podem vir a se tornar ociosas num futuro distante. No caso de criação de vagas para novos alunos (expansão da porcentagem de atendimento), deve-se indicar qual seria a melhor escola para esse novo aluno frequentar, utilizando os mesmos parâmetros da Etapa I.

Nesse processo, depara-se com um problema: a consideração de que todas as escolas são equivalentes no que diz respeito as suas instalações, qualidade do ensino e qualificação dos professores, entre outros, quando se sabe que são heterogêneas, e que, na realidade, os alunos, quando podem, acabam elegendo a escola de sua preferência. Além disso, tradição e reputação, competência dos professores e qualidade da merenda escolar são outros não menos importantes fatores de atração, cuja consideração nos modelos de alocação da demanda torna-se bastante complexa (ALMEIDA, 1999; ALMEIDA & GONÇALVES, 2000). Por tudo isto, em termos práticos, a distância até a escola acaba por ser a variável mais utilizada em estudos desta natureza. Isto também porque a complexidade introduzida por ALMEIDA (1999) e ALMEIDA & GONÇALVES (2000) não parece ter produzido, pelo menos em termos de *ranking*, alterações significativas na medida de acessibilidade às escolas, segundo estudo conduzido por SILVA *et al.* (2001).

Outro aspecto interessante é o da integração de níveis de ensino. Via de regra, o processo de mudança de escola é sempre encarado com ressalvas pelos usuários. Assim, a integração num mesmo estabelecimento de níveis de ensino próximos (Creches e educação infantil, ou educação infantil e ensino fundamental) pode ser uma boa alternativa. Esse tipo de política tem sido empregada com sucesso em Portugal, por exemplo. O estado de São Paulo, no entanto, realizou recentemente a mudança no sentido inverso, segundo DUTRA (1998).

Também deve ser considerado com especial atenção o desbalanceamento geográfico da oferta em relação à demanda. Muitas vezes existe um equilíbrio oferta-demanda de vagas na cidade como um todo, mas não há um equilíbrio pleno em termos geográficos, com deficiências de capacidade observadas em algumas regiões da cidade e

vagas ociosas em outras regiões. Isso pode ser decorrência direta da migração interna dos moradores. Assim, deve-se dedicar especial atenção ao gerenciamento da capacidade. Muitas vezes, pode se conseguir um grande aumento de capacidade através de pequenas mudanças, como a ativação de espaços inutilizados para transformação em salas de aula, contratação de mais professores etc., permitindo a expansão de capacidade de algumas escolas com baixo custo. Por outro lado, escolas com excesso de capacidade podem ser parcialmente desativadas e parte de seus recursos, incluindo professores e mobiliário, simplesmente transferidos para áreas mais necessitadas.

Esse desbalanceamento pode ser observado ao se aplicar os modelos *location-allocation* com e sem restrição de capacidade para uma mesma situação. Grandes diferenças de capacidade para uma determinada escola entre os resultados dos dois modelos são uma evidência clara desse desbalanceamento. A alocação de uma capacidade menor do que a real significa que esse “saldo” de vagas traria maiores benefícios (em termos de redução de custos de deslocamento) em uma escola que observou a situação contrária (capacidade alocada maior que a real). Entende-se aqui como capacidade real aquela utilizada no modelo com restrição de capacidade.

Em áreas com a demanda um pouco maior do que oferta de vagas, os decisores podem se defrontar com outro problema: o que é melhor, expandir uma escola que já é grande ou construir outra pequena? Em princípio, o bom senso recomenda que se rejeite tanto escolas muito grandes quanto escolas muito pequenas, embora possam ser empregadas ferramentas e técnicas para uma avaliação mais acurada dos custos e benefícios das diferentes possibilidades.

Cabe ressaltar que toda a parte operacional realizada na Etapa I, a ser agora repetida, só poderá ser novamente efetuada de forma desagregada caso o monitoramento dos nascimentos esteja sendo efetuado, sendo a base para a instalação de um cadastro e de um banco de dados bem estruturados primordiais para a implantação ótima do sistema. Assim, possíveis mudanças de residência que ocorressem ao longo dos anos, muito comuns em zonas periféricas para famílias que não possuem casa própria, poderiam ser detectadas pelo sistema no ato da matrícula do aluno na escola ou creche. Desse modo, as migrações internas poderiam ser acompanhadas e, a partir de uma mudança residencial do usuário, seria possível indicar para qual escola ele deveria ser transferido, se fosse o caso. Esse ponto é, em termos operacionais, um outro grave

entreve para o sistema, que deve ser cuidadosamente estudado na busca de soluções viáveis para o problema, e onde o apoio institucional é decisivo.

Um outro aspecto importante nessa fase é a integração dos planejamentos da saúde com o da educação. Com a implantação do cadastro urbano integrado, é possível acompanhar e monitorar o bebê desde o seu nascimento até a idade escolar, antecipando as futuras necessidades desse indivíduo por Creches e EMEIs. Nesse caso, os responsáveis pela criança poderiam receber em casa, com antecedência, a comunicação de que seu filho está prestes a atingir a idade de educação infantil, fornecendo as opções de escolas mais próximas à sua residência, caracterizando as ações táticas do planejamento para um futuro próximo. Apesar de situações desse gênero parecerem praticamente intangíveis na administração pública brasileira, o principal entrave tecnológico para que isso aconteça é, uma vez mais, a existência de um cadastro urbano consistente e único, que englobe diversos serviços, entre eles os de saúde e educação.

Nesse sentido, a integração que se propõe entre os serviços de educação e saúde, fator preponderante para o estudo conjunto desses serviços nesse projeto, acontece basicamente em termos de cadastro, fazendo com que a educação se utilize do cadastro de usuários de saúde para prever futuras demandas por serviços de educação (seta de número 5 na Figura 6.1). Desse modo, a partir do cadastro único do posto de saúde com as vacinas de um recém-nascido, seria possível planejar com antecedência de 3 anos a futura demanda escolar por ensino pré-escolar, indicando a escola em que essa criança deva estudar. A integração também pode acontecer no sentido inverso, com a saúde utilizando o cadastro escolar para programar, por exemplo, atendimentos em escolas, com campanhas de vacinação ou atendimento odontológico (setas de números 1 e 4 na Figura 6.1. As setas 2, 6, 3 e 7 indicam utilização de dados presentes para a utilização de projeções futuras dentro de um mesmo sistema). Obviamente, isso não é operacionalmente tão simples, incluindo aí a monitoração das alterações de endereço e de todo tipo de migrações.

### *Modelo de Distribuição de Demanda com Redes Neurais Artificiais*

Apesar de ser, em alguns casos, a única alternativa viável para o planejamento da distribuição da demanda por serviços de educação, as diversas



hipóteses incorporadas ao modelo podem levar a resultados imprecisos, por não considerar, por exemplo, dados relativos às migrações intra e intermunicipais. Em vista disso, uma alternativa que pode apresentar resultados mais precisos, sem a incorporação de hipóteses simplificadoras e que de certa forma pode compensar este problema, seria a construção de um modelo de distribuição de demanda baseado em Redes Neurais Artificiais.

Para que essa alternativa seja viável, no entanto, é recomendável que se disponha de dados georeferenciados (endereço e escola em que estuda cada um dos alunos) da demanda por Creches e EMEIs em pelo menos três anos (seguidos ou não). Com a distribuição espacial da demanda em diferentes anos, um modelo em RNA pode ser construído para prever a distribuição da demanda no futuro, cabendo aos modelos demográficos principalmente a função de estimar a demanda total por Creches e EMEIs na cidade.

Feitas essas considerações a respeito da Etapa II, as atividades e dificuldades encontradas na sua execução são resumidas na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Resumos das atividades da Etapa II – Educação – Futuro Próximo

<b>Dados necessários</b>	<b>Ferramentas necessárias</b>	<b>Problemas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Demanda (alunos) georeferenciada</li> <li>▪ Oferta (escolas) georeferenciada</li> <li>▪ Perspectivas de evolução da densidade populacional (real e desejável)</li> <li>▪ Localização de pontos candidatos à abertura de novas unidades escolares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema de Informações Geográficas</li> <li>▪ Gerenciador de banco de dados (incorporado ao SIG)</li> <li>▪ Modelos de alocação (location-allocation)</li> <li>▪ Compatibilização dos bancos de dados da saúde e da educação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dificuldade para incluir a atratividade das escolas nos modelos</li> <li>▪ Dificuldade para monitorar as migrações urbanas (alterações de endereço)</li> <li>▪ Falta de cadastro urbano integrado</li> </ul>

### 6.5.3 Etapa III: Educação – Futuro Distante

Nessa etapa serão incluídas as análises de caráter estratégico para um futuro mais distante. O nível estratégico é aquele onde se planeja ações (investimentos, projetos etc.) de longo prazo, em geral com nível de investimento alto e com tempo de aplicação longo. Devem ser estudadas as hipóteses que se supõe sejam encontradas em 20 ou 30 anos (dependendo do ano  $n$ ). Devido ao planejamento neste caso ser de longo prazo, nessa fase não faz mais tanto sentido trabalhar com a demanda georeferenciada

de forma desagregada, e sim com dados agregados à divisão espacial dos setores censitários do IBGE.

Fundamental para essa etapa são novamente os modelos de previsão de demanda. É preciso se conhecer qual é a tendência de evolução da demanda pelos serviços de educação na cidade em 20 ou 30 anos, o que é reflexo direto da evolução da população, principalmente das faixas etárias mais baixas. Conforme já citado, devido às previsões de estabilização da população no Brasil dentro de algumas décadas, deverá ocorrer o envelhecimento gradual da população, ou seja, diminuição da população nas faixas etárias de menor idade. Com isso, deve-se ter cautela quanto à política de abertura de novas unidades escolares, uma vez que essa capacidade pode se tornar ociosa a longo prazo. No entanto, não é somente a evolução da população que pode influenciar nesse processo. O próprio crescimento físico da cidade pode ser responsável pela necessidade de abertura de novas unidades.

Obviamente, todo esse processo é diferente para diferentes cidades: algumas cidades crescem mais rápido que outras, outras inclusive podem observar um decréscimo na população total ou um decréscimo mais acentuado em faixas etárias específicas. Associado a isso, é necessário que se saiba qual a evolução espacial dessa demanda a longo prazo na cidade, para saber em quais regiões e de que maneira a população tende a se modificar ao longo do tempo.

Como consequência, os modelos usuais de previsão de demanda podem não fornecer bons resultados quando se trabalha com um longo horizonte de projeto, principalmente quando a variável espacial está em questão, devido às várias hipóteses simplificadoras necessárias para se adequar os dados necessários aos disponíveis e, principalmente, por não considerar a expansão física (territorial) da cidade, uma vez que são feitas extrapolações sempre sobre a mesma divisão territorial (geralmente as divisões de setores do último censo). No sistema proposto, considera-se a utilização de Autômatos Celulares (*Cellular Automata*) para previsão da evolução espacial da demanda, a médio prazo (neste caso, no mesmo intervalo de tempo entre os censos gerais, ou seja, 10 anos, pois é para esses instantes que se dispõe de dados). Além de poder incluir todas as variáveis utilizadas no modelo demográfico, o modelo em CA inclui também as relações de vizinhança, o que parece ser uma variável interessante quando se parte da hipótese de que um setor (ou uma célula) que tenha, por exemplo,

vizinhos com altos valores de densidade populacional apresenta grande probabilidade de ter também um alto valor de densidade populacional com o passar do tempo.

A metodologia para a construção de um modelo em CA segue, nos seus aspectos gerais, os mesmos passos do modelo demográfico para a previsão de densidades por creches e EMEIs apresentado no item 6.5.2. Assim, primeiramente deve-se construir um modelo em escala macroscópica, tentando reproduzir a expansão, em termos espaciais, da população da cidade nos últimos anos. Busca-se especificamente prever, a partir dos dados dos censos demográficos anteriores (neste caso, os de 1980 e 1991), a população da cidade no ano do último censo com dados disponíveis (atualmente, o de 2000). Como essa população é conhecida, pode-se validar o modelo, ou seja, avaliar a sua precisão e a viabilidade de se utilizar esse tipo de abordagem para a previsão de futuras demandas.

Como nos modelos em CA se trabalha com relações de vizinhança, deve-se evitar divisões espaciais com dimensões variadas e contornos irregulares, como é o caso dos setores censitários. Uma alternativa é trabalhar com malhas quadradas regulares, compostas por diversas células. Assim, deve-se transportar os valores de densidade dos setores censitários para as células, com o auxílio do SIG, e calcular as relações de vizinhança entre elas, definindo os estados das células conforme descrito no item 4.3.3. Para cada célula, devem ser calculadas a porcentagem de vizinhos em cada um dos quadrantes (Q1, Q2, Q3 e Q4) e a densidade média dos oito vizinhos, além da densidade da própria célula. Essas seis variáveis devem ser calculadas para os dados dos dois primeiros censos para, em conjunto, serem examinadas com o objetivo de definir as regras de transição dos valores de densidade média da célula ao longo do tempo. A opção adotada para a identificação dessas regras e para a estimativa da densidade para o censo mais recente foi através de modelos em Redes Neurais Artificiais. Caso o resultado obtido seja satisfatório (comparando-o com os valores reais conhecidos), deve-se construir novos modelos. Neste caso, os dados agora inseridos no modelo seriam as densidades por creches e EMEIs. A partir deles seria possível estimar os resultados para o ano previsto do próximo censo (2010). Qualquer projeção para outro ano, no futuro, não seria confiável, pois seria necessário incluir dados estimados (para 2010, por exemplo) como variável de entrada para o próximo instante (2020, por exemplo), o que resultaria em estimativas pouco consistentes.

Estimada a futura distribuição espacial da demanda, a previsão da oferta num futuro distante acaba por ser bem mais simples do que a demanda, uma vez que está diretamente associada a essa. Novamente deve-se recorrer aos modelos *location-allocation* para se definir onde deve ser alocada a demanda e, caso necessário, onde deverão ser abertas ou fechadas novas unidades escolares, buscando sempre minimizar os custos de deslocamentos dos usuários. Como a essa altura a demanda deve estar agregada aos setores censitários, pode-se considerar que todos os futuros usuários terão como origem da viagem o centróide do setor censitário (num estudo comparativo, LIMA *et al.*, 2001, mostraram que esse tipo de aproximação leva as distâncias médias a valores 5 % maiores do que os das distâncias calculadas de forma desagregada).

No entanto, algumas decisões estratégicas devem ser tomadas nessa fase: caso exista um crescimento da demanda, qual será a opção do administrador público? Abrir novas escolas ou aumentar a capacidade das existentes? Caso a demanda diminua, algumas unidades devem ser fechadas ou deve-se simplesmente reduzir a sua capacidade? Cabe ao sistema gerar diversas opções para facilitar a decisão. Nesse caso, uma ferramenta a ser empregada pode ser a avaliação multicritério, que pode incorporar critérios econômicos (como o custo de abrir uma nova escola) e subjetivos (custo social de se fechar uma escola tradicional) numa mesma escola. Além disso, caso se resolva construir uma nova escola numa determinada região, a análise multicritério pode ser utilizada para se decidir entre alguns possíveis locais para se construir uma escola, incluindo aí como critérios o custo monetário e a avaliação de *trade-offs* (compensações) de opções com custos mais baixos com outras com fatores negativos, como a proximidade de alguma fonte de poluição sonora (desde que dentro de certos limites, naturalmente), por exemplo.

A exemplo do que foi feito nas etapas anteriores, a Tabela 6.4 apresenta resumidamente as atividades e dificuldades encontradas na execução da Etapa III.

Tabela 6.4 – Resumos das atividades da Etapa III – Educação – Futuro Distante

<b>Dados necessários</b>	<b>Ferramentas necessárias</b>	<b>Problemas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Dados históricos de população dos últimos censos demográficos, por setor censitário e por faixa etária</i></li> <li>▪ <i>Georefenciamento da demanda agregada aos setores censitários</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Modelos de previsão de demanda baseado em Autômatos Celulares</i></li> <li>▪ <i>Análise Multicritério</i></li> <li>▪ <i>Gerenciador de banco de dados (incorporado ao SIG)</i></li> <li>▪ <i>Modelos de alocação (location-allocation)</i></li> <li>▪ <i>Modelos de localização de equipamentos</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Confiabilidade dos métodos de projeção de demanda usuais para o fim proposto</i></li> <li>▪ <i>Dificuldades na atribuição de pesos e outros requisitos para a Análise Multicritério</i></li> <li>▪ <i>Incerteza sobre o desempenho do modelo baseado em Autômatos Celulares</i></li> </ul>

#### 6.5.4 Etapas IV, V e VI: Saúde

Ao se definir a caracterização geral da demanda e da oferta, define-se também grande parte dos "inputs" necessários para as etapas IV, V e VI (presente, futuro próximo e futuro distante, Figura 6.1), relativas aos serviços de saúde tratados no sistema. Grande parte da metodologia, dados e ferramentas necessárias e problemas encontrados acabam por ser semelhantes aos do serviço de educação, razão pela qual serão aqui apresentados os pontos que apresentam alguma diferença em relação ao que foi apresentado nas Etapas I, II e III.

No caso do sistema de saúde, a abordagem acaba sendo um pouco diferente do sistema de educação, uma vez que a frequência dos usuários aos pontos de oferta não é diária. Além disso, a definição da abrangência (público alvo) do sistema condiciona os tipos de análises a serem efetuadas, uma vez que diferentes faixas etárias demandam diferentes serviços. No caso do sistema considerar toda a população, deve-se definir claramente quais são as necessidades de cada faixa etária: o tipo de atendimento necessário e em que "quantidade" (ou frequência). Para isso, faz-se necessária uma cuidadosa análise dos atendimentos do serviço de saúde, incluindo informações de anos anteriores. Uma outra definição necessária é a de qual tipo de serviço o sistema deverá abordar: se somente os serviços não-emergenciais, onde as medidas de desempenho são as relacionadas essencialmente à acessibilidade, ou se incluirá também os serviços emergenciais nos postos de saúde, onde as medidas relacionadas à cobertura, também presentes nos serviços não-emergenciais, passam a ser as mais importantes.

O que parece ser mais realista, pelo menos em um primeiro instante, seria o sistema abordar apenas as faixas etárias que estão sendo tratadas concomitantemente

com o sistema de educação, visto que, conforme citado no item 6.5.2, o sistema deve buscar um planejamento integrado dos sistemas de educação e saúde principalmente em termos de cadastro. Assim, com os cadastros já disponibilizados dos recém-nascidos e dos alunos da rede municipal de educação (admitindo-se que se obtenha a demanda desagregada georeferenciada) tem-se a base de dados praticamente pronta para se efetuar as etapas IV, V e VI (presente, futuro próximo e futuro distante, Figura 6.1), visando o atendimento pediátrico de rotina e a vacinação das crianças da faixa etária dos 0 aos 6 anos.

Ainda em relação à frequência da demanda, uma característica da demanda de 0 a 6 anos é que as visitas aos postos de saúde concentram-se principalmente no primeiro ano de vida, seja para atendimento pediátrico, seja para vacinação. No caso da vacinação, segundo a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), são previstas seis consultas para vacinação no primeiro ano (além daquelas aplicadas no nascimento) e uma durante o segundo ano. As outras vacinas, que geralmente são reforços, são aplicadas a partir dos 6 anos. Não estão sendo aqui consideradas as vacinas contra a Poliomielite, que são aplicadas diversas vezes até os 5 anos de idade, mas que concentram-se em grandes campanhas de vacinação e são aplicadas em diversos locais além dos postos de saúde. Quanto às consultas de rotina (acompanhamento), segundo a Sociedade Brasileira de Pediatria, o ideal é que do primeiro ao sexto mês de idade, a criança seja levada ao pediatra uma vez por mês. Dos 6 aos 12 meses, as consultas podem ser trimestrais. Daí em diante, o ideal é ir ao pediatra duas vezes ao ano. Partindo da hipótese, para efeito de planejamento, que as vacinas coincidam com as consultas de rotina (o que nem sempre ocorre na prática), têm-se um total de 8 visitas ao posto de saúde no primeiro ano e 2 visitas anuais, do segundo até o sexto ano de vida.

Com esses valores, a definição da demanda para os postos de saúde deve ser feita para todo o universo de população de 0 a 6 anos, ponderando a população de cada ano pela frequência de visitas ao posto de saúde e trabalhando com o número de consultas anuais, para efeito de dimensionamento das unidades de oferta. Como esse cálculo deverá ser feito anualmente até o ano  $n$ , pode-se analisar qual será o comportamento da demanda a longo prazo, em termos de distribuição espacial e de aumento ou redução no número de consultas. No caso da distribuição espacial, as hipóteses simplificadoras e as ferramentas de previsão (modelos demográficos ou com

Autômatos Celulares) devem ser as mesmas utilizadas no serviço de educação, uma vez que o universo da população é o mesmo. Além disso, repetem-se todas as considerações relativas aos problemas de georeferenciamento da demanda, da monitoração de alteração de endereços e problemas decorrentes da falta de planejamento e organização na administração pública, exaustivamente comentados na etapa de educação. Do mesmo modo que no sistema de educação, vale lembrar que não está sendo considerada a real demanda por serviços públicos de saúde na cidade, uma vez que uma parcela dos recém-nascidos será atendida por médicos particulares. No entanto, principalmente no que se refere ao sistema de vacinação, vale lembrar que a quase totalidade das vacinas consideradas “obrigatórias” é fornecida para toda a população nos postos de saúde.

Na saúde, quando se trabalha com um público alvo de 0 a 6 anos, a obtenção da demanda desagregada acaba sendo mais importante do que no sistema de educação, visto que o monitoramento das vacinações, por exemplo, acaba por ser fundamental na gestão dos serviços de saúde no presente. Para que esse monitoramento ocorra, é essencial que se conheça o endereço dos recém-nascidos, possibilitando um acompanhamento da aplicação na idade correta das vacinas obrigatórias. No caso do atendimento pediátrico, responsável pelo acompanhamento do crescimento (peso e altura) da criança, com um planejamento eficiente, com bases de dados bem estruturadas e com uma correta gestão, é possível identificar, por exemplo, quais as crianças que estão abaixo da curva de crescimento ideal e planejar possíveis ações do poder público. Esse cenário de medicina preventiva pode até mesmo ser estendido ao acompanhamento pré-natal, caso o cadastro seja feito antes mesmo do nascimento, diretamente com as gestantes.

A obtenção dos dados de localização espacial dos recém-nascidos (demanda desagregada) é, em tese, mais simples, uma vez que a entrada no sistema está concentrada em menos pontos do que no caso da educação, nos hospitais e/ou maternidades. No estudo de caso conduzido em São Carlos, por exemplo, mais de 90 % dos nascimentos concentram-se num único ponto (maternidade). Assim, cadastrando o recém-nascido no sistema já no nascimento inicia-se o acompanhamento, e, num cenário ideal, pode-se agendar com antecedência as consultas de rotina aos pediatras e as datas de vacinação, de acordo com o calendário de vacinação. Observadas essas peculiaridades, as atividades das etapas IV, V e VI (Figura 6.1) acabam, no geral, apresentando procedimentos bem semelhantes às etapas I, II e III (respectivamente).

A Etapa IV, do mesmo modo que a Etapa I, caracteriza-se por um enfoque basicamente operacional, onde devem ser feitos os ajustes necessários para que o sistema existente funcione com algumas alterações operacionais e, a princípio, poucos investimentos em novas infra-estruturas. Assim, também aqui devem ser utilizados os modelos *location-allocation*, com os quais, a partir da distribuição espacial dos recém-nascidos, busca-se a alocação dos mesmos aos postos de saúde que minimize os custos de deslocamento. Nesse caso, no entanto, na geração dos modelos não é preciso, via de regra, haver tanta preocupação com a capacidade das unidades de oferta (postos de saúde), visto que a frequência não é diária. As medidas de desempenho devem buscar maximizar a acessibilidade, otimizando a distribuição da demanda de modo que as crianças sejam atendidas no posto de saúde localizado mais próximo à sua residência. Essa distribuição otimizada da demanda, associada a um sistema de agendamento de consultas e vacinação eficiente, poderia permitir a gestão de cada posto de saúde de forma a evitar picos de atendimento e, conseqüentemente, longas esperas para os usuários.

No entanto, essa distribuição ótima pressupõe uma correta distribuição geográfica das unidades de oferta. Essa distribuição pode ser analisada a partir de medidas de cobertura, definindo-se a irradiação máxima e utilizando as ferramentas do SIG para identificar áreas não-cobertas pelos postos de saúde na cidade. Essas áreas seriam, prioritariamente, candidatas a receber novas unidades de oferta (instalação de novos postos de saúde), buscando sempre atingir a cobertura total da cidade. SILVA & SILVA (1997) realizaram um estudo dessa natureza na cidade de São Carlos identificando, àquela altura, as áreas consideradas não-cobertas, cuja demanda era atendida em postos de saúde espalhados pela cidade, aumentando assim o custo médio de deslocamento na cidade.

Aqui, mais uma vez, depara-se com problemas relativos à não consideração da atratividade das unidades de oferta, dessa vez, dos postos de saúde. Considera-se que todos os postos são equivalentes no que diz respeito às suas instalações, qualidade e qualificação dos médicos, entre outros, quando se sabe que, muitas vezes, os usuários preferem realizar grandes deslocamentos para serem atendidos por um médico considerado de confiança, por exemplo. Essa é sem dúvida uma questão importante que não está sendo incorporada ao sistema, onde o ideal seria, do ponto de vista desse projeto, a inclusão de alguma medida de atratividade. Em termos práticos, a



distância até o posto de saúde acaba por ser mais uma vez a variável mais utilizada em estudos semelhantes ao aqui conduzido.

Novamente vale lembrar que, *a priori*, não devem ser feitos grandes investimentos financeiros nessa fase, ainda que se identifique áreas não-cobertas na cidade. Qualquer alteração na oferta dos serviços (abertura ou fechamento de postos de saúde) deve ficar condicionada aos estudos de previsão de evolução de demanda a longo prazo (Etapas V e VI). No entanto, a identificação de áreas não-cobertas pelos postos atuais já é um grande indicio de onde deverão ser abertas novas unidades, caso as análises conduzidas nas Etapas V e VI atestem essa necessidade.

Após a Etapa IV, que basicamente se resume neste caso à alocação dos recém-nascidos ao posto de saúde mais próximo de sua residência, inicia-se a Etapa V (futuro próximo), caracterizada por ações táticas. Nessa etapa, os estudos relativos às áreas não-cobertas da cidade assumem grande importância, pois indicam onde devem ser abertos possíveis novos postos de saúde. Obviamente, a definição das áreas cobertas ou não cobertas está associada à irradiação máxima desejada para os postos de saúde. Diversos valores para irradiação máxima podem ser testados, analisando qual seria a consequência desses valores em termos de necessidade de novas unidades. Num planejamento de quatro anos, por exemplo, a administração pública pode ter como meta inicial cobrir toda cidade para uma determinada irradiação máxima (por exemplo, 2 km). Atingida esta meta, os valores poderiam ser então revistos para a sua redução progressiva. Todas essas alternativas podem ser facilmente geradas no SIG, indicando quais seriam as melhores localizações para as novas unidades.

Além disso, nessa etapa deve ser observado o mesmo tipo de gestão feita na Etapa IV, numa abordagem operacional, diretamente associada à contínua obtenção de dados desagregados dos nascimentos e à estimativa da distribuição espacial de recém-nascidos até o ano  $n$  (item 6.5.2). Mais uma vez, não está aqui sendo considerado o saldo migratório (conforme detalhado nas considerações sobre o sistema de educação), mantendo-se as mesmas hipóteses simplificadoras (compensação das migrações inter e intramunicipais).

Todos esse cenários podem ser repetidos, a princípio, para todos os anos até o ano  $n$ , de um futuro próximo a um futuro distante, levando-se em conta a previsão da população a ser atendida em cada setor censitário. Os modelos *location-allocation*

indicam os pontos de abertura ou fechamento de novas unidades (caso seja necessário) e possíveis alterações nas capacidades das unidades. No caso da necessidade de abertura de novas unidades no planejamento no futuro próximo, deve-se, como na Educação, avaliar o que acontecerá com a distribuição das crianças e os custos de deslocamento no ano  $n$ , de forma a avaliar se o investimento seria de fato necessário a longo prazo ou não. Novamente, vale ressaltar que nessa fase não devem ser promovidas grandes alterações de oferta, pois essa pode vir a se tornar ociosa num futuro distante. No entanto, caso seja necessária a abertura de novas unidades, deve-se novamente utilizar os recursos de gestão da Etapa I (modelos *location-allocation*) para se identificar quais seriam os melhores locais para instalação de novas unidades.

Com relação ao planejamento a longo prazo (Etapa VI), como este é baseado diretamente nos modelos de previsão de demanda, a metodologia acaba por ser bastante parecida com aquilo que foi discutido na Etapa III (Educação), incluindo aí as opções estratégicas de abertura ou fechamento de novas unidades decorrentes de um possível aumento na demanda a curto prazo e declínio a longo prazo. Recomenda-se que a política adotada seja coerente com a da educação apesar de, no caso da saúde, a abertura e fechamento de um posto de saúde ser mais fácil devido as menores dimensões físicas das instalações, comparativamente às escolas (muitas vezes, os postos de saúde funcionam em imóveis residenciais adaptados). Mais uma vez, a Avaliação Multicritério e os *Cellular Automata* (no caso de uma previsão a médio prazo) podem ser incorporadas ao modelo. A Tabela 6.5 apresenta resumidamente as atividades e dificuldades encontradas na execução das Etapas IV, V e VI. Alguns dos itens que já foram incluídos nas tabelas relativas à educação não aparecem aqui repetidos.

Tabela 6.5 – Resumos das atividades das Etapas IV, V e VI – Saúde

<b>Dados necessários</b>	<b>Ferramentas necessárias</b>	<b>Problemas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Caracterização geral da demanda e oferta</i></li> <li>▪ <i>Base operacional: dados e estimativas demográficas ("inputs" das Etapas I, II e III)</i></li> <li>▪ <i>Demanda georeferenciada de recém-nascidos</i></li> <li>▪ <i>Definição de valores de irradiação máxima dos postos de saúde</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Todas aquelas utilizadas nas Etapas I, II e III</i></li> <li>▪ <i>Compatibilização dos bancos de dados da saúde e da educação</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Georeferenciamento dos recém-nascidos</i></li> <li>▪ <i>Incorporar fatores de atratividade aos postos de saúde no cálculo dos custos de deslocamento</i></li> <li>▪ <i>Incorporar a demanda reprimida no modelo</i></li> <li>▪ <i>Dificuldades e hipóteses simplificadoras semelhantes às das Etapas I, II, III</i></li> </ul>

## **6.6 Atividades a serem desenvolvidas**

A metodologia detalhada nesse capítulo foi posta em prática num estudo de caso conduzido na cidade de São Carlos, SP. Apresentam-se, nesse item, as atividades que deverão ser desenvolvidas na elaboração do referido estudo de caso. Além de permitir uma melhor compreensão da seqüência de procedimentos a serem realizados no Capítulo 7, a descrição resumida das várias etapas pode auxiliar no desenvolvimento de trabalhos futuros visando a consolidação do SADE almejado.

### *a) Estabelecimento das bases do sistema*

1. *Base Institucional – formalização da parceria com a prefeitura e secretarias para obtenção de:*
  - *dados do sistema municipal de educação: endereço das escolas, dos alunos e escola em que estudam.*
  - *dados do sistema municipal da saúde: endereços dos recém nascidos e dos postos de saúde.*
2. *Base operacional – estruturação de um cadastro urbano no SIG para que se possa georeferenciar os endereços dos usuários obtidos em (1).*
3. *Dados demográficos – obtenção de dados anuais de população, nascimentos, e taxas de urbanização, agregados ao nível do município, e de população por faixa etária referentes aos últimos censos gerais, com um nível intermediário de agregação (por setor censitário).*

### *b) Definição da abrangência do sistema*

4. *Dimensão Social – definição das faixas etárias que serão abordadas na Saúde e Educação a partir dos dados obtidos em (1).*
5. *Dimensão Temporal – definição dos anos que caracterizarão os períodos futuros de análise (futuro próximo e futuro distante).*

### *c) Estudos demográficos preliminares*

6. *Determinação do ano de estabilização da população (ano n), feita a partir dos dados históricos de população (em valores absolutos e de taxas de crescimento anuais). Corresponde ao ano em que a taxa de crescimento anual da população será igual a zero.*
7. *Estimativa das taxas de crescimento anuais e população até o ano n.*
8. *Estimativa das taxas de urbanização até o ano n.*
9. *Estimativa da população urbana até o ano n, a partir de (7) e (8).*
10. *Estimativa do número anual de nascimentos até o ano n. Pode ser feita a partir dos dados históricos de nascimentos anuais.*
11. *Definição da dimensão temporal: presente, futuro próximo e futuro distante*

### *d) Definição das medidas de desempenho utilizadas*

12. *Para o Sistema de Educação, medidas de acessibilidade.*

13. *Para o Sistema de Saúde, medidas de cobertura.*

e) *Caracterização geral da demanda e da oferta*

14. *Etapa I – dados desagregados atuais.*

15. *Etapa II – dados desagregados aos setores censitários para os anos 1, 2 e 3 e dados agregados ao nível dos setores censitários dos últimos censos disponíveis.*

16. *Etapa III – dados agregados ao nível dos setores censitários dos últimos censos disponíveis.*

17. *Etapas IV, V e VI – mesmos dados das Etapas I, II e III (respectivamente).*

f) *Etapa I – Educação – Presente*

18. *Com a demanda e oferta de educação georeferenciadas, testar cenários de distribuição de demanda e oferta a partir de modelos de locação/alocação do SIG, tendo como referência a distribuição real conhecida. Analisar os diversos cenários através das medidas de desempenho.*

g) *Etapa II – Educação – Futuro próximo*

19. *A partir da estimativa da distribuição espacial da demanda, gerar novos cenários de locação/alocação, variando agora a porcentagem de atendimento incluindo possíveis expansões a partir dos valores do presente.*

h) *Etapa III – Educação – Futuro distante*

20. *Testar modelo baseado em CA para estimar a demanda a médio prazo e tentar prever a expansão territorial da cidade. Gerar cenários, tal como na Etapa II, agora para o ano n. Os efeitos da abertura de novas unidades propostas na Etapa II devem ser avaliados no ano n, buscando identificar regiões que observassem nesse ano diminuição da demanda.*

i) *Etapas IV, V e VI – Saúde*

21. *Definição de valores de irradiação máxima.*

22. *Cálculo das porcentagens de cobertura para cada valor de irradiação máxima via distância euclidiana.*

23. *Cálculo das porcentagens de cobertura via distância pelo sistema viário.*

## **7 ESTUDO DE CASO: SÃO CARLOS, SP**

---

*A metodologia definida na seção anterior foi posta em prática para uma aplicação na cidade de São Carlos, SP, de forma a avaliar a sua real viabilidade como base para o SADE almejado. Esta aplicação, que permitiu evidenciar muitos dos problemas antecipados ao longo dos capítulos anteriores, não tinha por objetivo obter resultados numéricos precisos, mas sim testar a hipótese de que a integração de diversas técnicas e ferramentas de planejamento poderiam formar as bases de uma Metodologia de Apoio à Decisão Espacial, a princípio, e posteriormente, de um Sistema de Apoio à Decisão Espacial. Assim, em diversas situações, foram utilizadas hipóteses simplificadoras, algumas das quais provavelmente não traduziam com exatidão as situações reais. Elas foram, no entanto, absolutamente necessárias para que se pudesse efetivamente concretizar as etapas propostas no estudo de caso, tendo em vista a escassez de dados, a abrangência do projeto e o tempo disponível para conclusão do mesmo. Assim, neste capítulo em que se apresenta o estudo de caso, procurou-se seguir, sempre que possível, os passos da metodologia descrita no Capítulo 6, detalhando-se as dificuldades e as soluções alternativas encontradas.*

São Carlos foi a cidade escolhida por razões óbvias: já se dispunha de alguns estudos sobre o tema e bases de dados anteriores, alguns contatos políticos já haviam sido realizados e o fato do projeto ser conduzido na própria cidade traria inúmeras vantagens do ponto de vista operacional. Além disso, a própria definição da metodologia, feita no Capítulo 6, já havia se valido de diversos exemplos, dados e parâmetros relativos à cidade. São Carlos pode ser considerada como uma típica cidade média brasileira, localizada na região central do estado de São Paulo, a 230 km da capital. A cidade tem uma forte tradição agro-industrial (cerca de 40 % da população trabalha no setor), mas as atividades do setor terciário estão crescendo rapidamente. Apresenta ainda um forte caráter tecnológico, com duas universidades públicas situadas na cidade. A área urbana de São Carlos corresponde a cerca de 45 km<sup>2</sup>, com um sistema viário bastante denso, organizado predominantemente de forma ortogonal.

## ***7.1 Etapas preliminares***

Nesse item são agrupados todos os aspectos referentes às etapas preliminares à montagem do sistema, que incluem o estabelecimento das suas bases, a definição da sua abrangência (temporal e social), estudos demográficos preliminares, a definição das medidas de desempenho a serem utilizadas e a caracterização geral da demanda e da oferta.

### *7.1.1 Estabelecimento das Bases do Sistema*

Durante as etapas iniciais de desenvolvimento do projeto foi realizado um contato preliminar com o prefeito da cidade, com o intuito de se apresentar o projeto e solicitar o acesso aos dados de educação e saúde da cidade, junto às respectivas secretarias municipais. Os primeiros dados obtidos foram os da rede municipal de ensino público. A Secretaria Municipal de Educação forneceu os dados de toda a demanda municipal de educação no ano 2000, que correspondem basicamente ao endereço e a escola que freqüentava cada um dos cerca de 13000 alunos da rede municipal de ensino público (incluindo Creches, EMEIs e EMEBs).

Como a cidade logo em seguida passou por uma mudança no seu comando político, optou-se pela antecipação da fase de levantamento e análise desses dados da educação (relativos ao ano 2000), já que não se sabia àquela altura como seria a relação com o secretário de educação que assumiria no início do ano seguinte (2001). Foram considerados apenas os alunos da rede municipal de ensino público. A idéia é que, em abordagens futuras, os dados da Secretaria Estadual de Educação sejam incorporados ao projeto. Quanto à Saúde, foi estabelecida uma parceria com o NIPE – Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Ensino – para o monitoramento dos endereços dos recém-nascidos na cidade de São Carlos.

De posse dos endereços dos alunos e dos recém-nascidos o projeto se defrontou com os problemas com cadastro e endereçamento já antecipados no capítulo anterior. Não havia um cadastro completo em SIG contendo os endereços da cidade. Apesar de se possuir uma base com os eixos das ruas digitalizados e o nome da maioria destas, construída na própria Universidade em projetos que antecederam a esse, a numeração das ruas estava atribuída apenas para a região central da cidade.

Uma das alternativas era montar uma equipe de pesquisadores e levantar os dados em campo, ou tentar obter junto ao IBGE os dados da numeração inicial e final (que os levantara para o censo 2000), dos lados direito e esquerdo, de todas as quadras da cidade, já que esse é o padrão utilizado para endereçamento na maioria dos SIGs. Contudo, essa hipótese foi descartada por dois motivos. Primeiro, o enorme trabalho que isso demandaria no caso de um levantamento em campo, já que a hipótese de se conseguir os dados junto ao IBGE não se concretizou (em virtude dos dados do censo 2000 não estarem disponíveis à época). Segundo, pelo fato comum a várias cidades brasileiras, como citado em ROSADO (2000), de diversos lotes não seguirem o padrão da distância métrica a um ponto específico de cada logradouro para definir a numeração do lote. Isso poderia levar o SIG a identificar localizações erradas para determinados endereços. Além disso, em loteamentos mais recentes da cidade, alguns lotes apresentam números pares e ímpares do mesmo lado da rua, dificultando ainda mais um cadastro numérico com precisão nos padrões do SIG.

Em vista desse sério problema optou-se por uma solução alternativa. Foi levantado junto ao SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos – um cadastro, em planilha eletrônica, contendo as coordenadas UTM de todos os pontos da cidade onde se tem fornecimento de água (cerca de 52000 pontos), partindo da hipótese bem plausível de que todo lote (residência) que apresentasse demanda por serviços de educação ou saúde seria servido pela rede de água. Isso pode significar um problema em favelas, por exemplo, onde devido às precárias condições de vida dos habitantes essa hipótese pode não ser real. Mas como em São Carlos a maioria dos bairros mais carentes é servida pela rede de água, a hipótese formulada parece adequada (segundo dados do próprio SAAE, a distribuição de água tratada atinge 99,5 % da população, com 665 km de tubulação de água instalados em toda a cidade). Além disso, desta forma o SIG pode fazer uma busca pontual em seu banco de dados, identificando a posição exata do endereço de determinado aluno, por exemplo, eliminando os problemas da inconsistência na numeração dos lotes. Todos os detalhes desse procedimento de montagem do cadastro de endereços utilizados nesse estudo de caso podem ser encontrados em LIMA *et al.* (2001).

### *7.1.2 Definição da Abrangência do Sistema*

No caso do sistema de educação, o envolvimento apenas do governo municipal e não do governo estadual sugere que o sistema deverá abordar as crianças das Creches e das EMEIs, cuja responsabilidade cabe ao município. No caso do ensino de 1º Grau, a inclusão no sistema fica condicionada à disponibilização dos dados das Escolas da Rede Estadual de Educação, uma vez que nesse nível de ensino a maioria das escolas é gerida pelo governo Estadual. A definição do “público-alvo” das Creches e EMEIs está diretamente ligada à legislação em vigor. No estado de São Paulo, por exemplo, até o ano 2001, as Creches atendiam crianças de 4 meses a 6 anos. Desde então, as Creches passaram a ser destinadas apenas às crianças de 4 meses a 3 anos e, a partir dos 3 anos, as crianças devem ser encaminhadas às EMEIs. No entanto, a partir dos dados levantados, verificou-se que essa separação ainda não ocorre na prática, pois existem alunos na faixa de 3 a 6 anos sendo alocados às Creches em tempo integral e obtendo ensino infantil (correspondente às EMEIs) em um dos períodos. Esse é inclusive um outro problema, uma vez que a demanda por alunos de Creches está dividida em alunos de tempo parcial (meio período) e tempo integral. Para fins de simplificação, todos os alunos de Creche serão considerados no mesmo grupo, não se fazendo diferenciação entre aqueles em tempo parcial ou integral, nem de faixa etária. No caso das Etapas II e III do sistema, no entanto, para fins de planejamento será considerada a demanda de 0 a 3 anos em Creches e 4 a 6 anos em EMEIs, imaginando-se que no futuro essa divisão estará concretizada. No caso do sistema de saúde, as análises deverão se concentrar no mesmo público alvo do Sistema de Educação Municipal, ou seja, as crianças de 0 a 6 anos.

A definição da dimensão temporal é feita a partir da definição do ano de estabilização da população (ano  $n$ ), apresentada a seguir nos estudos demográficos preliminares.

### *7.1.3 Estudos demográficos preliminares*

Os dados demográficos utilizados no estudo de caso foram obtidos em dois níveis de agregação: macroscópico, relativos a cidade como um todo, e intermediário, relativos aos setores censitários do IBGE. Relembrando, dados com agregação microscópica (ao nível do endereço residencial) foram obtidos junto à



Secretaria de Educação, não sendo, portanto, demográficos. Com relação aos dados macroscópicos, a fonte principal foram os dados obtidos junto ao SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados), que disponibiliza dados demográficos dos municípios paulistas com informações anuais a partir do final do século XIX (SEADE, 2002). Com relação aos dados com agregação intermediária, foram obtidos os dados demográficos dos censos gerais do IBGE de 1980, 1991 e 2000.

O primeiro passo destes estudos preliminares foi a determinação do ano  $n$ , baseado nos dados anuais obtidos do SEADE. Mais do que a pura aplicação de fórmulas matemáticas, esse processo envolveu uma série de considerações. A Figura 7.1 apresenta a evolução anual da população de São Carlos, a partir de 1894, em valores absolutos.

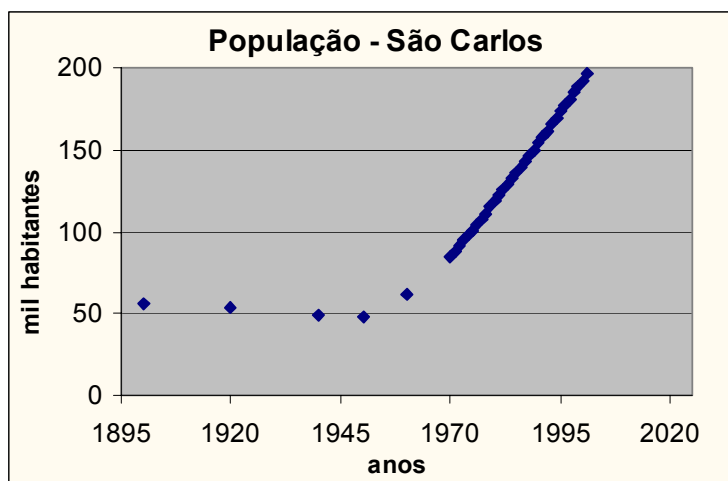


Figura 7.1 – População de São Carlos (SEADE, 2002)

A análise do gráfico relativo à evolução da população em São Carlos sugere uma tendência de crescimento linear, principalmente nos dados a partir de 1970. No entanto, se sabe não ser essa a tendência de fato prevista, uma vez que diversos estudos demográficos constataam e prevêem um crescimento populacional cada vez menor. Tanto assim que, quando se analisa a evolução da população em termos de taxa anual de crescimento a partir de 1970 (Figura 7.2), observa-se uma diminuição contínua em termos relativos. Como se observa uma tendência bastante consistente a partir de 1980, optou-se por utilizar esses valores num método de extrapolação de tendências para se estimar o ano  $n$  em que se espera a estabilização da população (neste caso, o ano  $n$  é aquele em que a taxa de crescimento anual é igual a 0). Assim, a Figura 7.3 apresenta os valores a partir de 1980 com a melhor linha de tendência ajustada aos

dados, com um valor de  $R^2$  igual a 0,9824, considerado bastante bom. A partir da extrapolação dessa curva de tendência, estima-se que o ano  $n$  ocorra em 2023.

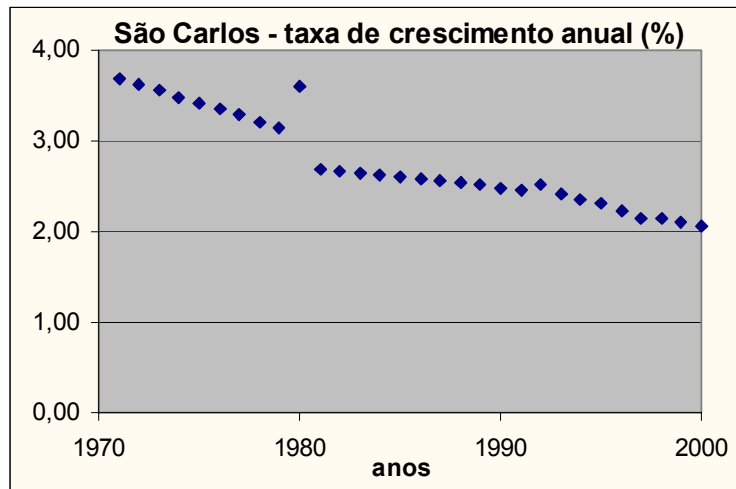


Figura 7.2 – Taxa de crescimento anual da população de São Carlos – 1970-2001

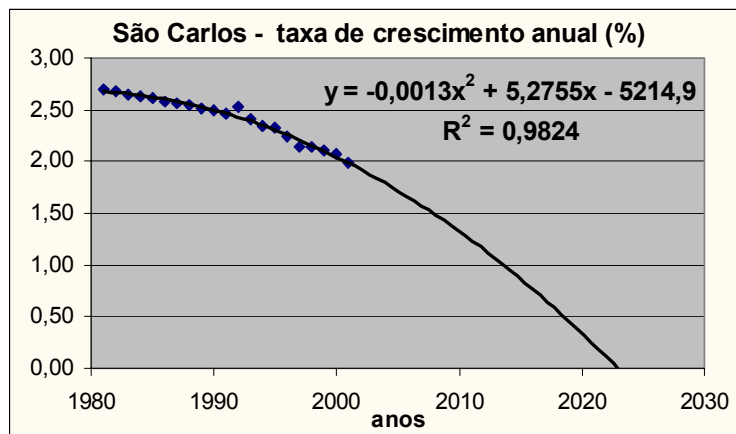


Figura 7.3 – Previsão da estabilização da população de São Carlos

A partir dessa curva foram estimados os valores da taxa de crescimento anual e de população para São Carlos a partir de 2002 até 2023. A Tabela 7.1 apresenta esses valores, além daqueles do período de 1980 a 2001, utilizados como base para as estimativas. No entanto, há que se considerar que os valores apresentados na Tabela 7.1 referem-se à população total, enquanto neste estudo está se considerando apenas a população urbana. Assim, é necessário também que se faça uma estimativa da evolução da taxa de urbanização. A Figura 7.4 apresenta os valores observados de taxa de urbanização de 1980 a 2000, com uma curva de tendência ajustada com o valor de  $R^2$  igual a 0,9996. A partir dessa curva foram estimados os valores de taxa de urbanização até o ano  $n$  e, a partir dessa taxa, a respectiva população urbana (Tabela 7.2).

Embora este crescimento da taxa de urbanização seja discutível, uma vez que experiências de outras cidades apontam para uma estabilização em um determinado valor, optou-se por supor que ela ainda continuaria crescendo. A razão para isto é simples: mesmo quem mora fora da zona urbana cada vez mais se utiliza dos serviços (inclusive de educação e saúde) localizados na cidade.

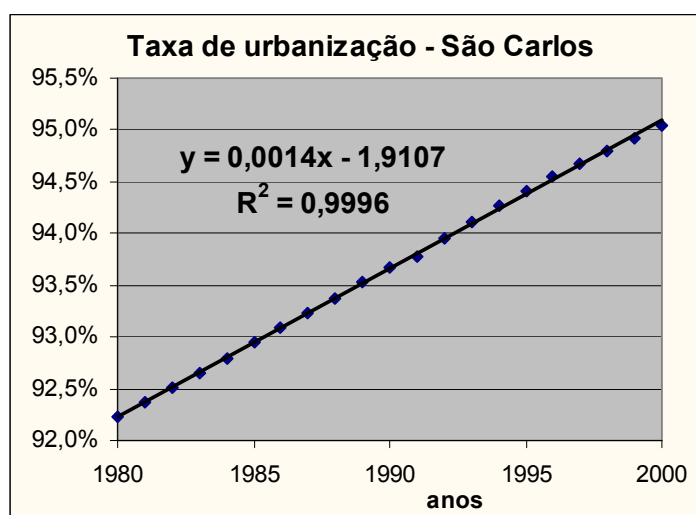


Figura 7.4 – Valores observados de taxa de urbanização de São Carlos

Tabela 7.1 – Valores observados e estimados de população e taxa de crescimento

OBSERVADOS			ESTIMADOS		
Ano	População	Tx. Cresc. (%)	Ano	População	Tx. Cresc. (%)
1980	119012		2002	200161	1,92
1981	122221	2,70	2003	203876	1,86
1982	125490	2,67	2004	207522	1,79
1983	128818	2,65	2005	211086	1,72
1984	132207	2,63	2006	214557	1,64
1985	135655	2,61	2007	217922	1,57
1986	139162	2,59	2008	221169	1,49
1987	142727	2,56	2009	224284	1,41
1988	146349	2,54	2010	227255	1,32
1989	150027	2,51	2011	230068	1,24
1990	153762	2,49	2012	232711	1,15
1991	157549	2,46	2013	235171	1,06
1992	161526	2,52	2014	237434	0,96
1993	165419	2,41	2015	239488	0,87
1994	169308	2,35	2016	241320	0,77
1995	173232	2,32	2017	242919	0,66
1996	177107	2,24	2018	244272	0,56
1997	180906	2,15	2019	245370	0,45
1998	184781	2,14	2020	246201	0,34
1999	188661	2,10	2021	246756	0,23
2000	192565	2,07	2022	247027	0,11
2001	196388	1,99	2023	247027	0,00

Tabela 7.2 – Valores observados e estimados de população urbana e taxa de urbanização

OBSERVADOS			ESTIMADOS		
Ano	População	Tx. Urb. (%)	Ano	População	Tx. Urb. (%)
1980	109753	92,2%	2001	187028	95,2%
1981	112888	92,4%	2002	190907	95,4%
1982	116088	92,5%	2003	194743	95,5%
1983	119355	92,7%	2004	198522	95,7%
1984	122686	92,8%	2005	202233	95,8%
1985	126084	92,9%	2006	205866	95,9%
1986	129545	93,1%	2007	209406	96,1%
1987	133070	93,2%	2008	212842	96,2%
1988	136659	93,4%	2009	216161	96,4%
1989	140308	93,5%	2010	219350	96,5%
1990	144020	93,7%	2011	222395	96,7%
1991	147750	93,8%	2012	225282	96,8%
1992	151754	94,0%	2013	228000	97,0%
1993	155674	94,1%	2014	230533	97,1%
1994	159590	94,3%	2015	232870	97,2%
1995	163540	94,4%	2016	234997	97,4%
1996	167442	94,5%	2017	236902	97,5%
1997	171268	94,7%	2018	238571	97,7%
1998	175169	94,8%	2019	239994	97,8%
1999	179076	94,9%	2020	241160	98,0%
2000	183021	95,0%	2021	242056	98,1%
			2022	242675	98,2%
			2023	243028	98,4%

Neste ponto cabe ressaltar que, numa aplicação efetiva, modelos demográficos mais elaborados poderiam ser utilizados, incluindo aí dados relativos às populações por faixa etária. Além disso, mas do que a previsão para a estabilização da população total, poder-se-ia analisar a evolução de faixas etárias da população, pois é de se supor que haverá um gradativo envelhecimento da população. No entanto, o objetivo dessa aplicação não é obter projeções demográficas bastante precisas, e sim ilustrar a aplicação da metodologia de planejamento. Desse modo, a estimativa do ano  $n$  por extrapolação de tendências pode ser considerada bastante razoável, razão pela qual este ano  $n$  foi aqui considerado como o ano de horizonte para o projeto.

Na seqüência, com a definição do ano  $n$  foi então estimado, ano a ano, o número de nascimentos na cidade em análise. Novamente definiu-se *a priori* que o método a ser utilizado seria também o de extrapolação de tendências. A Figura 7.5 apresenta a evolução do número de nascimentos anuais de São Carlos (nascidos vivos) a partir de 1894, em valores absolutos.

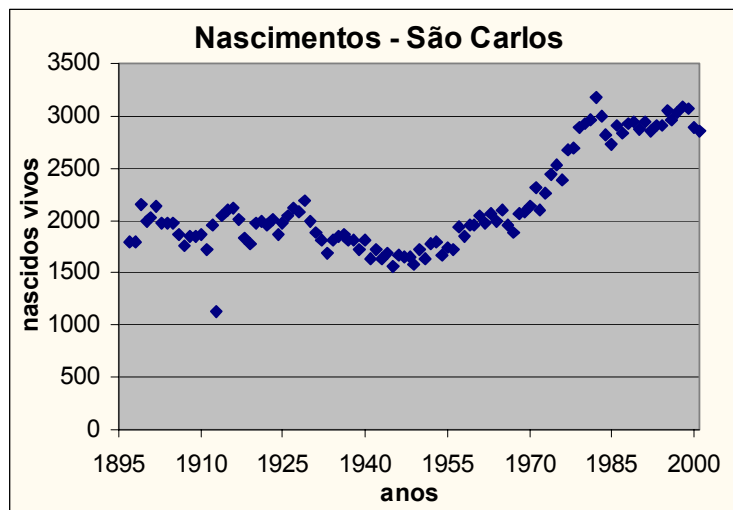


Figura 7.5 – Nascidos vivos em São Carlos (SEADE, 2002)

A análise do gráfico da Figura 7.5 sugere que houve uma certa estabilização no número de nascimentos também a partir da década de 80, interrompendo uma trajetória de crescimento que vinha desde a década de 40. Como a tendência mais recente parece ser a mais importante para esse tipo de previsão, optou-se por utilizar, uma vez mais, os dados a partir de 1980 para a previsão do número anual de nascimentos até o ano  $n$  (2023) (Figura 7.6).

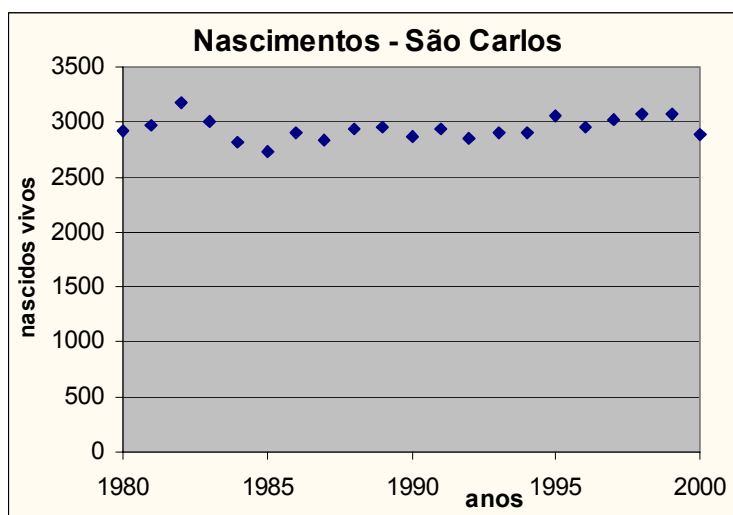


Figura 7.6 – Nascidos vivos em São Carlos – 1980 - 2001 (SEADE, 2002)

Apesar da aparente tendência de estabilização observada na Figura 7.5, quando se analisa a série completa dos dados, não se identifica uma linha de tendência clara nos dados a partir de 1980 (Figura 7.6). Assim, optou-se por utilizar a média aritmética dos valores (2938), uma vez que a relação entre o desvio padrão e a média é bastante baixa (3,4 %). Obviamente, numa aplicação real, com o andamento do projeto,

esse valor deve ser constantemente reavaliado, de posse de novos dados relativos ao número anual de nascimentos.

Estimados o ano  $n$  e o número de nascimentos anuais até  $n$ , foi definida a periodicidade da aplicação da metodologia. Assim, o ano zero foi definido como o ano 2000 e optou-se por realizar as análises no ano de 2004 (futuro próximo) e no ano de 2023 (futuro distante). No entanto, vale ressaltar que as análises podem ser efetuadas em todos os anos (quando se utiliza os modelos demográficos), não sendo aqui incluídas pelo simples fato de que o objetivo desta aplicação é demonstrar as potencialidades da metodologia e não apenas repetir os mesmos procedimentos de análise várias vezes.

#### *7.1.4 Medidas de Desempenho Utilizadas*

Entre as medidas de desempenho apresentadas no Capítulo 6, foram selecionadas para a utilização no estudo de caso:

- *Para o Sistema de Educação, medidas de acessibilidade (custos de deslocamento máximos, médios e totais, porcentagens de realocações e índices globais de acessibilidade);*
- *Para o Sistema de Saúde, medidas de cobertura (irradiação máxima e porcentagem de cobertura).*

#### *7.1.5 Caracterização Geral da Demanda e da Oferta*

Conforme amplamente discutido no Capítulo 6, a caracterização geral da demanda e da oferta acaba por ser a questão crucial para um funcionamento eficaz do sistema. Mais especificamente a da demanda, pois a partir de sua definição para o presente e projeções confiáveis para os futuros próximos e distante, a geração de cenários alternativos de decisão (ou cursos de ação) acaba por ser operacionalmente mais simples. Nesse contexto, e a partir dos motivos expostos no Capítulo 6, a idéia inicial de aplicação do sistema em São Carlos era a que se obtivesse o maior número possível de dados na forma desagregada, especificamente os dados de matriculas dos alunos nos anos 2000, 2001 e 2002 e o monitoramento dos endereços dos recém-nascidos desses mesmos anos. Assim, de posse desses dados, seria obtida a demanda desagregada no presente, para as Etapas I e IV, e projeções baseadas em dados desagregados para as Etapas II, III, V e VI, sendo essas projeções apenas “balizadas” pelas projeções demográficas realizadas em nível global.

No entanto, na prática, esses dados só puderam ser obtidos junto a Secretaria de Educação de maneira completa para o ano 2000. Apesar de insistentes contatos, além desses foram obtidos, há poucos meses da finalização deste trabalho, apenas parte dos dados de 2001, tendo faltado duas das 22 EMEIs. Isso foi consequência direta do quadro atual em que se encontrava o banco de dados da Secretaria Municipal de Educação: os dados de matrículas dos alunos estavam armazenados em papel, em registros manuscritos, e tiveram de ser digitados pelas secretárias das escolas antes de serem fornecidos, num processo extremamente demorado face ao tempo disponível para a execução deste trabalho. Tentou-se até mesmo obter esses dados manuscritos para se efetuar a digitação em computador, de forma a acelerar o processo, mas isto não foi possível.

Desse modo, a única opção que restou foi a de trabalhar com dados de população por faixa etária dos censos Demográficos de 1980, 1991 e 2000, agregados aos setores censitários, associados com dados anuais do SEADE agregados ao nível do município. Uma vez mais, vale ressaltar que isso não chega a ser um problema em termos teóricos, uma vez que a prioridade aqui é demonstrar a possibilidade e o potencial para a aplicação da metodologia. Com a disponibilização de mais bases de dados será sem dúvida possível refinar as estimativas para se obter projeções mais confiáveis. Assim, a única opção disponível foi a utilização de dados georeferenciados para um único ano (ano zero, ou seja, 2000) combinados com dados censitários para se estimar futuras distribuições de demandas.

Para o futuro próximo foram feitas tentativas de construção de dois tipos de modelos demográficos: um que trabalhava com a projeção do número anual de nascimentos e outro com a projeção de demanda por Creches e EMEIs. O primeiro deles foi considerado por incorporar os endereços de recém-nascidos obtidos da parceria com o NIPE. No entanto, os resultados não foram satisfatórios, pois foram incluídos dados obtidos junto ao NIPE de apenas um ano (no período de setembro de 1999 a agosto de 2000) e dados da distribuição espacial dos censos. Como a distribuição espacial dos dados do NIPE estava bastante diferente da distribuição da população da faixa de 0 a 1 anos obtida a partir do censo 2000 (provavelmente devido à diferença dos períodos de coleta dos dados e de algumas inconsistências nas bases de dados), optou-se por não utilizar nesse estudo os dados do NIPE. Entretanto, vale salientar que essa parece ser uma base de dados promissora para estudos posteriores.

Assim, optou-se por um modelo demográfico que estimasse diretamente a demanda por Creches e EMEIs, que foi o que apresentou os melhores resultados, quando comparado com a projeção de população total feita para se estimar o ano  $n$ . Esse modelo foi também utilizado para o futuro distante, e seus resultados confrontados com um modelo baseado em *Cellular Automata* (CA). A construção desse modelo demográfico será detalhada no item 7.3, que trata da Etapa II, enquanto que a construção do modelo baseado em CA será discutida no item 7.4, que trata da Etapa III. A seguir, no item 7.2, apresentam-se os estudos efetuados na Etapa I, incluindo aí a caracterização, de modo desagregado, da demanda e da oferta por serviços de educação para o presente.

### **7.2 Etapa I: Educação - Presente**

Com a base dos dados de endereços proveniente do SAAE teve início então o georeferenciamento<sup>2</sup> dos dados de 2000 da educação. Os dados foram obtidos em planilhas eletrônicas, preenchidas provavelmente a partir dos dados de matrícula dos alunos, sem grande padronização, mais um problema comum nos bancos de dados municipais. Além disso, erros de ortografia (entre outros) dificultavam ainda a identificação dos endereços. Em vista disso, todos os dados passaram por um processo preliminar de formatação, para que os endereços dos alunos estivessem exatamente iguais aqueles da base do SIG e este pudesse assim identificá-los e localizá-los espacialmente. Esse processo de formatação consumiu um tempo considerável, já que precisou ser realizado praticamente caso a caso.

Nesse processo, uma quantidade razoável de dados teve de ser desprezada porque não continha um ou mais de um dado fundamental, como, por exemplo, o nome da rua, o nome da escola, o número do lote e, algumas vezes, todos eles. Um outro problema encontrado se refere às ruas denominadas por letras no cadastro da educação, e que já possuíam um nome no cadastro do SAAE (mais atual), o que levou a uma busca detalhada na Prefeitura da cidade para a sua identificação. Ainda assim, diversas ruas ainda continuaram sem identificação. Os alunos da área rural não

---

<sup>2</sup> Apesar do termo mais adequado para esse processo parecer ser o de geocodificação, o termo georeferenciamento foi utilizado neste trabalho pois a geocodificação foi feita a partir das coordenadas UTM de pontos que representavam cada um dos lotes urbanos.



foram analisados neste trabalho principalmente pela falta do cadastro do sistema viário rural e inexistência dos endereços dentro do cadastro do SAAE. No caso das escolas e creches foram realizadas visitas de campo, para garantir a sua correta localização.

A Secretaria Municipal de Educação forneceu, em planilha eletrônica, o endereço residencial e a escola em que estudava cada um dos 12.809 alunos das Creches, EMEIs e EMEBs no ano 2000. Os dados das EMEBs não foram aqui utilizados, uma vez que esse nível de ensino não está sendo considerado no estudo de caso (apesar de também terem sido formatados e georeferenciados). Alguns registros não puderam ser utilizados por problemas de formatação nos endereços. Foram então efetivamente utilizados no estudo os endereços de 6.934 alunos (já descontados os alunos das EMEBs). Do mesmo modo, foram levantados na Secretaria Municipal de Educação os endereços de todas as Creches e EMEIs. A distribuição dos dados obtidos e utilizados é apresentada na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 – Dados da Secretaria Municipal de Educação para o ano 2000

Unidades	Total	Alunos		Demanda alvo
		Dados iniciais	Dados utilizados	
Creches	10	1.164	1.014 (87 %)	0 a 6 anos
EMEIs	22	6.522	5.920 (91 %)	3 a 6 anos
	<b>TOTAL</b>	<b>7.686</b>	<b>6.934 (90 %)</b>	

Depois de formatados, os dados referentes aos alunos matriculados no sistema municipal de educação foram lançados na base de dados do SIG. Na prática, isso significa que cada aluno teve seu endereço localizado num mapa, também no SIG, que representa o sistema viário da cidade. Do mesmo modo, cada uma das Creches e EMEIs foram também localizadas. Com isso, foram obtidos os primeiros resultados do projeto, que são os mapas gerados no SIG com a distribuição espacial de cada um dos alunos, divididos pelo tipo de escola (Creches e EMEIs).

Esses mapas são apresentados na Figura 7.7. As unidades de oferta (Creches e EMEIs) aparecem identificadas por letras, associando ainda a elas o número de alunos efetivamente matriculados (valores representados entre parênteses nas legendas). A maior concentração possível de alunos residindo próximo à unidade escolar que freqüentam é a situação desejável neste caso, de tal forma que o transporte para a escola possa ser feito predominantemente a pé. Contudo, os pontos dispersos (em

relação aos de mesma cor) mais afastados são os que devem ser o foco principal das análises, já que são esses pontos os responsáveis pelos maiores custos de deslocamento. Em alguns casos pode-se observar que o usuário reside quase que no outro lado da cidade em que está situada a escola que frequenta. Esse é um ponto negativo, uma vez que o usuário precisa viajar grandes distâncias para utilizar o sistema de ensino, muitas vezes necessitando valer-se de transporte motorizado para atingir o seu destino.

Assim, para uma primeira avaliação concreta do quadro existente na cidade foram calculadas as distâncias, através do sistema viário, de cada um dos 6.934 alunos até a sua respectiva Creche ou EMEI. Utilizando funções próprias do SIG, cada um dos endereços foi associado à interseção (cruzamentos de segmentos na camada contendo os eixos das ruas) mais próxima. O mesmo procedimento foi efetuado para cada uma das Creches e EMEIs. Foi então calculada a menor distância através do sistema viário entre esses pares de interseções (residência-escola) para cada um dos alunos, que corresponde ao **custo de deslocamento** individual. Com esses custos individuais foram identificados os valores mínimos e máximos e calculados os valores médios (e seus respectivos desvios padrão), os chamados **custos médios de deslocamento**, apresentados na Tabela 7.4 para os alunos das Creches e EMEIs.

Em termos gerais, pode-se considerar a precisão desse processo em cerca de meia quadra (aproximadamente 50 metros), uma vez que todos os endereços dentro dessa distância foram associados à interseção do sistema viário que se encontra na esquina mais próxima. Cabe ressaltar que os valores mínimos iguais a zero na Tabela 7.4 significam que alguns alunos residem muito próximo à escola em questão, o que implica que a interseção mais próxima da residência do aluno deve ser a mesma que é mais próxima do estabelecimento de ensino, resultando em distância zero em termos da rede viária no SIG. Os resultados são até certo ponto alarmantes, uma vez que o deslocamento médio das crianças das Creches é de mais de 2 km (ou 4 km para ida e volta), e no caso extremo, um deslocamento acima de 10 km. Vale lembrar que estão sendo considerados apenas os alunos da zona urbana, numa cidade que tem cerca de 8 km de extensão na direção Norte-Sul e 6 km na direção Leste-Oeste. No caso das EMEIs, embora o deslocamento médio seja menor (1,2 km, ou 2,4 km, se consideradas a ida e a volta), os casos extremos ainda se encontram na ordem de 10 km.

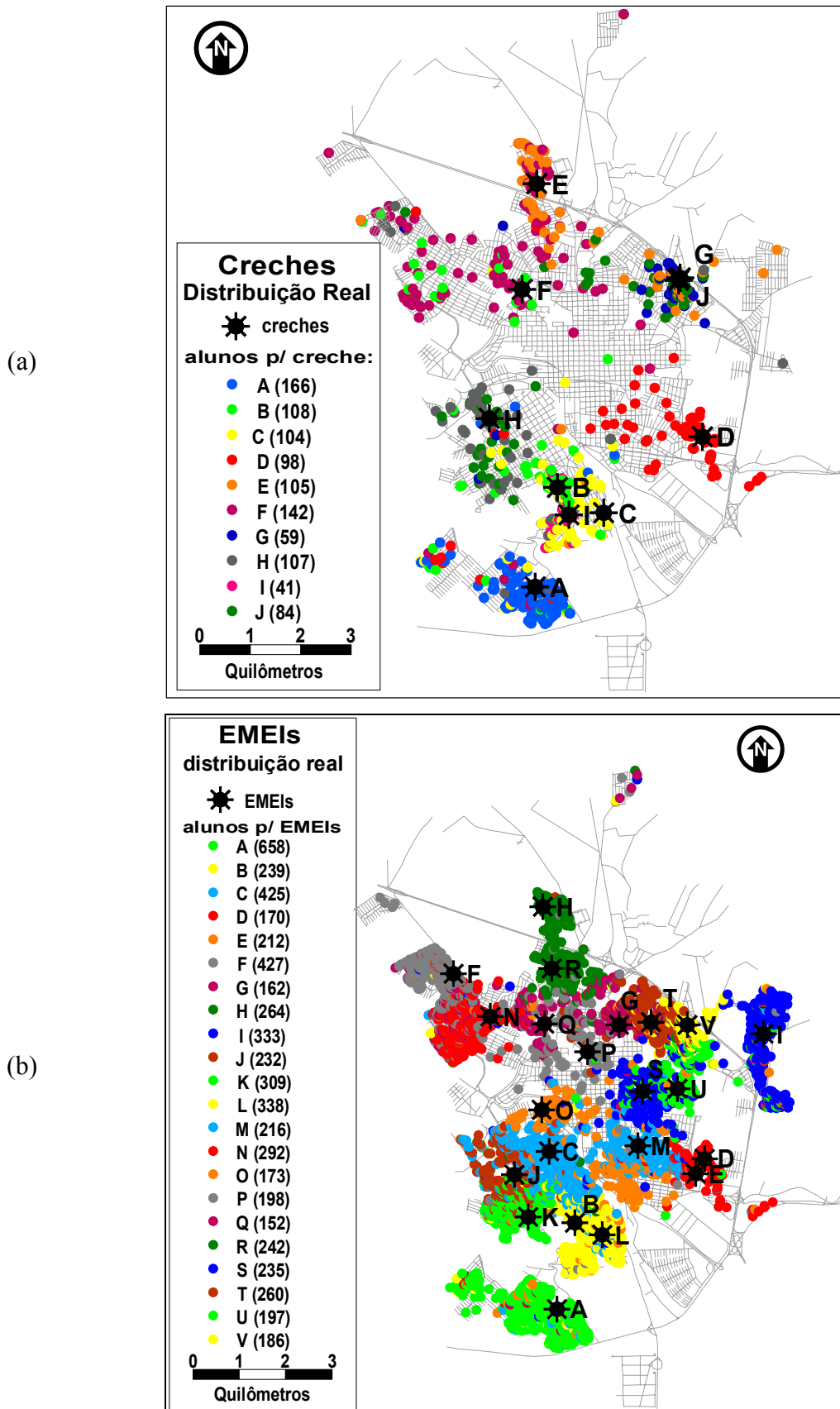


Figura 7.7 – Distribuição das Creches (a) e EMEIs (b) e respectivos alunos em 2000 (ano zero)

Tabela 7.4 – Distâncias desagregadas

Estabelecimento	Alunos	Custos de Deslocamento (km)			
		Mínimo	Máximo	Médio	Desvio Padrão
Creches	1.014	0,00	10,52	2,04	2,10
EMEIs	5.920	0,00	9,76	1,20	1,26

Conhecida a distribuição real da demanda e da oferta, pode-se iniciar a fase de geração de cenários alternativos, tanto de distribuição dos alunos como de possíveis localizações para novas Creches e EMEIs, que minimizassem os valores de deslocamentos médios e máximos. Para isto buscou-se, particularmente no caso dos deslocamentos máximos, utilizar como parâmetro de referência o Índice Global de Acessibilidade (IGA) para cidades circulares, nas variantes  $E_c$ ,  $E_{cd50}$  e  $E_{cd100}$ , derivados da Equação 6.2. Assim, os índices para uma cidade circular com 4.957 interseções e 183.433 habitantes, considerando-se como custo de deslocamento a distância percorrida na rede viária, são:  $E_c = 4,56$  km,  $E_{cd50} = 3,93$  km e  $E_{cd100} = 2,78$  km.

Foram utilizados dois tipos de modelos para a geração de cenários de locação/alocação para os alunos (separadamente para Creches e para EMEIs): um em que não se estabelece restrição de capacidade das instalações e outro que inclui uma restrição de capacidade. O primeiro deles, denominado *Facility Location*, busca a melhor distribuição possível de uma série de clientes (nesse caso, alunos) para uma série de instalações (nesse caso, Creches e EMEIs), buscando minimizar os deslocamentos (neste caso, médio ou máximo). O modelo pode incluir a abertura ou fechamento de novas unidades, indicando, nesses casos, qual deverá ser a localização da nova unidade ou qual das existentes deverá ser fechada. Não considera, no entanto, a capacidade das unidades, o que em alguns casos pode gerar como resultado uma redistribuição de alunos que não corresponda, na prática, ao real número de vagas oferecidas pelas Creches e EMEIs. Como é imprescindível considerar as capacidades das escolas nos cenários elaborados, foi utilizado adicionalmente um segundo modelo, também conhecido como *Hitchcock Transportation Problem* (CALIPER, 1996), que trabalha com fluxos em rede na busca da maneira mais eficiente de alocar uma série de clientes a uma série de instalações. Apesar de permitir a inclusão das capacidades das instalações, não considera, no entanto, a possibilidade de abertura e fechamento de novas instalações. As condições estabelecidas para os cenários construídos estão resumidas na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 – Cenários de alocação considerados para Creches e EMEIs – Etapa I

<b>C</b>	<b>Creches</b>	<b>EMEIs</b>
<b>1</b>	Somente as 10 creches originais Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade	Somente as 22 EMEIs originais Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade
<b>2</b>	Permitiu a abertura de novas creches Objetivo: dist. máxima menor que $E_c=4,56$ km Sem restrição de capacidade	Permitiu a abertura de novas EMEIs Objetivo: dist. máxima menor que $E_c=4,56$ km Sem restrição de capacidade
<b>3</b>	10 creches atuais + 1 gerada no cenário 2 Objetivo: dist. máxima menor que $E_c=4,56$ km Sem restrição de capacidade	Permitiu a abertura de novas EMEIs Objetivo: dist. máxima menor que $E_{cd50}=3,93$ km Sem restrição de capacidade
<b>4</b>	10 creches atuais - 1 fechada pelo modelo Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade	Permitiu a abertura de novas EMEIs Objetivo: dist. máxima menor que $E_{cd100}=2,78$ km Sem restrição de capacidade
<b>5</b>	Idem ao cenário 3, sendo a creche adicional uma que foi de fato aberta, em 2001	22 EMEIs atuais - 1 fechada pelo modelo Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade
<b>6</b>	Somente as 10 creches originais Objetivo: minimizar o custo médio global Com restrição de capacidade	22 EMEIs atuais - 2 fechadas pelo modelo Objetivo: minimizar o custo médio global Sem restrição de capacidade
<b>7</b>	Idem ao cenário 5, mas com restrição de capacidade	Somente as 22 EMEIs originais Objetivo: minimizar o custo médio global Com restrição de capacidade

Os resultados obtidos a partir dos cenários gerados são apresentados na Tabela 7.6 para as Creches e na Tabela 7.8 para as EMEIs. Nessas tabelas, as Creches e EMEIs, tanto as já existentes como as candidatas à abertura, estão identificadas por letras, às quais estão associadas às capacidades na distribuição real e para cada um dos cenários gerados, acompanhadas da respectiva variação percentual em relação às capacidades iniciais de cada unidade. As quatro últimas linhas das tabelas apresentam os resultados globais para a distribuição dos alunos em cada cenário, também acompanhados da variação em relação aos valores reais: o custo médio de deslocamento, o custo de deslocamento individual máximo, o custo total de deslocamento e a porcentagem de realocações. Os resultados são analisados em seguida, separadamente para creches e EMEIs. Todos os resultados obtidos podem ser representados em mapas temáticos. A título de exemplo, são apresentados na Figura 7.8 os mapas temáticos com a distribuição espacial dos alunos referentes ao cenário 1 para as Creches e EMEIs, que utilizam os mesmos dados de demanda e oferta da Figura 7.7, embora agora a demanda esteja redistribuída de forma a reduzir os custos de deslocamento. A simples comparação visual das duas figuras já é uma evidência que a distribuição real dos alunos pode ser melhorada.

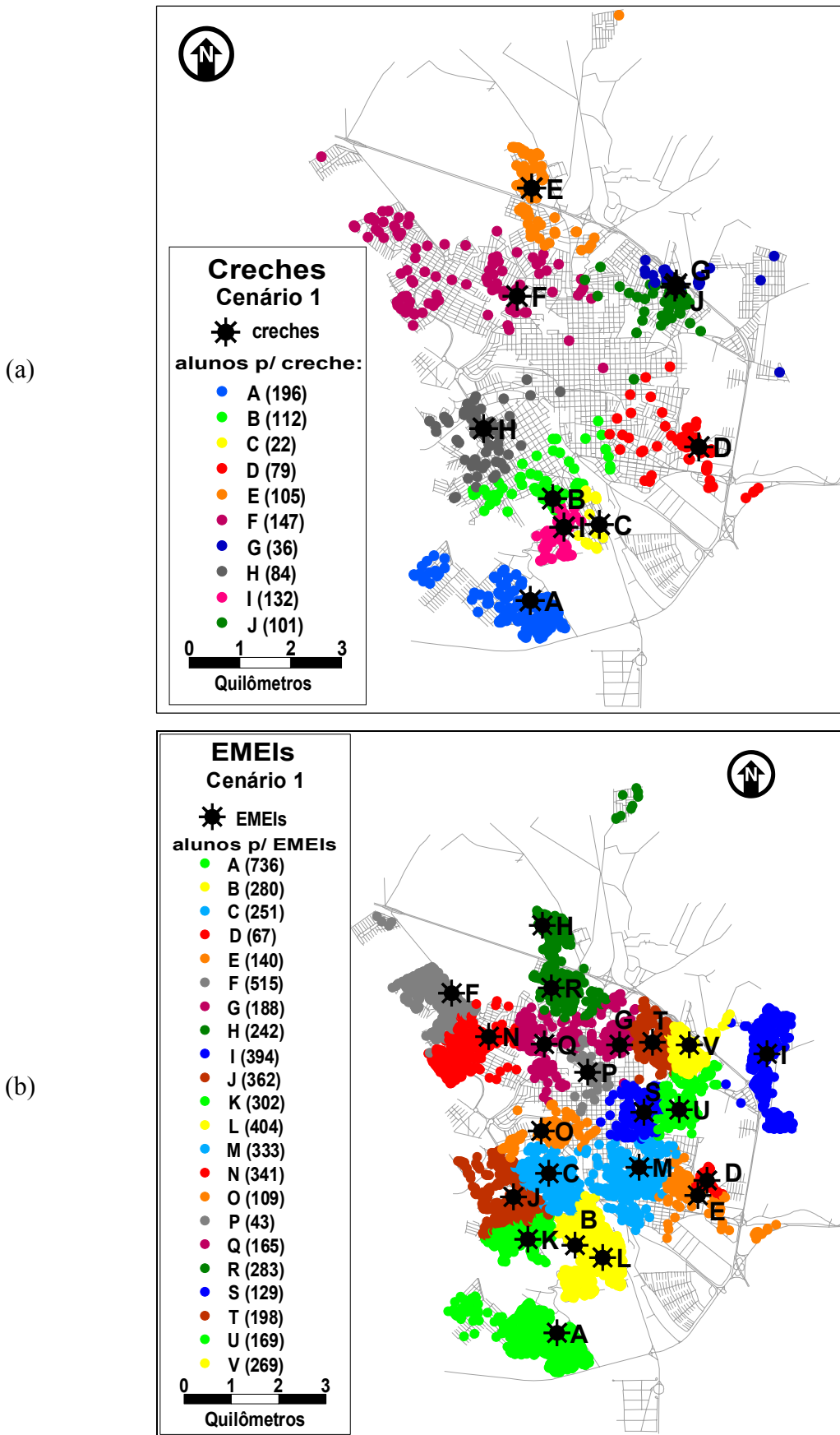


Figura 7.8 – Cenário 1 de distribuição das Creches (a) e EMEIs (b) e respectivos alunos em 2000 (ano zero)

### 7.2.1. Creches

Uma rápida análise no mapa com a distribuição real dos alunos das Creches (Figura 7.7) já indica os altos valores dos custos médio (2,04 km) e máximo (10,52 km) calculados em seguida. Como estes valores são relativos apenas à viagem de ida, nos casos extremos algumas crianças deslocam-se diariamente cerca de 20 km para freqüentar a Creche, valor muito elevado para uma cidade do porte de São Carlos. Partindo-se dessa constatação inicial, pode-se considerar inclusive que qualquer um dos cenários construídos apresenta resultados altamente satisfatórios, ainda que considerada apenas a redistribuição dos alunos, independente de abertura ou fechamento de novas unidades.

Tabela 7.6 – Cenários de alocação para as Creches – Etapa I

		CENÁRIOS															
		real	1	var	2	var	3	var	4	var	5	var	6	var	7	var	
CRECHES	existentes	A	166	196	18%	196	18%	196	18%	196	18%	196	18%	166	0%	166	0%
		B	108	112	4%	112	4%	112	4%	112	4%	112	4%	108	0%	108	0%
		C	104	22	-79%	22	-79%	22	-79%	22	-79%	22	-79%	104	0%	104	0%
		D	98	79	-19%	75	-23%	79	-19%	79	-19%	79	-19%	98	0%	98	0%
		E	105	105	0%	103	-2%	105	0%	105	0%	105	0%	105	0%	105	0%
		F	142	147	4%	89	-37%	89	-37%	147	4%	74	-48%	142	0%	71	-50%
		G	59	36	-39%	36	-39%	36	-39%	fechada		36	-39%	59	0%	59	0%
		H	107	84	-21%	84	-21%	84	-21%	84	-21%	84	-21%	107	0%	107	0%
		I	41	132	222%	132	222%	132	222%	132	222%	132	222%	41	0%	41	0%
		J	84	101	20%	101	20%	101	20%	137	63%	101	20%	84	0%	84	0%
	candidatas	K				4											
		L				58		58									
		M				2											
		N									73				71		
custo médio (km)		2,04	1,01	-50%	0,90	-56%	0,93	-55%	1,01	-50%	0,89	-56%	1,13	-45%	1,01	-50%	
custo máximo (km)		10,52	5,53	-47%	3,29	-69%	5,53	-47%	5,53	-47%	5,53	-47%	5,53	-47%	5,53	-47%	
custo total (km)		2070	1025	-50%	912	-56%	940	-55%	1028	-50%	905	-56%	1148	-45%	1029	-50%	
percent. realocações		--	439	43%	477	47%	473	47%	449	44%	483	48%	437	43%	478	47%	

No cenário 1, por exemplo, apenas a redistribuição dos alunos buscando minimizar o custo médio conseguiria uma redução de 50 % nesse custo médio, 47 % no máximo e 50 % no total, com porcentagem de realocação de 43 %. O mesmo raciocínio se repete nos cenários de 2 a 5, com maiores ou menores reduções variando com o número de novas Creches abertas ou fechadas. No entanto, nesses 5 primeiros cenários não são consideradas as capacidades das Creches, o que levou a altas variações em relação às capacidades reais das mesmas, fruto da alocação irrestrita a qualquer uma delas quando havia Creches próximas umas das outras. Os cenários 6 e 7 não apresentaram esse problema, já que redistribuíram os alunos de acordo com as capacidades. No cenário 6, com a redistribuição da demanda sem alteração nenhuma nas

capacidades, é possível reduzir o custo médio em 45 %, o máximo em 47 % e o total em 45 %, com porcentagem de realocações de 43 %. O cenário 7 incluiu no cálculo uma nova Creche que foi realmente instalada pela prefeitura em 2001. Apesar do cálculo não considerar a nova demanda do ano de 2001, para efeito do equilíbrio da demanda e da oferta considerou-se uma redução de capacidade em uma das Creches proporcional à capacidade da nova Creche, obtendo-se resultados similares ao do cenário 6, apenas com uma porcentagem de realocação um pouco maior (47 %).

A Tabela 7.7 apresenta a monitoração do IGA (ver item 6.3.3) para os diversos cenários, com o número de alunos não-atendidos pelo respectivo IGA e a porcentagem em relação aos 1.014 alunos. Na distribuição real, observa-se que 10,7 % dos alunos têm distâncias de deslocamento maiores do que o valor do Índice E, 13,7 % acima de  $E_c$ , 16,5 % acima de  $E_{cd50}$  e 27,2 % acima de  $E_{cd100}$ . Já no cenário 1, esses valores caíram para 0,6 %, 0,7 %, 1,3 %, e 6,6 %, respectivamente. No cenário 2, o objetivo foi que todos os alunos estivessem dentro da distância correspondente a  $E_c$  (4,56 km) das Creches. Para tanto, o modelo indicou que seria necessária a instalação de 3 novas Creches, duas delas para 2 e 4 alunos, respectivamente, já que esses 6 alunos se encontravam bastante afastados dos demais, a uma distância maior que 4,56 km de qualquer uma das Creches. Nesse ponto, percebeu-se que seria inviável assegurar a todos os alunos uma distância de deslocamento menor que o índice  $E_c$ . Optou-se então por buscar a maximização do número de alunos que fosse atendido por esse índice, uma vez que num universo de 1014 alunos apenas 6 deles não estarem cobertos pelo índice indica um bom nível de atendimento. Sob essa ótica, percebeu-se que a abertura de apenas 1 das 3 Creches propostas no cenário 2 já melhoraria significativamente o nível de atendimento, o que foi feito no cenário 3, quando os valores passaram para 0,5 %, 0,6 %, 0,6 %, e 3,6 %, respectivamente, para E,  $E_c$ ,  $E_{cd50}$  e  $E_{cd100}$ .



Tabela 7.7 – Alunos situados a distâncias maiores do que os valores dos Índices de Acessibilidade Globais – Creches

cenários	$E =$ <b>5,23</b>	$E_c =$ <b>4,56</b>	$E_{cd50} =$ <b>3,93</b>	$E_{cd100} =$ <b>2,78</b>	creches
<b>REAL</b>	109	139	167	276	10
%	10,7%	13,7%	16,5%	27,2%	
<b>1</b>	6	7	13	67	10
%	0,6%	0,7%	1,3%	6,6%	
<b>2</b>	0	0	0	31	13
%	0,0%	0,0%	0,0%	3,1%	
<b>3</b>	5	6	6	37	11
%	0,5%	0,6%	0,6%	3,6%	
<b>4</b>	6	7	13	67	9
%	0,6%	0,7%	1,3%	6,6%	
<b>5</b>	5	6	6	24	11
%	0,5%	0,6%	0,6%	2,4%	
<b>6</b>	6	7	15	100	10
%	0,6%	0,7%	1,5%	9,9%	
<b>7</b>	5	6	8	57	11
%	0,5%	0,6%	0,8%	5,6%	

No cenário 4 percebe-se que mesmo com o fechamento de uma das Creches os níveis de atendimento para todas as variantes do IGA se mantêm em patamares bem próximos aos dos outros cenários. No entanto, a hipótese de fechamento parece bastante irreal em termos reais, já que o modelo incrementa a capacidade da Creche mais próxima com o valor que havia anteriormente na Creche fechada. O cenário 5 apresentou resultados bastante semelhantes ao cenário 3, já que a Creche realmente aberta pela prefeitura localiza-se a cerca de 200 metros daquela proposta no cenário 3. Nos cenários 6 e 7, mais realistas por incluírem na análise a restrição de capacidade, os níveis de atendimento foram semelhantes. Vale registrar que alguns testes foram feitos para que todos os alunos fossem cobertos para  $E_{cd100} = 2,78$  km. No entanto, devido ao isolamento de alguns alunos, seria necessária a abertura de 7 novas Creches, a maioria delas para menos de 5 alunos, hipótese desconsiderada por ser totalmente irreal.

### 7.2.2. EMEIs

No caso das EMEIs, a distribuição real dos alunos não é tão ruim como a dos alunos das Creches, uma vez que para um número bem maior de alunos (5.920) o custo médio é menor (1,20 km), apesar do máximo ainda ser bastante elevado (9,76 km). Mais uma vez, todos os 7 cenários construídos mostraram que é possível reduzir os valores dos deslocamentos (Tabela 7.8). No cenário 1, por exemplo, a redistribuição dos alunos buscando minimizar o custo médio conseguiria uma redução

de 31 % nesse custo médio, 41 % no máximo e 31 % no total, com porcentagem de realocações de 29 %. Nos cenários de 2 a 6 também se obtêm reduções, maiores ou menores dependendo no número de EMEIs abertas ou fechadas. Isto sem considerar, no entanto, as capacidades das escolas. Assim como para as Creches, esses cenários levaram a altas variações em relação às capacidades reais das EMEIs. No cenário 7, com a redistribuição da demanda sem alteração nenhuma nas capacidades das escolas, é possível reduzir o custo médio em 19 %, o máximo em 41 % e o total em 19 %, com porcentagem de realocações de 31 %.

Tabela 7.8 – Cenários de alocação para as EMEIs – Etapa I

		CENÁRIOS															
		real	1	var	2	var	3	var	4	var	5	var	6	var	7	var	
EMEIs	existentes	A	658	736	12%	736	12%	736	12%	383	-42%	736	12%	736	12%	658	0%
		B	239	280	17%	280	17%	280	17%	280	17%	280	17%	280	17%	239	0%
		C	425	251	-41%	251	-41%	251	-41%	251	-41%	251	-41%	251	-41%	425	0%
		D	170	67	-61%	67	-61%	67	-61%	67	-61%	fechada		fechada		170	0%
		E	212	140	-34%	128	-40%	128	-40%	128	-40%	207	-2%	207	-2%	212	0%
		F	427	515	21%	515	21%	515	21%	515	21%	515	21%	515	21%	427	0%
		G	162	188	16%	188	16%	188	16%	188	16%	188	16%	216	33%	162	0%
		H	264	242	-8%	242	-8%	242	-8%	242	-8%	242	-8%	242	-8%	264	0%
		I	333	394	18%	394	18%	394	18%	394	18%	394	18%	394	18%	333	0%
		J	232	362	56%	362	56%	362	56%	362	56%	362	56%	362	56%	232	0%
		K	309	302	-2%	302	-2%	302	-2%	302	-2%	302	-2%	302	-2%	309	0%
		L	338	404	20%	404	20%	404	20%	404	20%	404	20%	404	20%	338	0%
		M	216	333	54%	333	54%	333	54%	333	54%	333	54%	333	54%	216	0%
		N	292	341	17%	341	17%	341	17%	341	17%	341	17%	341	17%	292	0%
		O	173	109	-37%	109	-37%	109	-37%	109	-37%	109	-37%	111	-36%	173	0%
		P	198	43	-78%	43	-78%	43	-78%	43	-78%	43	-78%	fechada		198	0%
		Q	152	165	9%	165	9%	165	9%	165	9%	165	9%	175	15%	152	0%
		R	242	283	17%	272	12%	272	12%	272	12%	283	17%	283	17%	242	0%
		S	235	129	-45%	129	-45%	129	-45%	129	-45%	129	-45%	132	-44%	235	0%
		T	260	198	-24%	198	-24%	198	-24%	198	-24%	198	-24%	198	-24%	260	0%
U	197	169	-14%	169	-14%	169	-14%	169	-14%	169	-14%	169	-14%	197	0%		
V	186	269	45%	269	45%	269	45%	269	45%	269	45%	269	45%	186	0%		
candid.	X				12		12		12								
	Y				11		11		11								
	W								353								
custo médio (km)		1,20	0,82	-31%	0,81	-33%	0,81	-33%	0,78	-35%	0,83	-31%	0,83	-31%	0,97	-19%	
custo máximo (km)		9,76	5,74	-41%	3,33	-66%	3,33	-66%	2,70	-72%	5,74	-41%	5,74	-41%	5,76	-41%	
custo total (km)		7101	4876	-31%	4782	-33%	4782	-33%	4596	-35%	4892	-31%	4915	-31%	5754	-19%	
porcent. realocações		--	1724	29%	1726	29%	1726	29%	2041	34%	1788	30%	1821	31%	1841	31%	

A monitoração do IGA para a distribuição real e para os diversos cenários, com as respectivas porcentagens de alunos não-atendidos é apresentada na Tabela 7.9. Comparados com os valores obtidos para as Creches, os das EMEIs são sempre melhores, tanto na distribuição real, onde somente 3 % dos alunos não estão cobertos pelo Índice  $E_c$ , por exemplo, como nos cenários construídos, onde a maior

porcentagem de não-atendimento foi de 4,2 %, para  $E_{cd100}$  no cenário 7. Cabe observar que as condições impostas para os cenários 2 e 3 produziram resultados idênticos (Tabelas 7.8 e 7.9).

Tabela 7.9 – Alunos situados a distâncias maiores do que os valores dos Índices de Acessibilidade Globais – EMEIS

cenários	$E =$ <b>5,23</b>	$E_c =$ <b>4,56</b>	$E_{cd50} =$ <b>3,93</b>	$E_{cd100} =$ <b>2,78</b>	EMEIS
<b>REAL</b>	143	180	234	452	
%	2,4%	3,0%	4,0%	7,6%	22
<b>1</b>	11	23	23	77	
%	0,2%	0,4%	0,4%	1,3%	22
<b>2</b>	0	0	0	54	
%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	24
<b>3</b>	0	0	0	54	
%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	24
<b>4</b>	0	0	0	0	
%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25
<b>5</b>	11	23	23	77	
%	0,2%	0,4%	0,4%	1,3%	21
<b>6</b>	11	23	23	77	
%	0,2%	0,4%	0,4%	1,3%	20
<b>7</b>	9	31	40	249	
%	0,2%	0,5%	0,7%	4,2%	22

### 7.2.3. Conclusões da Etapa I

A primeira constatação sobre as análises efetuadas na Etapa I, feita já a partir do georeferenciamento dos dados de demanda e oferta, foi que a falta de uma política para a alocação dos alunos às escolas gera uma distribuição espacial ruim, se comparada com os melhores resultados obtidos nos cenários gerados, onde se conseguiu reduções de até 50 % nos custos médios de deslocamento para as Creches. Com a utilização de um índice de acessibilidade global (no caso, o índice de ALLEN *et al.*, 1993 e algumas variações do mesmo) como parâmetro de referência é possível definir níveis de atendimento ou cobertura dos alunos para diversas opções hipotéticas de compactidade da cidade (variações no valor médio da densidade urbana). A análise dos resultados de São Carlos mostrou que a abertura de uma nova Creche, no local proposto pelo modelo, associada a uma realocação de 43 % dos alunos, faria com que 99 % dos alunos estivessem cobertos pelo IGA calculado para uma cidade hipotética circular e com densidade de 50 hab/ha, considerada uma cidade de referência razoavelmente compacta. Vale ressaltar que os dados estudados foram os dos alunos matriculados em 2000, e que em 2001 a Prefeitura abriu uma nova Creche, localizada a cerca de 200 metros da Creche proposta pelo modelo.

No caso das EMEIs, como a distribuição espacial dos alunos e das próprias escolas já era um pouco melhor, conclui-se que não seria necessária a abertura de novas unidades para se melhorar a acessibilidade dos alunos, uma vez que com a realocação de 31 % dos alunos seria possível cobrir 99 % deles pelo valor do IGA para uma cidade circular com densidade de 50 hab/ha. Obviamente, a geração dos cenários não significa que a Prefeitura deva implantá-los irrestritamente, obrigando os alunos a mudarem de escola, visto que isso é em alguns casos um processo bastante penoso. A finalidade desses cenários é mostrar que a situação atual está longe da ideal, e que medidas podem ser implantadas gradativamente com o intuito de melhorar a distribuição espacial dos alunos.

Vale ressaltar também que a inclusão de fatores de atratividade ou outros fatores comportamentais no cálculo da acessibilidade poderia incrementar o modelo. É o caso das Creches, por exemplo, em que se pode supor que os altos valores de deslocamento possam ser consequência das viagens de trabalho dos pais das crianças, que muitas vezes preferem deixar seus filhos numa Creche próxima do seu local de trabalho. Contudo, a inclusão desse tipo de informação em modelos dessa natureza não é simples, condicionada sempre à disponibilidade de dados para pesquisa.

Como conclusão final da Etapa I pode-se afirmar que, para os padrões de atendimento atuais e sem se considerar a demanda reprimida, não haveria, a princípio, a necessidade de abertura de novas unidades, pois uma política de redistribuição de alunos poderia reduzir significativamente os custos de deslocamento. Obviamente isso não significa que a Prefeitura não deva de forma alguma abrir novas unidades, pois isso melhoraria o nível de atendimento e atenderia, sem dúvida, a uma parcela da demanda reprimida. Se essas duas medidas fossem tomadas em conjunto (redistribuição de alunos e abertura de novas unidades), o resultado é que uma parcela maior da população seria atendida com melhores níveis de acessibilidade.

### ***7.3 Etapa II: Educação – Futuro Próximo***

O passo inicial para a realização da Etapa II foi a construção de um modelo demográfico para a previsão da distribuição espacial da população futura na faixa etária de Creches (0 a 3 anos) e EMEIs (4 a 6 anos). A construção desse modelo

inicia-se com a construção de um modelo global, para estimar a distribuição espacial futura da população total da cidade.

Assim, foram obtidos os dados de população por faixa etária de São Carlos dos censos demográficos de 1980, 1991 e 2000, agregados por setor censitário. Os dados do censo 2000 foram obtidos já georeferenciados junto ao IBGE, enquanto os dados dos censos de 1980 e 1991 haviam sido georeferenciados na Universidade de São Paulo em projetos anteriores a esse. Desse modo, foram calculadas inicialmente as densidades populacionais brutas por setor censitário para os três instantes, dividindo-se a população total de cada setor pela respectiva área (calculada automaticamente pelo SIG), apresentadas nos mapas temáticos da Figura 7.9.

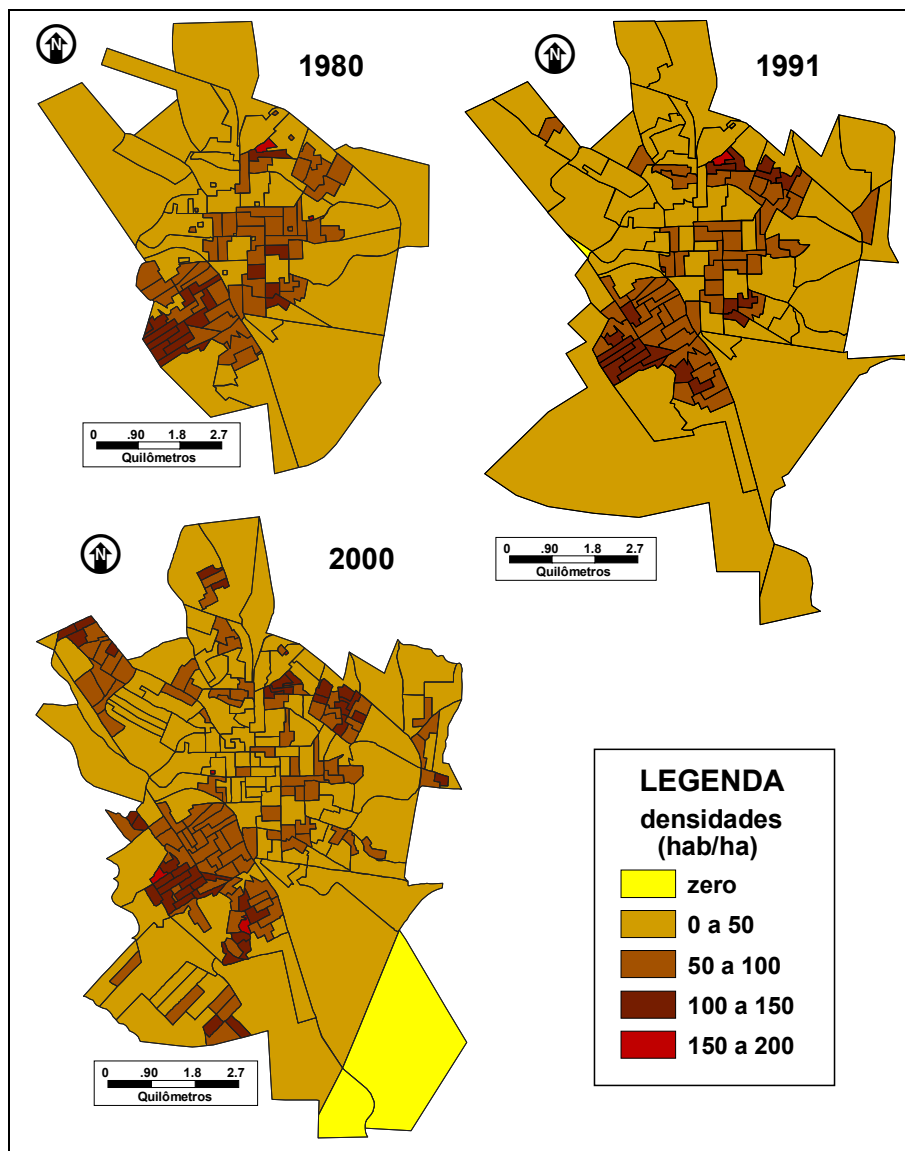


Figura 7.9 – Densidade populacional dos setores censitários de São Carlos

Nessa altura percebeu-se que a não consideração dos vazios urbanos e, principalmente, as grandes áreas dos setores censitários da periferia (que muitas vezes se estendem além da zona efetivamente ocupada com usos urbanos) poderiam distorcer bastante os resultados das projeções feitas com o modelo. Assim, optou-se em realizar um passo adicional, que consistiu em retirar dos valores de área dos setores, as áreas correspondentes aos vazios urbanos ou às áreas não ocupadas da periferia, obtendo-se assim uma densidade “líquida”<sup>3</sup>. Esse procedimento foi realizado diretamente no SIG, para os três instantes, tendo como base mapas de adensamento urbano e a malha viária da cidade. Apesar de não ser um método muito preciso, imagina-se que a retirada dos grandes vazios (tanto os internos à cidade como os da periferia) já resultaria em valores de densidade bem mais próximos do real. Com isso, passou-se a trabalhar com uma divisão em zonas da cidade que tinha por base a divisão dos setores do IBGE (nos três instantes), mas que não era mais exatamente a divisão original do IBGE. Isso não implica em problema algum, uma vez que se preservou a divisão da população pelos setores. Na maioria dos casos um setor passava a ser dividido em dois, um com população zero e outro com a população original, conforme o esquema apresentado na Figura 7.10. Assim, com uma mesma população alocada numa área menor, obtinha-se uma maior densidade populacional, onde ela de fato existia. Já às áreas não ocupadas nenhum valor de população era associado.

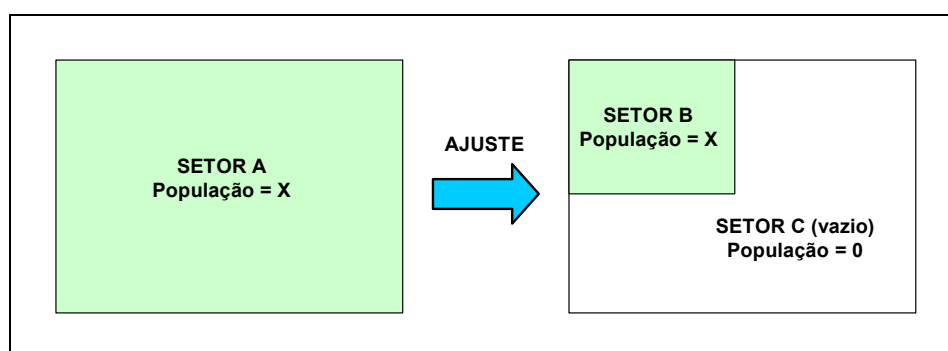


Figura 7.10 – Esquema para ajuste dos setores censitários

Além desse ajuste, foram feitos alguns ajustes adicionais buscando otimizar a nova divisão espacial que se dispunha, para que a mesma divisão viesse a ser utilizada no modelo baseado em *Cellular Automata*. Foram criados “setores” com população igual a zero na periferia das divisões de 1980 e 1991, além de igualar os

<sup>3</sup> O termo líquida aparece entre aspas pois, na realidade, a densidade populacional líquida deveria excluir todas as áreas não habitáveis, incluindo aí as áreas ocupadas pelo sistema viário, o que não foi o caso da densidade aqui calculada.

setores periféricos desses instantes aos de 2000, de modo a se trabalhar com a mesma área global para os três instantes. Além disso, foram adicionados na periferia setores com densidade zero (iguais para os três instantes), nas regiões em que havia um setor com densidade diferente de zero na “fronteira” da cidade, de tal modo que os setores nos limites extremos da cidade sempre tivessem densidade igual a zero. Esse detalhe justifica-se por ser relevante para o cálculo dos quadrantes das células dos vizinhos no modelo de CA. Depois de todos esses ajustes, os novos “setores” da cidade são apresentados nos mapas temáticos de densidades da Figura 7.11. As áreas em amarelo nos três mapas mostram as regiões sem população. Comparando-se a Figura 7.9 com a Figura 7.11, percebe-se que a área habitável da cidade (todas as áreas menos as em amarelo) é substancialmente menor do que a que seria considerada pela divisão original dos setores do IBGE.

Definida essa nova divisão (que será sempre a referida doravante), os dados de população relativos à divisão original de cada censo foram transportados para as respectivas novas divisões. A partir daí, as novas densidades populacionais por setor foram calculadas para os três instantes. Em seguida, os valores de densidade obtidos nos censos de 1980 e 1991 foram transportados para a divisão espacial do censo de 2000, através de ferramentas próprias do SIG para esse fim. Com isso, obteve-se, para a divisão espacial de 2000, os valores de densidade populacional em três instantes: 1980, 1991 e 2000. Esses valores foram transportados para uma planilha de cálculo, onde, para cada setor foi ajustada uma curva de tendência (linear), observando um limite inferior igual a zero para não se estimar densidades negativas. Isto possibilita prever, por setor, a densidade populacional para qualquer ano futuro. Obviamente, quanto mais distante esse futuro, menor será a precisão da estimativa. Nesse caso, no entanto, interessa a extrapolação até o ano  $n$  (2023) e, como até lá se conhece a estimativa da população urbana total da cidade (Tabela 7.2), é possível ajustar o modelo comparando essa população total à população total obtida pela soma da população de todos os setores.

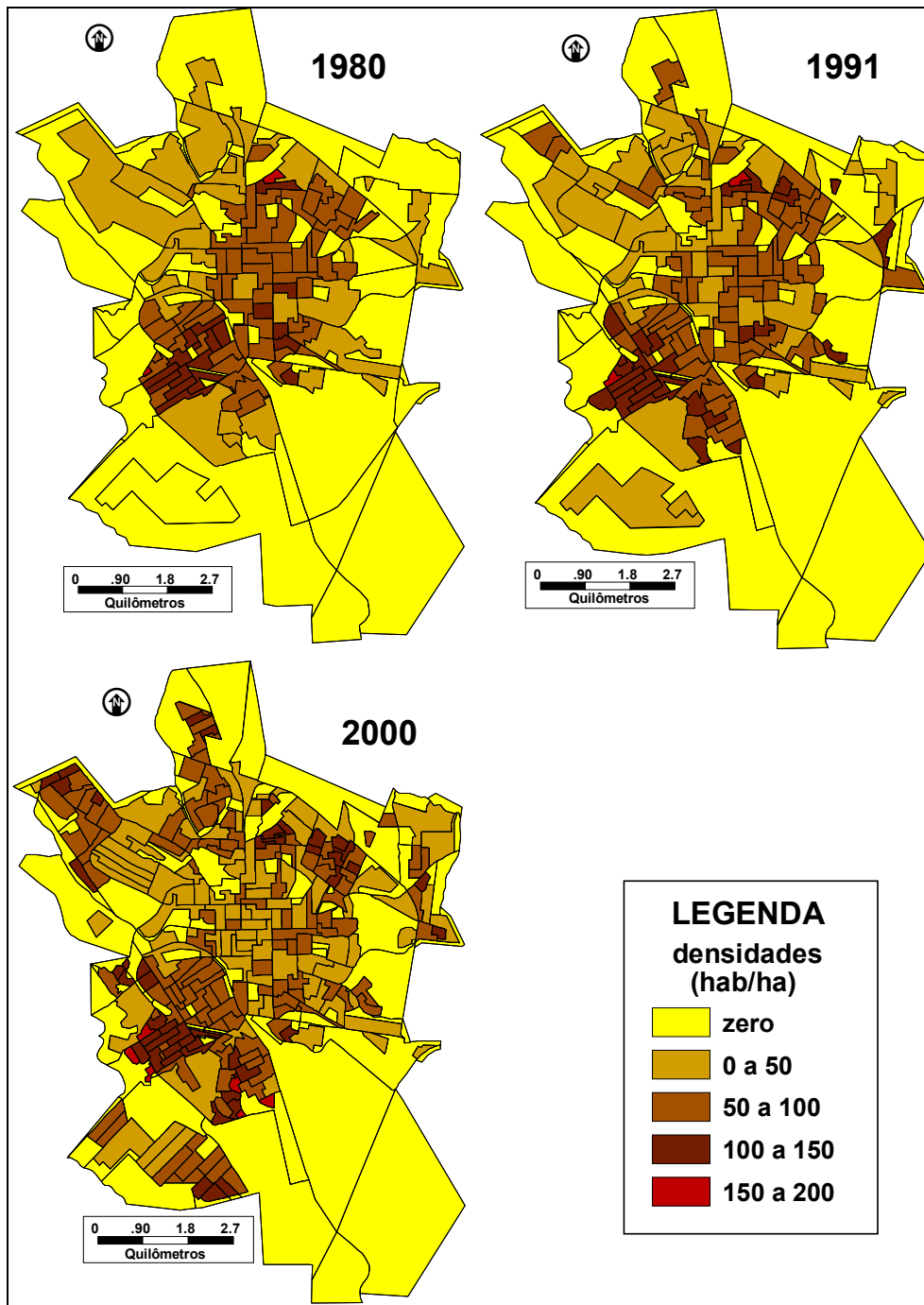


Figura 7.11 – Densidade populacional dos setores censitários ajustados de São Carlos

A Tabela 7.10 apresenta os resultados para as previsões realizadas para o ano 2004 (futuro próximo) para a população total, de forma resumida (são apresentados os resultados individuais de 10 setores e as somatórias para os 328 setores). As colunas D1980, D1991 e D2000 apresentam, respectivamente, os valores conhecidos de densidade dos censos de 1980, 1991 e 2000, para a divisão dos setores de 2000. A coluna D2004 apresenta os valores estimados de densidade para 2004 e a P2004, os valores de população, obtida pela multiplicação da densidade pela área. A somatória dos



valores obtidos de população para todos os setores (193.972) é então comparada ao valor estimado de população urbana para 2004 (198.522, da Tabela 7.2), o que indica que o modelo estimou, em termos globais, 2,3 % a menos que o esperado (segundo a projeção global de crescimento da população). Os valores da coluna D2004 são então multiplicados pelo fator de ajuste de 1,023, obtendo-se assim a estimativa final de valores de densidade para os setores em 2004 (D2004aju) e, multiplicando-se pela área, as respectivas populações (P2004aj).

Vale ressaltar que quanto menor for o fator de ajuste encontrado, provavelmente melhor será a estimativa da distribuição espacial. O fator de ajuste obtido nesse modelo global (de população total) deve ser utilizado para ajustar as estimativas de densidade por Creches e EMEIs, admitindo-se que a proporcionalidade seja a mesma para todos os setores, daí a importância de se calcular o modelo global.

Tabela 7.10 – Modelo demográfico por setores para 2004 (população total)

ano de previsão: 2004		variável: população total						
setores		observados			estimados		ajustados	
ID	área (m <sup>2</sup> )	D1980	D1991	D2000	D2004	P2004	D2004aj	P2004aj
3	60.722	112,58	122,17	108,53	112,20	681	114,83	697
4	194.714	10,34	19,63	56,03	59,17	1.152	60,56	1.179
9	150.220	0,00	0,17	88,07	87,40	1.313	89,45	1.344
10	269.835	0,00	6,98	49,70	51,93	1.401	53,15	1.434
11	301.900	0,00	7,00	47,73	49,98	1.509	51,16	1.544
12	213.789	0,00	6,76	57,49	59,57	1.274	60,97	1.303
13	826.615	10,16	19,60	16,25	19,77	1.635	20,24	1.673
15	87.029	0,40	109,77	102,84	143,41	1.248	146,78	1.277
19	41.334	0,00	0,00	142,26	141,08	583	144,39	597
21	53.727	124,24	169,65	155,23	172,17	925	176,21	947
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>TOTAIS (328 setores):</b>						<b>193.972</b>		<b>198.522</b>
<b>valor total da população urbanizada (Tabela 7.2):</b>						<b>198.522</b>	<b>D: densidade (hab./ha)</b>	
<b>fator de ajuste:</b>						<b>1,023</b>	<b>P: população (hab.)</b>	

Em seguida foram montados os modelos para projetar a demanda por Creches e EMEIs. A única diferença é que agora, ao invés de se trabalhar com a densidade global (população total), trabalha-se com a densidade por creches (população de 0 a 3 anos) e EMEIs (população de 4 a 6 anos). Partindo-se de dados anuais do SEADE com valores totais (para o município) de população nas faixas etárias de 0 a 4 anos e de 5 a 9 anos, foram desenvolvidas as equações básicas para São Carlos, obtendo-se:

$$PopCreche_{1980} = 0,8236 Pop_{0-4} \quad (7.1)$$

$$PopEMEI_{1980} = 0,4275 Pop_{0-4} + 0,1764 Pop_{5-9} \quad (7.2)$$

$$PopCreche_{1991} = 0,8046 Pop_{0-4} \quad (7.3)$$

$$PopEMEI_{1991} = 0,4275 Pop_{0-4} + 0,1764 Pop_{5-9} \quad (7.4)$$

Essas equações foram aplicadas a todos os setores censitários, nos respectivos censos (1980 e 1991), para obter a população na idade correspondente às Creches e às EMEIs. No caso do censo de 2000, as equações não foram necessárias, uma vez que os dados de população desse censo estavam reunidos em faixas anuais, no intervalo dos 0 aos 24 anos de idade, e em faixas de 5 anos, a partir dessa idade. Obtidas as populações de Creches e EMEIs para os três censos, foram calculadas as respectivas densidades e posteriormente transferidas para a divisão de setores de 2000, de modo análogo ao realizado para a densidade total. Em seguida, foi estruturado o modelo para estimativa de densidade de população nas faixas etárias correspondentes às Creches e EMEIs. Os resultados são apresentados de forma resumida (como na Tabela 7.10) nas Tabelas 7.11 e 7.12, também para o ano de 2004. O “sufixo” “cr” nas variáveis indicam dados relativos às creches, enquanto o “em” às EMEIs. O fator de ajuste é o mesmo do modelo global (1,023).

Tabela 7.11 – Modelo demográfico por setores para 2004 para Creches (população 0–3 anos)

ano de previsão: 2004					variável: população 0-3 ANOS (creches)			
setores		observados			estimados		ajustados	
ID	área (m <sup>2</sup> )	D1980cr	D1991cr	D2000cr	D2004cr	P2004cr	D2004cr_aj	P2004cr_aj
3	60.722	13,03	6,72	6,09	3,76	23	3,85	23
4	194.714	1,04	1,77	4,88	5,12	100	5,24	102
9	150.220	0,00	0,02	10,92	10,83	163	11,09	167
10	269.835	0,00	0,87	4,82	5,11	138	5,23	141
11	301.900	0,00	0,87	4,74	5,03	152	5,14	155
12	213.789	0,00	0,84	5,19	5,47	117	5,59	120
13	826.615	1,02	1,77	1,08	1,36	112	1,39	115
15	87.029	0,05	13,67	8,04	13,13	114	13,44	117
19	41.334	0,00	0,00	12,10	12,00	50	12,28	51
21	53.727	15,23	10,95	8,19	6,63	36	6,78	36
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>TOTAIS (328 setores):</b>						<b>11.239</b>		<b>11.498</b>
<b>fator de ajuste (obtido do modelo para pop. total)</b>						<b>1,023</b>	<b>D: densidade (hab./ha)</b>	
<b>valor total ajustado</b>						<b>11.498</b>	<b>P: população (hab.)</b>	

Tabela 7.12 – Modelo Demográfico por setores para 2004 para EMEIs (população 4–6 anos)

ano de previsão: 2004		variável: população 4-6 anos (EMEIs)						
setores		observados			estimados		ajustados	
ID	área (m <sup>2</sup> )	D1980em	D1991em	D2000em	D2004em	P2004em	D2004aj_em	P2004aj_em
3	60.722	8,40	5,54	4,45	3,39	21	3,47	21
4	194.714	0,87	1,33	3,65	3,80	74	3,89	76
9	150.220	0,00	0,01	6,86	6,81	102	6,96	105
10	269.835	0,00	0,60	3,85	4,05	109	4,14	112
11	301.900	0,00	0,60	3,61	3,81	115	3,90	118
12	213.789	0,00	0,58	4,02	4,21	90	4,31	92
13	826.615	0,86	1,33	0,75	0,93	77	0,95	79
15	87.029	0,01	9,41	6,89	10,40	90	10,64	93
19	41.334	0,00	0,00	5,81	5,76	24	5,89	24
21	53.727	10,73	8,88	7,63	6,96	37	7,12	38
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>TOTAIS (328 setores):</b>						<b>8.895</b>		<b>9.103</b>
<b>fator de ajuste (obtido do modelo para pop. total)</b>						<b>1,023</b>	<b>D: densidade (hab./ha)</b>	
<b>valor total ajustado</b>						<b>9103</b>	<b>P: população (hab.)</b>	

Estimada a distribuição espacial da população total por Creches e EMEIs, iniciou-se a fase de geração de cenários alternativos, num processo semelhante ao utilizado na Etapa I. Aqui, no entanto, as análises foram mais sucintas, uma vez que a capacidade de geração de um grande número de cenários pelo sistema e de incorporação de diversas medidas de desempenho já foi demonstrada na Etapa I. Para a Etapa II, procurou-se gerar apenas alguns cenários, onde o objetivo foi sempre minimizar o custo de deslocamento médio, considerando, no caso das Creches a hipótese de se manter a porcentagem de atendimento observada em 2000 (10 %) e a de uma expansão de 50 % (15 %), para se analisar o efeito dessas hipóteses (associados à evolução da demanda) em termos de necessidade de novas unidades de oferta (ou expansão das existentes). No caso das EMEIs, foi considerada apenas a hipótese de se manter a mesma porcentagem de atendimento observada na Etapa I. Vale ressaltar que a porcentagem considerada (70 %) é calculada em função dos 5.920 endereços que se conseguiu georeferenciar. Essa porcentagem não foi calculada em função do número total de matrículas (6.522, o que resultaria em 78 % de atendimento) pois é bem provável que os endereços que não se conseguiu georeferenciar distribuam-se por todas as EMEIs, o que aumentaria a capacidade considerada de cada uma delas. No caso das Creches, essa diferença é bem menor (cerca de 0,3 %) e foi também desconsiderada. Para todos os cenários criados foram sempre utilizados os modelos sem e com restrição de capacidades (sempre

referidos, respectivamente por **FL**, de *Facility Location*, e **TP**, de *Transportation Problem*) de forma conjunta, pois o primeiro indicava quais seriam os melhores locais para a abertura de novas unidades e o segundo distribuía a demanda pelas unidades, de acordo com as respectivas capacidades.

Como agora os cenários são gerados para dados agregados, no caso das Creches os primeiros cenários repetiram as hipóteses de alguns cenários da Etapa I, para que se pudesse comparar as diferenças entre os modos desagregados e agregados. O cenário 1 corresponde aos cenários 1 e 6 da Etapa I (sem e com restrição de capacidade, respectivamente), para a mesma demanda georeferenciada observada em 2000 (1.014), que foi agregada aos setores. O cenário 2 corresponde aos cenários 5 e 7 da Etapa I (sem e com restrição de capacidade, respectivamente), incluindo a nova Creche aberta em 2001, somando à demanda de 2000 os alunos que foram alocados à nova Creche em 2001 (101, ou seja, um total de 1.115). O cenário 3 considerou a demanda de 2004, para uma porcentagem de atendimento igual à de 2000 (10 %, ou seja, demanda de 1.155 e aumento de 40 crianças em relação ao número absoluto de 2001), e abertura de 1 nova Creche, enquanto o cenário 4 considerou uma expansão de 50 % na porcentagem de atendimento (15 %, ou seja, demanda de 1.724 crianças e aumento de 609 crianças em relação ao número absoluto de 2001), e abertura de 6 novas Creches. No caso das EMEIs, foram gerados apenas dois cenários. O cenário 1 também foi uma repetição dos cenários da Etapa I, correspondente nesse caso aos cenários 1 e 7, onde a demanda georeferenciada foi agregada aos setores. O cenário 2 manteve para 2004 a mesma porcentagem de atendimento observada em 2000 (70 %, ou seja, demanda de 6.376 e aumento de 456 alunos em relação ao número absoluto de 2000).

O número de Creches e EMEIs a serem abertas foi definido considerando-se que as novas Creches teriam capacidade padrão de 100 crianças (baseado na capacidade da Creche aberta em 2001, para 101 alunos), e as novas EMEIs capacidade padrão para 250 alunos (baseado na média de capacidade das EMEIs existentes, de 269 alunos). Esses valores padrões sofreram ajustes em algumas unidades, para que se igualasse a demanda total à oferta total (requisito do modelo com restrição de capacidade). Por exemplo, no cenário 4 (Creches), os 609 alunos corresponderiam a 6 novas Creches (5 com 100 crianças e 1 com 109). As condições estabelecidas para os cenários construídos estão resumidas na Tabela 7.13.

Tabela 7.13 – Cenários de alocação considerados para Creches e EMEIs – Etapa II

<b>C</b>	<b>Creches</b>	<b>EMEIs</b>
<b>1</b>	Repetir hipóteses e demanda dos cenários 1 e 6 da Etapa I, agregando a demanda georeferenciada aos setores	Repetir hipóteses e demanda dos cenários 1 e 7 da Etapa I, agregando a demanda georeferenciada aos setores
<b>2</b>	Inclui as 11 creches existentes (10 creches em 2000 mais a que foi aberta em 2001). Porcentagem de atendimento: 10 %	22 EMEIs + 2 novas Porcentagem de atendimento: 70 %
<b>3</b>	11 creches existentes + 1 nova Porcentagem de atendimento: 10 %	
<b>4</b>	11 creches existentes + 6 novas Porcentagem de atendimento: 15 %	

Os resultados obtidos a partir dos cenários gerados são apresentados na Tabela 7.14 para as Creches e na Tabela 7.15 para as EMEIs. Nessas tabelas, as Creches e EMEIs, tanto as já existentes como as candidatas à abertura, estão identificadas por letras (as mesmas da Tabela 7.6, para as creches de A a K, e da Tabela 7.8, para as EMEIs de A a V), às quais estão associadas às capacidades para os dois modelos gerados em cada cenário: sem (FL) e com (TP) restrição de capacidade, acompanhadas da respectiva variação percentual em relação às capacidades de cada unidade. A parte inferior das planilhas apresenta o número de unidades de oferta, de alunos e os resultados globais para a distribuição dos alunos em cada cenário, também acompanhados da variação em relação aos dois modelos: os custos médio, máximo e total. Os resultados são analisados em seguida, separadamente para creches e EMEIs.

### 7.3.1. Creches

A comparação do cenário 1 com os cenários 1 e 6 gerados na Etapa I (Tabela 7.6) mostra apenas que a diferença em se calcular os custos de deslocamento de modo agregado e desagregado é relativamente pequena. Em termos globais, no modelo sem restrição de capacidade (FL), a diferença é de cerca de 8 % para os custos médio (1,01 km, desagregado, e 0,93 km, agregado) e total (1.025 km, desagregado, e 941 km, agregado) e 20 % para o custo máximo (5,53 km, desagregado, e 4,46 km, agregado). No modelo com restrição de capacidade (TP), 6 % para o custo médio (1,01 km, desagregado, e 1,07 km, agregado), 5 % para o custo total (1.029 km, desagregado, e 1.079 km, agregado) e 14 % para o custo máximo (5,53 km, desagregado, e 4,46 km, agregado). A diferença um pouco maior para o custo máximo ocorre porque os casos

extremos do caso desagregado (4 crianças) não faziam parte de nenhum setor censitário, sendo portanto considerados como não urbanos e não incluídos no modelo desagregado.

Tabela 7.14 – Cenários de alocação para as Creches – Etapa II

		cenário 1			cenário 2			cenário 3			cenário 4			
		FL	TP	var	FL	TP	var	FL	TP	var	FL	TP	var	
<b>CRECHES</b>	existentes	A	61	163	-63%	197	166	19%	41	166	-75%	198	166	19%
		B	85	107	-21%	133	108	23%	97	108	-10%	72	108	-33%
		C	10	104	-90%	29	104	-72%	36	104	-65%	44	104	-58%
		D	98	98	0%	85	98	-13%	121	98	23%	67	98	-32%
		E	111	105	6%	79	105	-25%	63	105	-40%	100	105	-5%
		F	331	142	133%	120	142	-15%	161	142	13%	88	142	-38%
		G	86	59	46%	104	59	76%	154	59	161%	34	59	-42%
		H	89	107	-17%	122	107	14%	160	107	50%	94	107	-12%
		I	16	41	-61%	60	41	46%	27	41	-34%	91	41	122%
		J	123	84	46%	91	84	8%	179	84	113%	96	84	14%
		K	--	--	--	135	101	34%	66	101	-35%	110	101	9%
	candidatas	L							50	40	25%	94	109	-14%
		M										92	100	-8%
		N										110	100	10%
O											118	100	18%	
P											153	100	53%	
Q											163	100	63%	
<b>Creches</b>		10			11			12			17			
<b>crianças</b>		1010			1155			1155			1724			
<b>% atend.</b>		10% (2000)			10%			10%			15%			
<b>custo médio (km)</b>		0,93	1,07	-13%	1,26	--	--	1,15	1,31	-12%	0,79	0,90	-12%	
<b>custo máximo (km)</b>		4,46	4,77	-6%	4,71	--	--	4,71	5,34	-12%	6,26	3,76	66%	
<b>custo total (km)</b>		941	1079	-13%	1453	--	--	1328	1517	-12%	1355	1547	-12%	

No entanto, a capacidade alocada a cada Creche apresenta diferenças significativas quando se compara a capacidade alocada no modelo FL no modo desagregado e a capacidade real no modo agregado. Essas diferenças ocorrem porque o modelo FL sempre aloca a demanda de um setor à mesma Creche, o que não ocorre no modelo TP. Assim, quando se trabalha com dados agregados, deve-se sempre utilizar os dois modelos conjuntamente. O modelo FL indica quais os melhores locais para se abrir novas unidades e o TP aloca da melhor maneira possível a demanda às unidades, de acordo com as respectivas capacidades.

O cálculo da diferença percentual entre as demandas alocadas nos dois modelos leva a algumas análises interessantes no que diz respeito ao desbalanceamento geográfico da oferta de vagas. Quando essa diferença percentual é relativamente pequena (Creche D, cenário 1), significa que a oferta realmente existente (que é a considerada no modelo TP) está relativamente adequada à demanda na região; caso o modelo FL aloque uma demanda muito maior que a do TP (Creche F, cenário 1),

significa que a demanda naquela região é maior do que a capacidade realmente existente, o que justificaria a ampliação da capacidade ou abertura de uma nova unidade; caso a demanda alocada seja muito menor no modelo FL do que no TP (Creche C, cenário 1), significa que a demanda naquela região é menor do que a capacidade realmente existente, podendo-se transferir essa capacidade “ociosa” para outros locais com maior demanda. Obviamente, essas análises são bastante sensíveis ao objetivo do modelo, que nesse caso é o de diminuir o deslocamento médio. Outras variáveis precisam ser consideradas antes de se decidir por qualquer alteração na oferta, mas a minimização do custo de deslocamento médio é, sem dúvida, um dos aspectos que devem ser levados em consideração, podendo ser efetuadas diversas análises de sensibilidade para que se identifique as áreas com desbalanceamento geográfico entre demanda e oferta de vagas.

As mesmas considerações feitas com relação ao cenário 1 podem ser repetidas para o cenário 2, onde agora procura-se repetir de modo agregado os cenários 5 e 7 da Etapa I. Assim, a primeira simulação foi feita com o modelo TP, que teve por objetivo incorporar à capacidade existente em 2000 (1.014) a da Creche que foi aberta em 2001 (101 crianças, correspondentes à Creche K da Tabela 7.14, e não as 73 alocadas na Creche N da Tabela 7.6), considerando-se agora que a demanda total de 2000 seria igual à capacidade total (1.115 crianças). Em seguida, ainda no cenário 2, a simulação foi feita com o modelo FL, com as mesmas onze creches, mas considerando-se agora a demanda estimada para 2004 para as mesmas 11 creches, mantendo-se a mesma porcentagem de atendimento (10 %, o que corresponde a 1.155 crianças). Assim, apesar de haver uma diferença de 40 vagas entre os modelos FL e TP do cenário 2, é possível identificar os desbalanceamentos geográficos, como os que ocorrem principalmente nas creches C (72 %) e G (76 %). O objetivo desse cenário é mostrar alternativas de ajuste para capacidades das creches de modo a absorver um aumento da demanda sem a abertura de novas unidades, ainda que os valores alocados pelos modelos FL e TP sejam considerados como os extremos, ou seja, deve-se buscar um arranjo de vagas que esteja entre a distribuição real das capacidades (a do modelo TP) e a que minimizasse o custo médio de deslocamento (a do modelo FL).

No cenário 3 a hipótese testada é a de se abrir uma nova creche para atender a demanda adicional estimada de 40 crianças. Essa foi a capacidade considerada para a nova creche, de modo a igualar a demanda total à oferta total. Uma vez mais, a

comparação entre os modelos FL e TP indicam possíveis desbalanceamentos, como é o caso das creches G e J. No cenário 4, a opção é por se expandir em 50 % a porcentagem de atendimento, passando de 10 % para 15 %. Com isso, seriam necessárias 609 novas vagas, que optou-se por distribuir entre 6 novas creches. No entanto, deve-se lembrar que antes de se decidir pela abertura ou fechamento de novas unidades, deve-se avaliar o seu efeito no ano *n*. Essa comparação será feita no próximo item, relativo a Etapa III e (razão pela qual não serão discutidas aqui conclusões parciais relativas à Etapa II). No que diz respeito aos parâmetros globais (custos médio, máximo e total), seus valores vão diminuindo à medida que cenários com mais unidades de oferta vão sendo propostos. É interessante observar que no caso do custo total, um aumento em 50 % na porcentagem de atendimento (passando de 1.155 para 1.724 crianças), do cenário 3 para o cenário 4, não implica em um aumento no custo global, que se mantém praticamente nos mesmos patamares nos dois cenários, como consequência da diminuição nos custos individuais resultante do maior número de instalações.

Tabela 7.15 – Cenários de alocação para as EMEIs – Etapa II

		cenário 1			cenário 2			
		FL	TP	var	FL	TP	var	
EMEIS	existentes	A	738	642	15%	651	658	-1%
		B	206	239	-14%	168	239	-30%
		C	293	425	-31%	178	425	-58%
		D	71	170	-58%	69	170	-59%
		E	161	212	-24%	189	212	-11%
		F	507	427	19%	473	427	11%
		G	195	162	20%	157	162	-3%
		H	248	264	-6%	208	264	-21%
		I	409	333	23%	429	333	29%
		J	347	232	50%	408	232	76%
		K	362	309	17%	470	309	52%
		L	411	338	22%	539	338	59%
		M	327	216	51%	264	216	22%
		N	374	292	28%	254	292	-13%
		O	68	173	-61%	84	173	-51%
		P	69	198	-65%	100	198	-49%
		Q	147	152	-3%	209	152	38%
		R	262	242	8%	268	242	11%
		S	107	235	-54%	106	235	-55%
		T	208	260	-20%	201	260	-23%
U	177	197	-10%	144	197	-27%		
V	217	186	17%	212	186	14%		
can.	W				296	206	44%	
	X				299	250	20%	
Creches		22			24			
crianças		5904			6376			
% atend.		70%			70%			
custo médio (km)		0,74	0,89	-17%	0,70	0,89	-21%	
custo máximo (km)		4,30	4,84	-11%	1,99	3,90	-49%	
custo total (km)		4370	5253	-17%	4433	5657	-22%	



### 7.3.2. EMEIs

Todas as observações feitas sobre os resultados dos cenários para as Creches podem ser repetidas para as EMEIs, uma vez que todas as tendências lá observadas se repetiram e por essa razão, não serão aqui detalhadas. A comparação do cenário 1 com os cenários 1 e 7 gerados na Etapa I (Tabela 7.6) também teve por finalidade comparar os resultados obtidos pelos modos desagregado e agregado, e as diferenças mantiveram-se na mesma ordem de grandeza, em termos percentuais, daquelas observadas nas Creches, inclusive para o custo máximo, devido aos casos extremos observados no modo desagregado.

A melhor distribuição espacial dos alunos das EMEIs em relação às Creches, observada na Etapa I, parece também se manter na Etapa II, como seria de se esperar. Isso pode ser comprovado pelas menores diferenças percentuais entre as capacidades de cada EMEI, para os valores dos modelos FL e TP, observadas na Tabela 7.15. O maior valor encontrado é de 76 %, contra 161 % na Tabela 7.14, o que evidencia, de modo geral, um menor desbalanceamento entre os modelos FL e TP, ou seja, a capacidade realmente alocada está mais próxima dos patamares considerados ideais (do ponto de vista dos custos de deslocamento).

O único cenário testado para 2004 foi baseado na hipótese de manutenção da porcentagem de atendimento de 70 %, o que resultaria na abertura de duas novas EMEIs. Uma vez mais, a decisão de se efetivar ou não a abertura também deve ser tomada após as análises para a Etapa III. No que diz respeito aos parâmetros globais cabe destacar que, para o cenário 2, o custo máximo obtido pelo modelo FL foi praticamente a metade daquele obtido no modelo TP, o que mais uma vez ilustra que um rearranjo das capacidades, além da abertura de novas unidades de oferta, pode reduzir significativamente os custos de deslocamento (nesse caso, o custo máximo).

A seguir, são detalhadas as análises efetuadas para a Etapa III, além de serem apresentadas algumas considerações adicionais acerca da Etapa II. Para encerrar essa seção, a Figura 7.12 apresenta, como exemplo, os mapas temáticos com a distribuição dos alunos (por setor) relativos ao cenário 3, modelo FL, para Creches e cenário 2, modelo FL, para EMEIs.

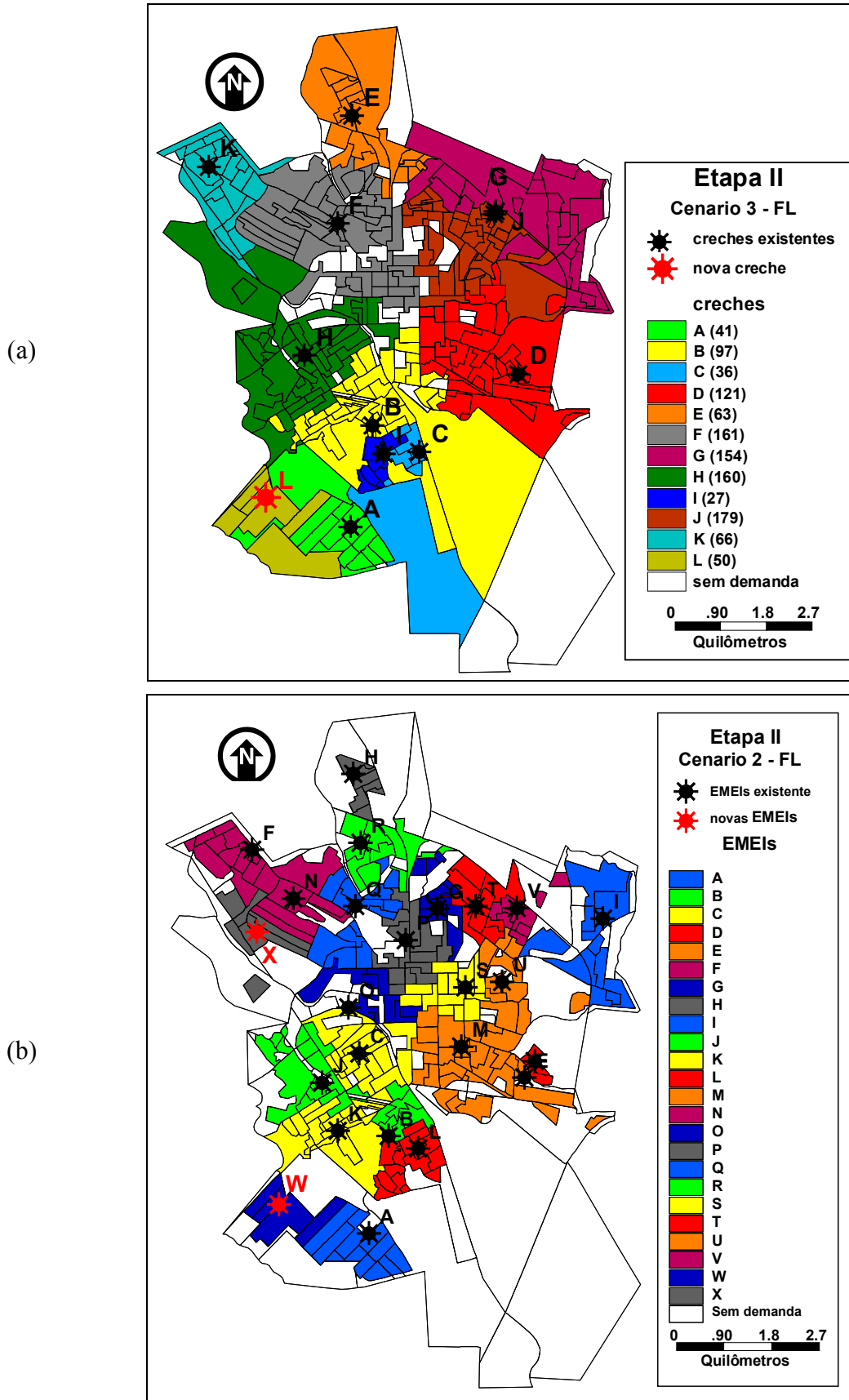


Figura 7.12 – Cenário de distribuição de Creches (a) e EMEIs (b) e respectivos alunos em 2004 (Etapa II)

### **7.4 Etapa III: Educação – Futuro Distante**

Ainda que a viabilidade de utilização de modelos demográficos como instrumento de previsão de demanda para o fim aqui pretendido tenha sido comprovada na Etapa II, deve-se sempre ter em mente que esse tipo de modelo não tem a capacidade de prever a expansão física (territorial) da cidade, podendo estimar as variações das densidades populacionais apenas dentro de uma divisão espacial definida *a priori*. Por essa razão, a Etapa III iniciou-se com a estruturação de um modelo baseado em *Cellular Automata* para a previsão de demanda por Creches e EMEIs, já que nesse tipo de modelo é possível, em tese, prever a expansão territorial da cidade em estudo. No entanto, um modelo em CA, da maneira como foi aqui estruturado, só poderia realizar estimativas para o médio prazo (ano 2010), pois o intervalo de entrada dos dados no modelo era de 10 anos, correspondente ao intervalo entre os últimos censos<sup>4</sup>. Desta forma, a previsão para 2020 (pelo modelo de CA) não seria possível, pois o modelo precisaria valer-se de dados estimados (para 2010) como dados de entrada. Desse modo, ainda que a única alternativa para se estimar as demandas por Creches e EMEIs para o futuro distante (ano *n*, ou seja, 2023) fosse o modelo demográfico, optou-se pelo desenvolvimento do modelo em CA para que seus resultados fossem comparados com os do modelo demográfico para 2010, sendo que os resultados do modelo demográfico foram aqui considerados como referência pois já haviam sido ajustados à previsão global de evolução populacional (Etapa II). Entende-se que, no caso do modelo em CA apresentar resultados satisfatórios, ele pode ser desenvolvido de modo mais refinado caso se obtenham dados georeferenciados anuais, o que eliminaria o problema do intervalo de 10 anos entre as previsões. A seguir, a estruturação do modelo de CA é detalhada.

#### **7.4.1 Modelo baseado em Cellular Automata**

O primeiro passo para se estruturar o modelo em CA foi a definição da divisão espacial a ser utilizada. Foram feitos alguns testes preliminares utilizando-se a divisão (ajustada) do censo de 2000, a mesma utilizada para o modelo demográfico, mas

---

<sup>4</sup> Aqui, como em todo o trabalho, não está sendo considerado o fato do censo previsto para 1990 ter ocorrido apenas em 1991.

a falta de uniformidade e a diferença do tamanho entre os setores não se mostrava adequada para um modelo de CA. Desse modo, optou-se por trabalhar com uma divisão espacial regular, criando-se no SIG uma malha quadrada de 100 metros de lado sobre toda a área dos setores censitários de 2000. Prevendo-se a expansão territorial da cidade, foram acrescentadas à área periférica dos setores, células até cerca de 1 km além dos limites extremos dos mesmos. Após a criação da malha, que resultou em 13.491 células, foram transferidas às células os valores de densidade populacional nos anos de 1980, 1991 e 2000 (das respectivas bases dos setores), utilizando ferramentas próprias do SIG.

Após a criação das células e seu preenchimento com valores de densidades, procurou-se caracterizar os estados das células. A idéia básica é que o estado de cada célula seria definido através da relação entre a sua própria densidade e a de seus 8 vizinhos, as quais estariam classificadas em quadrantes de um gráfico (ver item 4.3.3). As análises foram conduzidas no SIG *ArcView*<sup>®</sup>, através da extensão *SpaceStat* (ANSELIN & SMIRNOV, 1998), que identifica os vizinhos de cada célula (para diferentes atributos), permitindo assim a definição dos estados das células (quadrantes Q1, Q2, Q3 e Q4) e a sua representação no chamado gráfico de Moran, além do cálculo da densidade média dos vizinhos.

Nesse ponto, observou-se uma inconsistência no modelo, devido basicamente, ao grande número de células com valor de densidade igual a zero, incluindo aquelas que estavam na faixa considerada para a expansão da cidade. Esse grande número de células com densidade igual a zero fazia com que o valor de densidade média total (de todas as células) fosse muito baixo, o que definia quase todas as células como pertencentes ao Quadrante 1. Assim, optou-se em dividir a modelagem em 3 cenários alternativos, com diferentes métodos para se calcular essa densidade média: **bruta**, **líquida** e **intermediária**, calculadas a partir da divisão espacial em setores de 1980, 1991 e 2000.

No cálculo da densidade **bruta**, a população total da cidade em cada instante foi dividida pela área total dos setores. Nesse caso específico, foi considerada a divisão inicial (a original do IBGE) para o cálculo, ou seja para cada censo, a população urbana total foi dividida pela soma das áreas de todos os setores. Esse método foi o que levou aos menores valores de densidade. No cálculo da densidade **líquida**, a partir das

novas divisões de setores concebida para eliminar áreas sem população, as áreas totais de cada censo foram calculadas excluindo-se todos os setores com população igual a zero. Esse método foi o que levou aos maiores valores de densidade. Por fim, optou-se por trabalhar também com um cenário de densidade **intermediária**, que computava as áreas dos pequenos vazios urbanos que estavam dentro da mancha urbana de São Carlos. Todos os valores de densidade média calculados são apresentados na Tabela 7.16.

Tabela 7.16 – Valores de densidades médias urbanas globais para São Carlos (hab/ha)

ano	BRUTA	INTERMEDIÁRIA	LÍQUIDA
1980	16,04	40,00	45,46
1991	21,10	45,97	54,02
2000	26,04	50,49	57,75

Assim, os quadrantes a que pertenciam as células foram recalculados para os três cenários diferentes, correspondentes aos valores de densidade bruta, intermediária e líquida, a fim de identificar qual desses cenários de densidade levaria aos melhores resultados de modelagem. Foi calculada, para cada célula e sempre para os três cenários, a porcentagem de células vizinhas em cada quadrante, que juntamente com os valores de densidade média da própria célula e da densidade média dos vizinhos formam o conjunto das variáveis de entrada do modelo.

O próximo passo foi definir as regras de transição dos valores de densidade de cada célula do instante  $t$  para o instante  $t+10$  (onde  $t$  representa o ano do censo), tendo como variáveis de entrada a densidade da célula em  $t$ , a densidade média dos oito vizinhos em  $t$ , a proporção desses vizinhos por quadrantes (Q1, Q2, Q3, Q4) em  $t$  e, como variável de saída, a densidade em  $t+10$ . A princípio, tentou-se identificar padrões para essas regras de transição através da análise de valores agregados, conduzida em folha de cálculo eletrônica. Como o resultado foi pouco preciso, optou-se por modelar essas variáveis com o auxílio de RNA, mais precisamente com o *software* EasyNNPlus®.

Diversas configurações de redes foram testadas. Primeiramente, foi montada a rede com dados de entrada de 1980 para estimar os valores de densidade em 1991 (cenário **R80**). Nesse processo, 50 % das células eram utilizadas para treinamento, 25 % para validação e 25 % para teste. Concluído o treinamento da rede que

apresentava melhores resultados, os valores do conjunto dos 25 % dos dados utilizados para teste eram comparados com os valores observados (reais) conhecidos para 1991. Em seguida, para essa rede treinada, eram inseridos, como dados de entrada, valores de 1991 para se estimar os valores para 2000 (cenário **T91**). Nesse caso, a comparação era feita entre 100 % dos dados (estimados pela RNA e reais). Em seguida, os dados de entrada eram os de 1991 e os de saída os de 2000, comparando-se os resultados do conjunto de 25 % dos dados utilizados para teste (cenário **R91**). Em seguida, para essa rede treinada, eram inseridos todos os dados de 2000 para se estimar o de 2010 (cenário **T00**). Nesse caso, a comparação se restringia aos 25 % iniciais, pois não se conhecem os valores para 2010. A próxima rede testada incluiu como dados de entrada os valores de 1980 juntamente com os de 1991 (12 variáveis de entrada), para estimar os valores de densidade de 2000 (cenário **R8091**). Novamente, somente os 25 % dos dados separados para teste podiam ser utilizados para verificar o desempenho do modelo. Finalmente, para essa rede treinada, foram inseridos dados de entrada de 1991 e 2000 para se estimar os dados de 2010 (cenário **T9100**), nesse caso também sem comparação possível. Todas as redes foram testadas para as 3 situações de densidade (bruta, líquida e intermediária), processo que resultou na montagem de 9 redes e num total de 18 situações. Os resultados foram comparados através dos valores da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) e de gráfico de pontos estimados e observados (*Scattergram*). A Tabela 7.17 apresenta a descrição de cada uma das redes que foram estruturadas e o valor do REQM, quando aplicável.

As análises dos resultados obtidos foram feitas de acordo com o valor de REQM em conjunto com o gráfico de pontos. Para cada cenário foi escolhida a melhor rede entre as situações de densidade bruta, líquida e intermediária. Para o cenário R80, o melhor resultado obtido foi na situação 3, com a densidade intermediária, sendo que essa foi a situação que apresentou o melhor desempenho entre todas as 18. Para o cenário T91, a mesma rede apresentou o melhor desempenho (cenário 6), mas o valor do REQM subiu de 10,17 para 16,27. Isso pode ser considerado normal, uma vez que no cenário T91 estão sendo estimadas as densidades de 2000 a partir de dados de 1980.

O cenário R91 apresentou no geral desempenho inferior ao cenário R80, o que significa dizer que o modelo estimou melhor as densidades em 1991 a partir de dados de 1980 do que as densidades em 2000 a partir de dados de 1991. A melhor situação neste caso foi a de número 7, com valor de REQM de 16,92, a única situação

em que a utilização da densidade bruta apresentou resultado melhor do que a intermediária. No cenário T00 foram feitas estimativas de densidade para o ano 2010 a partir de dados de 2000, nesse caso sem comparação pois não se conhecem os valores de densidade em 2010.

No cenário R8091, a melhor situação foi uma vez mais a de densidade intermediária, com valor de REQM de 23,47. No entanto, as diferenças entre as situações 13, 14 e 15 não foram tão significativas como entre as situações 1, 2 e 3. No cenário T9100 foram novamente feitas estimativas para a densidade de 2010, desta vez a partir dos dados de 1980 e 1991. A Figura 7.13 apresenta o gráfico de pontos das situações onde os melhores resultados foram obtidos.

Tabela 7.17 – Descrição dos modelos de RNA montados

<b>cenário</b>	<b>sit.</b>	<b>densidade</b>	<b>rede</b>	<b>dados de entrada</b>	<b>dados estimados</b>	<b>REQM</b>
<b>R80</b>	<b>1</b>	bruta	R80bruta	1980	1991 (25 %)	19,17
	<b>2</b>	líquida	R80líquida	1980	1991(25 %)	19,92
	<b>3</b>	intermediária	R80inter	1980	1991(25 %)	10,17
<b>T91</b>	<b>4</b>	bruta	R80bruta	1991	2000 (100 %)	25,98
	<b>5</b>	líquida	R80líquida	1991	2000 (100 %)	23,89
	<b>6</b>	intermediária	R80inter	1991	2000 (100 %)	16,27
<b>R91</b>	<b>7</b>	bruta	R91bruta	1991	2000 (25 %)	16,92
	<b>8</b>	líquida	R91líquida	1991	2000 (25 %)	22,22
	<b>9</b>	intermediária	R91inter	1991	2000 (25 %)	26,67
<b>T00</b>	<b>10</b>	bruta	R91bruta	2000	2010 (100 %)	–
	<b>11</b>	líquida	R91líquida	2000	2010 (100 %)	–
	<b>12</b>	intermediária	R91inter	2000	2010 (100 %)	–
<b>R8091</b>	<b>13</b>	bruta	R8091bruta	1980 e 1991	2000 (25 %)	24,67
	<b>14</b>	líquida	R8091líquida	1980 e 1991	2000 (25 %)	24,24
	<b>15</b>	intermediária	R8091inter	1980 e 1991	2000 (25 %)	23,47
<b>T9100</b>	<b>16</b>	bruta	R8091bruta	1991 e 2000	2010 (100 %)	–
	<b>17</b>	líquida	R8091líquida	1991 e 2000	2010 (100 %)	–
	<b>18</b>	intermediária	R8091inter	1991 e 2000	2010 (100 %)	–

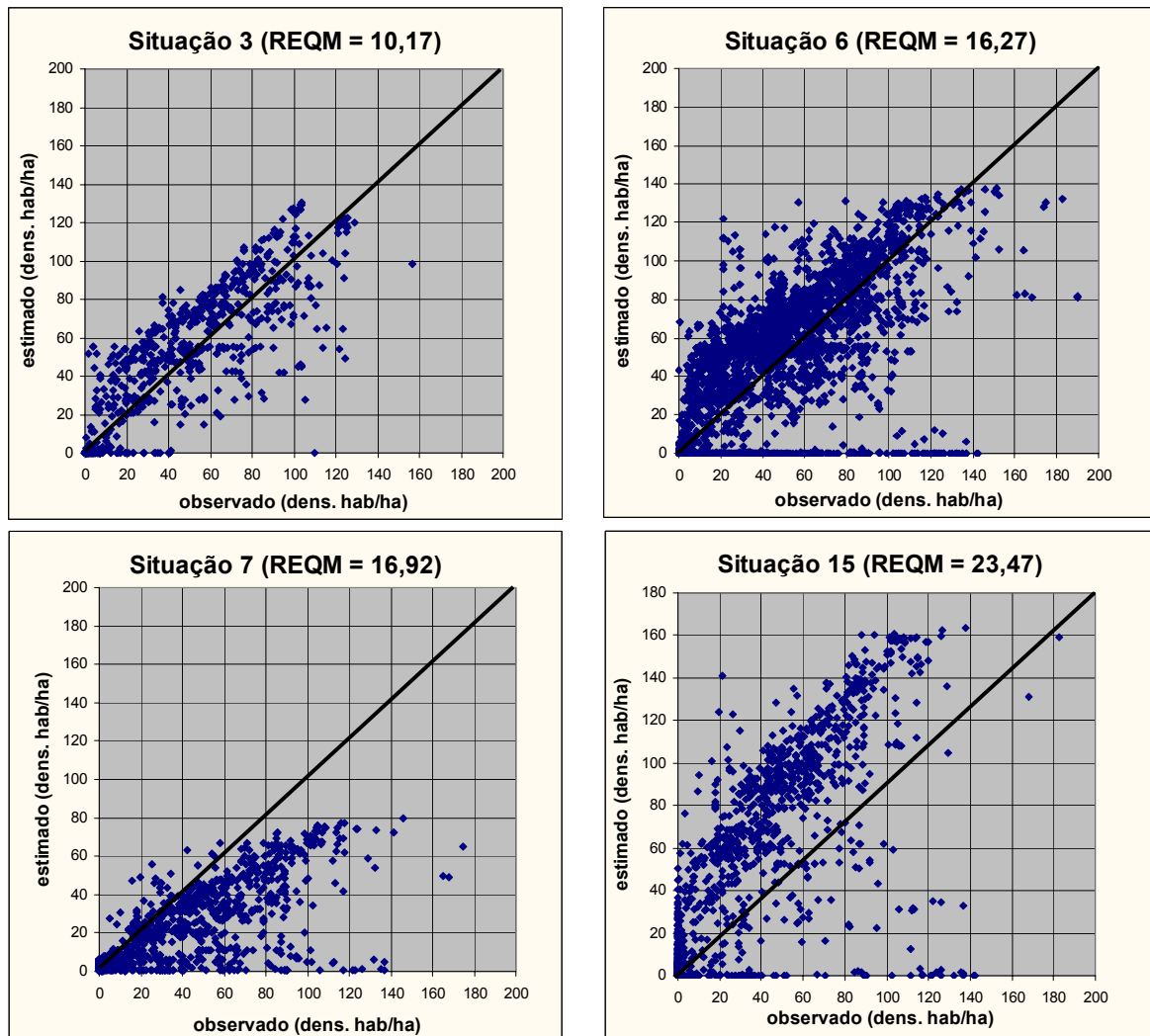


Figura 7.13 – Gráfico de pontos para os melhores resultados obtidos das RNA

Apesar da situação 3 ter sido a que apresentou os melhores resultados, quando se analisa o valor da REQM e o gráfico de pontos, onde se percebe a melhor aproximação para a reta de  $45^\circ$  ( $x = y$ ), parece ser mais realista a utilização da rede obtida na situação 15, uma vez que essa utiliza os dados de dois instantes para se estimar a densidade num terceiro instante. Assim, essa foi a rede escolhida para, com dados de entrada de 1991 e 2000, estimar as densidades em 2010, o que correspondeu ao cenário T9100. Nesse cenário, foi testada apenas a situação com densidade intermediária, pois foi a que sempre apresentou os melhores resultados, salvo no cenário R91.

Desse modo, foram então obtidas, com o modelo em CA associado as RNA, as estimativas de densidade populacional para cada uma das 13.491 células em 2010. Esses valores foram então comparados com os valores obtidos através do modelo



demográfico desenvolvido na Etapa II, agora adaptado para estimar as densidades por células. A partir das densidades de cada célula foram calculadas as respectivas populações e a população total da cidade por cada método, que foi a variável de comparação. Os resultados de população total são apresentados na Tabela 7.18, onde se toma como valor de referência o valor de população total urbanizada em 2010 estimada via modelo global (Tabela 7.2).

Tabela 7.18 – Comparação entre população total obtida via modelos demográficos e via modelo baseado em CA em 2010

<b>MODELO</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>Diferença p/ Global</b>
<b>Global</b>	219.350	–
<b>Demográfico</b>	214.972	-2,00 %
<b>CA</b>	323.728	47,6 %

A Tabela 7.18 evidencia que o resultado do modelo baseado em CA foi bem pior do que o do modelo demográfico, quando se toma como referência a população global estimada a partir da série histórica anual. Desse modo, foram feitas algumas tentativas para se tentar melhorar o resultado do modelo em CA, procurando-se adicionar algumas variáveis que pudessem melhor representar as regras de transição. Uma delas foi a densidade viária de cada célula nos anos dos censos de 1980 e 1991, calculadas no SIG a partir da base de loteamentos da cidade que continha o ano em que cada loteamento havia sido aprovado. No entanto, a inclusão dessa variável não resultou em melhora para o modelo, razão pela qual seus resultados não são aqui apresentados. Mais ainda, o fraco desempenho dos modelos de CA não permitiu a sua utilização no estudo de caso.

Uma vez mais, cabe ressaltar que a não inclusão de modelo de CA nesse estudo de caso não significa que ele não deva ser considerado outras situações, ou até mesmo nessa, caso o sistema venha a ser refinado, até porque ele é uma alternativa bastante interessante quando se busca prever a expansão territorial da cidade (o que não se consegue via modelos demográficos). Melhores desempenhos podem ser conseguidos a partir de outras tentativas, tanto de inclusão de outras variáveis quanto de utilização de novas divisões espaciais. Quanto a esse último aspecto, convém destacar que a utilização de outras divisões espaciais talvez possa melhorar o desempenho do modelo. A malha quadrada utilizada, de 100 por 100 metros, parece ter células pequenas demais para incorporar relações de vizinhanças, pois as zonas de transição (com quadrantes Q3

e Q4) ficaram na maioria das vezes resumidas a apenas uma célula, o que em termos de área significava 1 ha. Foram feitos ainda alguns testes trabalhando-se com as densidades por Creches e EMEIs. As estimativas finais (globais) apresentaram diferenças, em termos proporcionais, da mesma ordem de grandeza do modelo de população total, razão pela qual também não serão aqui detalhados, pois não se adequaram à modelagem proposta.

Face ao fraco desempenho dos modelos de CA no estudo de caso, apresenta-se a seguir as análises efetuadas para a Etapa III via modelos demográficos. Como o modelo demográfico utilizado foi o mesmo já descrito na Etapa II, os procedimentos foram basicamente repetidos, e por essa razão serão aqui apresentados de forma resumida. A descrição dos cenários gerados é apresentada na Tabela 7.19, os resultados na Tabela 7.20 para as Creches e na Tabela 7.21 para as EMEIs, de modo análogo ao da Etapa II, inclusive a identificação por letras de todas as Creches e EMEIs (existentes e candidatas). Os resultados são analisados em seguida, separadamente para creches e EMEIs.

Tabela 7.19 – Cenários de alocação considerados para Creches e EMEIS – Etapa III

<b>C</b>	<b>Creches</b>	<b>EMEIs</b>
<b>5</b>	11 creches existentes Porcentagem de atendimento: 10 %	22 EMEIs + 7 novas Porcentagem de atendimento: 70 %
<b>6</b>	11 creches existentes + 2 novas Porcentagem de atendimento: 10 %	22 EMEIs + 20 novas Porcentagem de atendimento: 100 %
<b>7</b>	11 creches existentes + 8 novas Porcentagem de atendimento: 15 %	
<b>8</b>	11 creches existentes + 15 novas Porcentagem de atendimento: 20 %	

#### 7.4.2. Creches

As considerações feitas na Etapa II podem ser integralmente repetidas na Etapa III, principalmente no que tange às medidas globais de desempenho. Quanto aos cenários gerados, o cenário 5 indica possíveis ajustes a serem feitos nas capacidades (modelo FL) das creches para se manter em 2023 a porcentagem de atendimento de 10 %, que significaria um aumento de 186 crianças em relação à demanda observada em 2001. No cenário 6, esse aumento seria atendido pela abertura de duas novas creches. Um detalhe interessante é que a uma das duas novas Creches (Creche L) seriam alocadas apenas 13 crianças no modelo FL, o que indica que essas crianças estão bastante isoladas na cidade e, como o objetivo é minimizar a deslocamento médio, a

abertura de uma creche naquele local específico da cidade se justifica. Obviamente, uma opção alternativa a se adotar nesse caso seria localizar a nova creche próxima a um ponto com maior desbalanceamento geográfico (demonstrado pelas diferenças entre os valores de FL e TP), próximo à Creche D ou I, por exemplo, ainda que essa não fosse a melhor opção do ponto de vista de minimizar o custo médio de deslocamento. A mesma situação é observada na Creche R do cenário 7.

Tabela 7.20 – Cenários de alocação para as Creches – Etapa III

		cenário 5			cenário 6			cenário 7			cenário 8			
		FL	TP	var	FL	TP	var	FL	TP	var	FL	TP	var	
<b>CRECHES</b>	<b>existentes</b>	A	326	166	96%	165	166	-1%	26	166	-84%	126	166	-24%
		B	90	108	-17%	136	108	26%	21	108	-81%	41	108	-62%
		C	33	104	-68%	21	104	-80%	18	104	-83%	64	104	-38%
		D	70	98	-29%	196	98	100%	151	98	54%	119	98	21%
		E	96	105	-9%	125	105	19%	200	105	90%	103	105	-2%
		F	110	142	-23%	134	142	-6%	477	142	236%	79	142	-44%
		G	132	59	124%	53	59	-10%	98	59	66%	24	59	-59%
		H	105	107	-2%	81	107	-24%	82	107	-23%	41	107	-62%
		I	83	41	102%	99	41	141%	28	41	-32%	82	41	100%
		J	45	84	-46%	87	84	4%	147	84	75%	88	84	5%
		K	211	101	109%	119	101	18%	80	101	-21%	158	101	56%
	<b>candidatas</b>	L				13	100	-87%	75	131	-43%	159	96	66%
		M												
		N							58	100	-42%	63	100	-37%
		O				72	86	-16%	66	100	-34%	158	100	58%
		P							144	100	44%	142	100	42%
		Q							125	100	25%	97	100	-3%
		R							7	100	-93%	102	100	2%
		S							41	100	-59%	207	100	107%
		T							102	100	2%	86	100	-14%
		U										54	100	-46%
V										83	100	-17%		
W										96	100	-4%		
X										103	100	3%		
Y										145	100	45%		
Z										131	100	31%		
AA										60	100	-40%		
<b>Creches</b>		11			12			19			26			
<b>crianças</b>		1301	1115		1301			1946			2611			
<b>% atend.</b>		10%			10%			15%			20%			
<b>custo médio (km)</b>		1,26	--	--	0,98	1,35	-27%	0,65	1,087	-40%	0,49	0,82	-40%	
<b>custo máximo (km)</b>		4,71	--	--	4,71	5,82	-19%	3,76	6,13	-39%	5,21	5,50	-5%	
<b>custo total (km)</b>		1643	--	--	1273	1754	-27%	1267	2116	-40%	1283	2145	-40%	

Nos cenários 7 e 8 estão sendo avaliados os efeitos de uma grande expansão na porcentagem de atendimento. No cenário 7, uma expansão de 50 %, de 10 % para 15 %, o que significaria um aumento de 831 crianças em relação as vagas disponíveis em 2001 (1.115 para 1.946). No cenário 8, a expansão seria de 100 %, de 10 % para 20 %, com um aumento de 1.496 crianças (de 1.115 para 2.611, já

incorporado o aumento de demanda). Mantendo-se a hipótese de que as novas Creches seriam abertas com capacidade em torno de 100 crianças, esse aumento na porcentagem de atendimento implicaria na abertura de 8 novas creches no cenário 7 e 15 no cenário 8.

A essa altura, uma análise que deve ser considerada é a que indica o efeito, para o ano  $n$ , da abertura de novas unidades de oferta num futuro próximo, uma vez que, dependendo de como a distribuição espacial da demanda evolui, novas unidades podem tornar-se ociosas com o passar dos anos. A Figura 7.14 apresenta a localização espacial das novas creches propostas nos cenários 3 e 4 da Etapa II e 6, 7 e 8 da Etapa III (nos cenários 1, 2 e 5 não foi proposta a abertura de novas unidades). Os cenários da Etapa I não estão sendo aqui considerados, pois a nova creche proposta àquela altura já foi incorporada às creches existentes (Creche K). Em cada cenário, os pontos em preto representam as creches existentes e os coloridos as creches propostas. Além desses 5 cenários, a figura apresenta também a localização das creches de todos os 5 cenários sobrepostas em um mesmo mapa.

Nesse último mapa, as creches de todos os cenários aparecem cobertas pelas creches do cenário 8, a exceção da Creche M, do cenário 4. Isso significa que todas as outras creches propostas seriam propostas também no cenário de melhor nível atendimento analisado, ou seja, caso as creches de todos os outros cenários fossem de fato abertas, elas não estariam com oferta ociosa de vagas no ano  $n$ , de acordo com as hipóteses e estimativas realizadas nesse estudo de caso. A exceção a essa regra é a Creche M, cuja abertura foi proposta num cenário de expansão da porcentagem de atendimento no ano 2004. Com a evolução admitida para a demanda, no ano  $n$ , a demanda que seria atendida por essa creche estaria distribuída em outras regiões da cidade, tornado a sua oferta de vagas ociosa. Portanto, analisando-se a evolução da demanda e as propostas de abertura de creches de outros cenários, talvez fosse mais interessante abrir a Creche Z ao invés da Creche M. Essa, no entanto, não precisa ser a opção adotada *a priori*, pois cabe ao decisor avaliar se a abertura dessa creche seria interessante, por exemplo, por um prazo de 10 anos. Na hipótese de se verificar conflitos como esse, análises mais detalhadas devem ser efetuadas para se chegar a decisões fundamentadas nas evidências fornecidas pelo sistema, através de seus modelos.

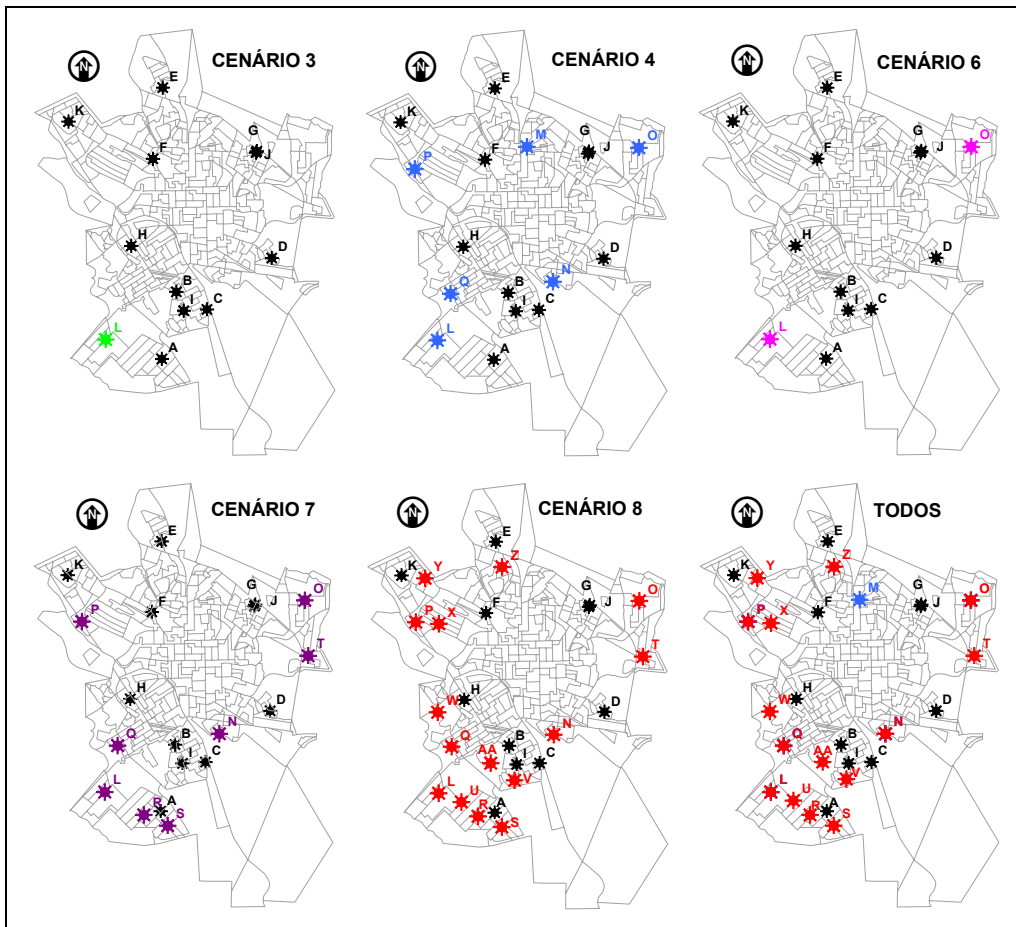


Figura 7.14– Cenários de distribuição das Creches

#### 7.4.3. EMEIs

Nos cenários gerados para as EMEIs na Etapa III não foi observada nenhuma situação nova que não houvesse sido comentada anteriormente. Foram gerados dois cenários para o ano  $n$  nos quais se considerou a hipótese de manter a porcentagem de atendimento em 70 % (cenário 5) e a de expandí-la para 100 % (cenário 6), numa situação limite. Isso implicaria na abertura de 7 e 20 novas EMEIs, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 7.21, já incluídas nesse número as duas EMEIs a serem abertas na Etapa II. O único ponto que merece destaque nesse caso são os altos custos máximos de deslocamento obtidos nos cenário TP. No entanto, esses custos referem-se a poucos alunos, concentrados em um único setor que fica relativamente isolado na cidade.

Voltando a Etapa II, no caso das EMEIs não foi observada nenhuma situação em que uma nova unidade então proposta não viesse a ser novamente proposta na Etapa III, ou seja, as duas EMEIs candidatas a abertura em 2004 poderiam ser

abertas, pois seriam novamente candidatas em 2023, de acordo com as estimativas de demanda efetuadas. A Figura 7.15 apresenta a localização das EMEIs propostas nos cenários 2, 5 e 6. Uma vez mais, os pontos em preto indicam as EMEIs existentes e os coloridos as localizações propostas para a abertura de novas unidades.

Tabela 7.21 – Cenários de alocação para as EMEIs – Etapa III

cenário 5								cenário 6							
existentes				candidatas				existentes				candidatas			
EMEI	FL	TP	var	EMEI	FL	TP	var	EMEI	FL	TP	var	EMEI	FL	TP	var
A	332	658	-50%	W	508	205	148%	A	326	658	-50%	W	534	217	146%
B	147	239	-38%	X	483	250	93%	B	208	239	-13%	X	243	250	-3%
C	49	425	-88%	Y	250	250	0%	C	69	425	-84%	Y	358	250	43%
D	101	170	-41%	Z	532	250	113%	D	144	170	-15%	Z	590	250	136%
E	202	212	-5%	AA	271	250	8%	E	230	212	8%	AA	389	250	56%
F	301	427	-30%	AB	465	250	86%	F	316	427	-26%	AB	664	250	166%
G	84	162	-48%	AC	252	250	1%	G	79	162	-51%	AC	361	250	44%
H	315	264	19%					H	226	264	-14%	AD	318	250	27%
I	361	333	8%					I	320	333	-4%	AE	191	250	-24%
J	436	232	88%					J	150	232	-35%	AF	291	250	16%
K	223	309	-28%					K	319	309	3%	AG	335	250	34%
L	749	338	122%					L	779	338	130%	AH	58	250	-77%
M	133	216	-38%					M	148	216	-31%	AI	332	250	33%
N	317	292	9%					N	324	292	11%	AJ	337	250	35%
O	59	173	-66%					O	83	173	-52%	AK	139	250	-44%
P	29	198	-85%					P	40	198	-80%	AL	101	250	-60%
Q	235	152	55%					Q	231	152	52%	AM	343	250	37%
R	330	242	36%					R	235	242	-3%	AN	223	250	-11%
S	46	235	-80%					S	65	235	-72%	AO	80	250	-68%
T	104	260	-60%					T	149	260	-43%	AP	195	250	-22%
U	95	197	-52%					U	135	197	-31%				
V	216	186	16%					V	229	186	23%				
modelo	FL			TP			var	modelo	FL			TP			var
EMEIS	29			29			--	EMEIS	42			42			--
alunos	7625			7625			--	alunos	10887			10887			--
% atendimento	70%			70%			--	% atendimento	100%			100%			--
custo médio (km)	0,54		1,05	0,54		1,05	-49%	custo médio (km)	0,38		0,93	0,38		0,93	-59%
custo máximo (km)	1,99		7,15	1,99		7,15	-72%	custo máximo (km)	1,35		7,52	1,35		7,52	-82%
custo total (km)	4176		7971	4176		7971	-48%	custo total (km)	4160		10144	4160		10144	-59%

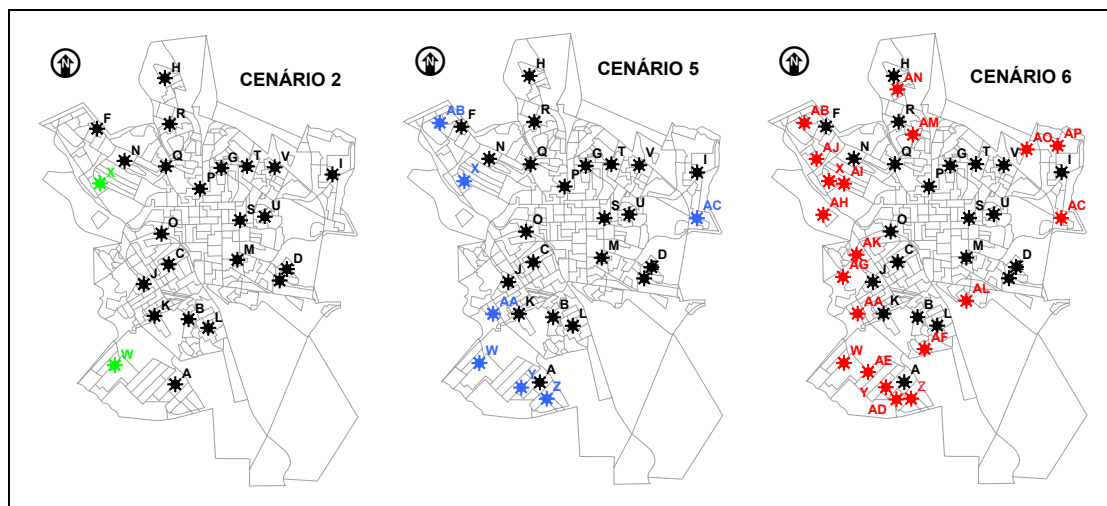


Figura 7.15– Cenários de distribuição das EMEIs

#### *7.4.4. Conclusões das Etapas II e III*

A execução das etapas do estudo de caso relativas ao futuro próximo foram de certo modo comprometidas por não se conseguir obter o georeferenciamento da demanda para mais de um ano, tanto das matrículas dos alunos quanto do monitoramento dos endereços dos recém-nascidos. Na Etapa II poderiam ser utilizados os dados georeferenciados para um acompanhamento dos usuários dentro do sistema, antecipando de forma mais precisa as futuras necessidades por Creches ou EMEIs em regiões específicas da cidade. Esses dados poderiam ser também utilizados na Etapa III para a montagem de um modelo em CA mais robusto e que não ficasse limitado a um intervalo de 10 anos. Em virtude das circunstâncias, a opção disponível para este estudo de caso foi a utilização de modelos demográficos para previsão de demanda. Os resultados desse modelo podem ser considerados satisfatórios e até mesmo precisos, se comparados com a projeção de população total feita ano a ano. A retirada dos grandes vazios urbanos para o cálculo da densidade também melhorou de forma significativa a estimativa das densidades urbanas. Além disso, o modelo demográfico tem a vantagem de poder realizar previsões para qualquer ano até o ano  $n$ , o que permitiria, no limite, a geração de cenários anuais de evolução da demanda e de localização de novas unidades de oferta e alocação da demanda.

Com relação aos padrões de atendimento das Creches e EMEIs, a necessidade de abertura de novas unidades fica condicionada à política do poder público no que concerne a expansão ou não das porcentagens de atendimento. No caso das Creches, caso a opção seja apenas a de se manter os níveis de atendimento atuais, as projeções indicam que a abertura de duas creches até o ano  $n$  seria suficiente, ou mesmo a aumento de capacidade nas Creches existentes, caso a opção seja a de não se abrir mais creches. Já a expansão da porcentagem de atendimento implicaria na abertura de até 8 novas creches (num aumento de 50 % da taxa atual, de 10 % para 15 %) e até 15 novas creches (num aumento de 100 % da taxa atual, de 10 % para 20 %) até o ano  $n$ . No caso das EMEIs, como o nível de atendimento no presente já é alto, provavelmente não seriam necessárias grandes expansões na porcentagem de atendimento de vagas. Apenas seria necessário abrir EMEIs para a nova demanda que deve surgir, ou seja, duas novas EMEIs no futuro próximo e mais cinco, num total de sete, até o ano  $n$  atenderiam a demanda para a porcentagem de atendimento atual de 70%. Por outro lado, numa expansão limite para 100 % de atendimento no ano  $n$ , seriam necessárias 20 novas

EMEI. No entanto, cabe ressaltar, uma vez mais, que todas essas alterações estão sendo feitas sem se considerar a demanda reprimida, o que pode (e deve) alterar profundamente esse quadro de atendimento, principalmente em relação às creches. Por outro, caso se obtivesse a real demanda por vagas em Creches e EMEIs, seria bastante simples incorporar essa nova demanda ao sistema.

Como conclusão final das Etapas II e III, cabe ressaltar que nas projeções de demanda efetuadas não foi observada redução em números absolutos de nenhuma faixa populacional, nem da população total, até o ano  $n$ , apenas um crescimento cada vez menor em termos relativos. Como consequência, não foram observadas situações em que a redução de demanda justificasse o fechamento de unidades de oferta, fato bastante comum em alguns países, como em Portugal, por exemplo. Ainda que possíveis reduções possam acontecer em regiões específicas dentro da cidade, como consequência das variações internas de densidade populacional, essas reduções não chegam a impor a necessidade de fechamento de unidades de oferta, uma vez que o impacto dessas reduções localizadas de demanda sobre os custos de deslocamento é pequeno.

### ***7.5 Etapas IV, V e VI: Saúde***

As análises conduzidas no estudo de caso para o Sistema de Saúde foram bem mais superficiais do que as efetuadas para o Sistema de Educação. Isso se deve basicamente ao fato do ponto crucial do modelo ser a definição da demanda, que nesse caso é a mesma para os dois sistemas. De posse dos valores de demanda e da localização espacial dos equipamentos da Saúde, o processo de geração de cenários de locação/alocação tende a ser bastante parecido com o que foi feito para a educação, privilegiando-se agora as medidas de cobertura.

Caso o monitoramento dos endereços dos recém-nascidos tivesse sido concretizado, poderiam ser feitas análises mais específicas com relação à frequência das crianças aos postos de saúde, dando um peso maior no dimensionamento das unidades de oferta às crianças de até um ano de idade, conforme discutido no item 6.5.4. Como isso não foi possível, optou-se por apresentar aqui análises primárias, com o intuito maior de apresentar a distribuição espacial das unidades de oferta e os possíveis caminhos para se realizar análises mais elaboradas. Assim, a Figura 7.16 apresenta a



distribuição dos 11 postos de saúde em funcionamento em 2000, além de 4 novos postos que estavam em construção no início de 2003. Desse modo, foram considerados como oferta para a Etapa IV os 11 postos existentes e, para as Etapas V e VI, todos os 15 postos (imaginando-se que em 2004 os 4 novos postos estarão em funcionamento).

A demanda global considerada foi sempre a somatória da demanda por creches e EMEIs. Para a Etapa IV foi considerada a demanda desagregada e para as Etapas V e VI a demanda estimada via modelos demográficos agregada aos setores censitários. Na Etapa V, a demanda considerada foi a soma das demandas do cenário 3 das Creches e 2 das EMEIs; Na Etapa VI, a soma das demandas do cenário 6 das Creches e 5 das EMEIs. Cabe ressaltar que as análises foram também efetuadas para as mesmas porcentagens de atendimento utilizadas nas Creches e EMEIs, uma vez que essa já estava disponível e assim poder-se-ia trabalhar com a demanda georeferenciada para o presente (não se conhece a localização espacial das crianças de 0 a 3 anos que não freqüentam as creches, por exemplo). No entanto, conforme discutido no 6.5.4, os serviços públicos de saúde (principalmente a vacinação) atingem uma porcentagem bem maior de crianças do que os serviços públicos de educação.

Definidas a demanda e a oferta para as Etapas IV, V e VI, foram calculadas as porcentagens de cobertura nesses instantes de dois modos diferentes: primeiro, trabalhando-se com a distância euclidiana, através de definição de bandas ao redor dos setores. Foram testadas três situações, definindo como áreas de cobertura aquelas que se encontravam num círculo de raio de 1,0 km, 1,5 km e 2,0 km (valores de irradiação máxima) a partir dos postos de saúde. A Figura 7.17 apresenta as bandas para a Etapa IV. Nesse caso, como os dados estavam desagregados, as porcentagens de cobertura foram calculadas dividindo-se o número de usuários dentro da área de cobertura pelo total de usuários.

Além do cálculo pelas bandas, as porcentagens de cobertura foram calculadas pela distância do usuário ao posto de saúde através do sistema viário. Para isso, foram utilizados os modelos de locação/alocação sem restrição de capacidade (FL), e os custos individuais eram comparados aos valores de irradiações máximas (1,0, 1,5 e 2,0 km) para se definir a porcentagem de usuários dentro da área de cobertura em cada situação. Os resultados para Etapa IV, calculados de modo desagregado, são resumidos na Tabela 7.22. Como já era esperado, as porcentagens de cobertura calculadas através

das distâncias pelo sistema viário são sempre menores do que as calculadas através das distâncias euclidianas.

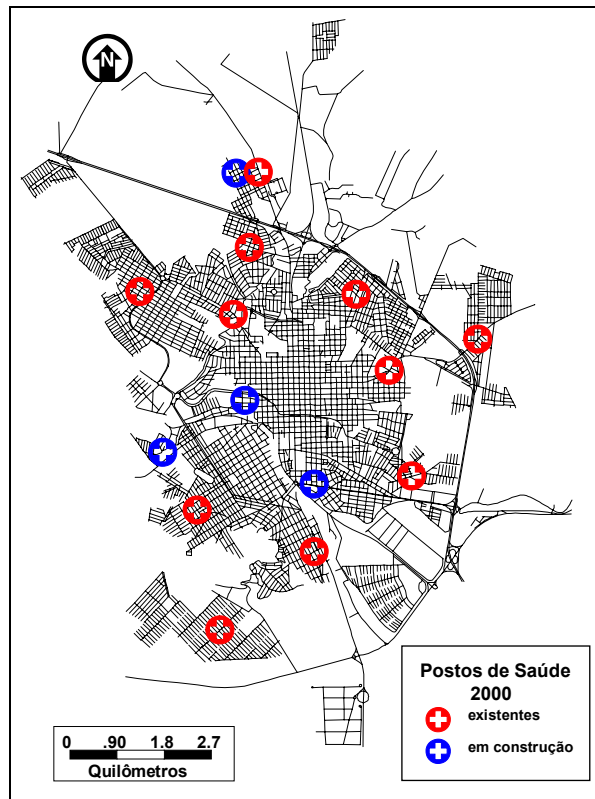


Figura 7.16 – Postos de saúde existentes em 2000 e em construção em 2003

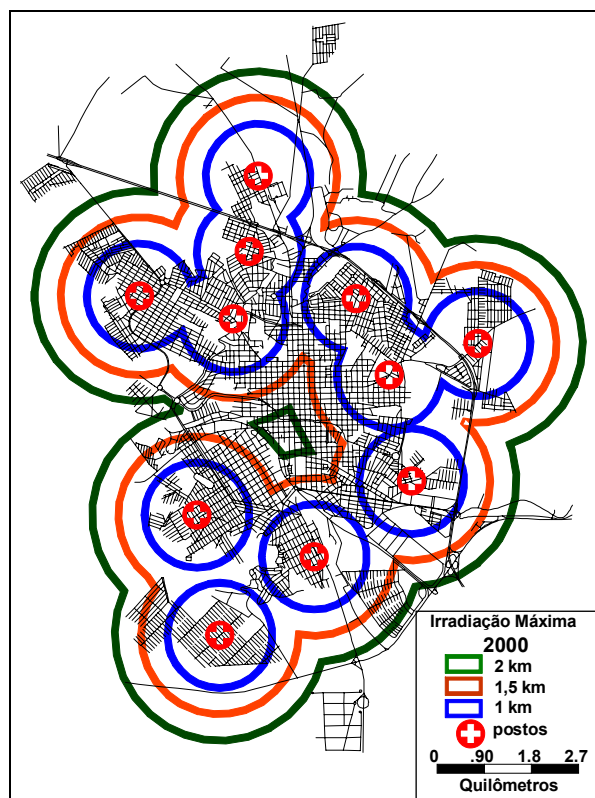


Figura 7.17 – Áreas de cobertura dos postos de saúde em 2000 – Etapa IV.

Tabela 7.22 – Porcentagem de cobertura – Etapa IV

Irradiação Máxima	Dist. Euclidiana		Dist. Sistema Viário	
	usuários cobertos	Porcentagem	usuários cobertos	Porcentagem
1 km	4.918	71 %	3.720	53 %
1,5 km	6.507	94 %	5.477	79 %
2 km	6.897	99 %	6.571	95 %
<b>Total de usuários</b>	6.934	100 %	6.934	100 %

O processo foi repetido para as Etapas V e VI, calculando-se novas bandas, agora para os 15 postos de saúde. No entanto, todos os cálculos tiveram agora que ser feitos com os dados agregados aos setores censitários. Assim, considerou-se que todos os usuários estariam concentrados nos centróides dos setores. Apesar desse método parecer incorporar demasiada imprecisão ao modelo, era a única alternativa que se encontrou para este estudo de caso face aos dados disponíveis. As Tabelas 7.23 e 7.24 apresentam as porcentagens de cobertura para as Etapas V e VI, respectivamente.

Tabela 7.23 – Porcentagem de cobertura – Etapa V

Irradiação Máxima	Dist. Euclidiana		Dist. Sistema Viário	
	usuários cobertos	Porcentagem	usuários cobertos	Porcentagem
1 km	5.855	78 %	4.084	54 %
1,5 km	7.385	98 %	6.425	85 %
2 km	7.525	99,9 %	7.364	98 %
<b>Total de usuários</b>	7.531	100 %	7.531	100 %

Tabela 7.24 – Porcentagem de cobertura – Etapa IV

Irradiação Máxima	Dist. Euclidiana		Dist. Sistema Viário	
	usuários cobertos	Porcentagem	usuários cobertos	Porcentagem
1 km	6.694	75 %	4.730	53 %
1,5 km	8.674	97 %	7.208	81 %
2 km	8.920	99,9 %	8.638	97 %
<b>Total de usuários</b>	8.926	100 %	8.926	100 %

A comparação dos dois métodos sugere que seja mais realista se trabalhar com a distância através do sistema viário para a definição da porcentagem de cobertura. No entanto, o cálculo através de distâncias euclidianas tem a seu favor o fato de ser bastante simples e de fácil entendimento quando os resultados são representados de

forma gráfica, tal qual na Figura 7.17, desde que se disponha de dados desagregados. A agregação dos dados aos centróides dos setores censitários não parece fazer muito sentido nesta análise, pois muitas vezes as próprias dimensões dos setores são maiores do que as distâncias de cobertura utilizadas.

Após essas rápidas considerações sobre a saúde, deu-se por encerrado o estudo de caso, cujas análises refletiram basicamente a quantidade e a qualidade dos dados disponíveis. Os seus resultados, juntamente com toda a base conceitual apresentada anteriormente, forneceram elementos suficientes para as conclusões deste estudo, que são apresentadas e discutidas no próximo capítulo. Antes, porém, as atividades que deveriam ser desenvolvidas para implementação da metodologia no estudo de caso, que foram apresentadas no item 6.6, são agora reapresentadas, no item 7.6. Neste item, as partes do texto que aparecem em destaque referem-se às condições definidas na e para a aplicação prática.

## **7.6 Atividades desenvolvidas**

### *a) Estabelecimento das bases do sistema*

1. *Base Institucional – contou com o apoio da prefeitura, embora não formalizado:*
  - *dados do sistema municipal de educação: **Dados obtidos para o ano 2000 (completos) e 2001 (incompletos).***
  - *dados do sistema municipal da saúde: **Dados obtidos de setembro de 1999 a agosto de 2000.***
2. *Base operacional – **estruturação de um cadastro urbano no SIG contendo as coordenadas geográficas de cerca de 52.000 endereços da cidade. Obtido a partir do cadastro do SAAE.***
3. *Dados demográficos – **obtidos dados anuais agregados ao nível do município, junto ao SEADE (população, nascimentos, e taxas de urbanização), e em um nível intermediário de agregação (por setor censitário), junto ao IBGE (dados de população por faixa etária), referentes aos Censos de 1980, 1991 e 2000.***

### *b) Definição da abrangência do sistema*

4. *Dimensão Social.*
  - *Educação: **Creches e EMEIs municipais.***
  - *Saúde: **atendimento pediátrico e vacinação de crianças de 0 a 6 anos (mesma faixa etária da Educação aqui tratada).***
5. *Dimensão Temporal: **definida a partir dos estudos demográficos preliminares.***

### *c) Estudos demográficos preliminares*

6. *Determinação do ano de estabilização da população (ano n). Estimado como sendo em 2023.*
  7. *Estimativa das taxas de crescimento anuais e população até o ano 2023.*
  8. *Estimativa das taxas de urbanização até o ano 2023.*
  9. *Estimativa da população urbana até o ano 2023.*
  10. *Estimativa do número anual de nascimentos até o ano 2023.*
  11. *Definição da dimensão temporal: ano 0 = 2000 (presente); ano n = 2023 (futuro distante). Futuro próximo em 2004.*
- d) *Definição das medidas de desempenho utilizadas*
12. *Para o Sistema de Educação, medidas de acessibilidade (custos de deslocamento máximos, médios e totais, porcentagens de realocações e índices globais de acessibilidade).*
  13. *Para o Sistema de Saúde, medidas de cobertura (irradiação máxima e porcentagem de cobertura).*
- e) *Caracterização geral da demanda e da oferta*
14. *Etapa I – dados desagregados obtidos para o ano 2000.*
  15. *Etapa II – dados agregados ao nível dos setores censitários. Distribuição da demanda estimada a partir de modelos demográficos. Foram testados modelos que projetam a porcentagem de nascimentos e que projetam diretamente a demanda por Creches e EMEIs. Como se optou pela não utilização dos endereços dos recém-nascidos, trabalhou-se com o segundo modelo.*
  16. *Etapa III – dados agregados ao nível dos setores censitários. Primeiramente, foi testado um modelo baseado em Cellular Automata e Redes Neurais Artificiais para estimativas de densidade a médio prazo (2010). Como os resultados globais obtidos foram bastante diferentes da projeção global (adotada como referência), optou-se pela utilização do mesmo modelo demográfico da Etapa II para estimar a distribuição espacial da demanda no ano 2023.*
  17. *Etapas IV, V e VI – mesmos dados que os das Etapas I, II e III (respectivamente).*
- f) *Etapa I – Educação – Presente*
18. *Com a demanda e a oferta de educação georeferenciadas, foram testados diversos cenários de distribuição de demanda e oferta a partir de modelos de locação/alocação do SIG, tendo como referência a distribuição real conhecida. Os diversos cenários foram avaliados através das medidas de desempenho. Análises feitas com dados desagregados.*
- g) *Etapa II – Educação – Futuro próximo*
19. *A partir da estimativa da distribuição espacial da demanda, novos cenários de locação/alocação foram gerados, variando-se agora a porcentagem de atendimento, incluindo possíveis expansões a partir dos valores do presente.*
- h) *Etapa III – Educação – Futuro distante*

**20. Novos cenários gerados, tal como na Etapa II, agora para o ano 2023. Os efeitos da abertura de novas unidades propostas na Etapa II foram avaliados no ano 2023, buscando identificar regiões que observassem diminuição da demanda no futuro.**

*i) Etapas IV, V e VI – Saúde*

**21. Definição de valores de irradiação máxima. Foram testados valores se 1 km, 1,5 km e 2 km.**

**22. Cálculo das porcentagens de cobertura para cada valor de irradiação máxima via distância euclidiana. Feita a partir da definição de bandas ao redor dos postos de saúde. O cálculo da porcentagem de cobertura foi feito de modo desagregado (Etapa IV) e agregado (Etapas V e VI). No caso agregado, toda a demanda dos setores foi localizada nos centróides dos mesmos.**

**23. Cálculo das porcentagens de cobertura via distância pelo sistema viário. Para isso, foram rodados modelos de locação/alocação sem restrição de capacidade com dados desagregados (Etapa IV) e agregados (Etapas V e VI). Novamente, a demanda agregada foi localizada nos centróides.**

## **8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES**

---

O objetivo do trabalho foi estabelecer as bases de um sistema (ou uma metodologia) que apoiasse a implantação de novos equipamentos coletivos e uma utilização eficiente dos equipamentos já existentes, tendo como parâmetro principal de comparação o custo de deslocamento dos usuários. Além disso, procurou-se tratar o planejamento e a gestão dos equipamentos coletivos de educação e saúde de forma conjunta, tentando estruturar uma base de dados única, uma vez que o público alvo é o mesmo quando se trata das faixas etárias mais baixas da população. Ainda, como proposta adicional, procurou-se incorporar como ferramentas de apoio ao sistema algumas técnicas emergentes que, embora relativamente pouco utilizadas no planejamento urbano até o presente momento, apresentam grande potencial para tal. São elas: os Autômatos Celulares (ou CA, *Cellular Automata*) e as Redes Neurais Artificiais (RNA).

A avaliação *in loco* das condições observadas em Portugal foi de grande valia para o trabalho, principalmente pela experiência em uma realidade de planejamento diferente da brasileira, que sempre vivenciou aumentos de população e, por conseguinte, de demanda por equipamentos de educação. Em Portugal, pelo contrário, o quadro atual é o de diminuição de demanda nas cidades pequenas e médias, especialmente naquelas mais afastadas dos grandes centros.

Na aplicação prática dos conceitos propostos, realizada através de um estudo de caso, a montagem de um cadastro contendo cerca de 52.000 pontos de endereços da cidade de São Carlos, no ano 2000, foi de grande importância para o projeto. Apesar do grande trabalho demandado, através dessa base foi possível efetuar o georeferenciamento de cerca de 13.000 alunos do sistema de educação (incluindo os das

EMEBs), e de cerca de 2.500 recém-nascidos (que acabaram por não ser considerados no estudo de caso, assim como os alunos das EMEBs). Além disso, a partir de novos dados podem ser georeferenciados, desde que essa base seja atualizada constantemente.

O fato de não se obter dados desagregados para outros anos além do ano 2000 (os dados de 2001 foram obtidos, mas de forma incompleta e a poucos meses da conclusão do trabalho) fez com que as análises das etapas correspondentes ao futuro próximo fossem efetuadas a partir de estimativas de demanda, feitas com modelo demográfico, baseado em dados agregados. Com isso foi possível gerar modelos de locação/alocação, mas não foi possível acompanhar individualmente os usuários do sistema de educação e os recém-nascidos ao longo dos anos, numa implantação efetiva de um cadastro unificado para a educação e a saúde.

Muito antes de se atingir os objetivos finais do trabalho, a simples digitalização dos dados referentes aos endereços dos usuários e o lançamento dos mesmos no SIG já fornece informações interessantes acerca da distribuição espacial dos alunos da rede municipal de educação. No caso do sistema de Educação, por exemplo, os mapas temáticos com a distribuição espacial, nos quais se pode distinguir os alunos de cada escola por cores diferentes indica claramente os pontos extremos do sistema, ou seja, os alunos que estão realizando grandes deslocamentos dentro da cidade para freqüentar uma escola. Com isso, ao simples clique do *mouse*, poder-se-ia obter informações mais detalhadas desse aluno, o que permitiria, dependendo do caso, contatá-lo para se conhecer os motivos do mesmo estar freqüentando uma escola tão afastada de sua residência.

Apesar do trabalho de correção e formatação dos dados ter demandado um valioso tempo do projeto, este foi de grande importância na montagem de uma base de dados consistente e que possa ainda ajudar pesquisas futuras a não enfrentar esse mesmo tipo de problema. Além disso, a criação de um banco de dados padronizado e comum a diversos órgãos públicos pode praticamente eliminar esse grave obstáculo às pesquisas em Planejamento Urbano. Um simples processo de informatização, em que os nomes das ruas já estejam armazenados no computador no momento em que se efetua a digitalização dos dados da matrícula de cada aluno, pode eliminar quase que totalmente esse problema e criar uma base de dados sempre atualizada. Nesse caso, quando o operador digitasse as primeiras letras do nome da rua, o próprio computador já



ofereceria as opções de ruas existentes contendo aquele nome, até se chegar ao nome da rua sem erros de ortografia. Esse simples procedimento eliminaria quase que totalmente os problemas com o formato dos dados e já permitiria inclusive um georeferenciamento automático.

De maneira mais geral, pode-se afirmar que a obtenção de dados é o grande obstáculo para pesquisas dessa natureza. A montagem de uma base de dados sólida e confiável é, sem dúvida, o ponto crucial para a execução de projetos dessa natureza. O uso de ferramentas computacionais avançadas não trará benefício algum caso não se obtenham os dados de entrada necessários.

Os modelos de previsões de demanda funcionam bem para estimativa da evolução da demanda por serviços de educação e saúde. No entanto, numa aplicação prática, modelos mais complexos deveriam ser utilizados, pois os aqui utilizados foram bastante simples, já que o propósito era de se elucidar as possibilidades de aplicação e desenvolvimento da metodologia. Uma vez mais, convém destacar que os modelos demográficos, da maneira como foram aqui utilizados, não conseguem prever a expansão territorial da mancha urbana, que se sabe ainda ocorrer na imensa maioria das cidades brasileiras.

Nesse sentido, pretendia-se tratar a questão da expansão territorial com a inclusão de um modelo baseado em *Cellular Automata*. O fato dos resultados obtidos no estudo de caso não terem sido satisfatórios, quando comparados com aqueles obtidos com os modelos demográficos, não implica na inviabilidade de utilização de CA para modelos de simulação urbana. Indica apenas que novas alternativas devam ser testadas para o modelo a fim de melhorar o seu desempenho, como a inclusão de novas variáveis e outras configurações, tanto da divisão espacial considerada quanto das RNA utilizadas para se definir as regras de transição. As aplicações de CA em modelos de simulação urbana vêm crescendo rapidamente nos últimos anos, o que indica que provavelmente em pouco tempo, com o desenvolvimento das pesquisas, melhores resultados poderão ser obtidos.

A utilização do Índice de Acessibilidade Global como medida de acessibilidade demonstra que é possível criar algumas medidas de desempenho além das já utilizados, até porque não há um consenso entre as medidas e os valores de referência a serem utilizados. Especificamente em relação ao IGA e suas variantes utilizadas, cabe

ressaltar que esse índice não se aplica, quando utilizado do modo aqui apresentado, a grandes cidades, pois os valores seriam altos demais para serem adotados como referência de acessibilidade aos usuários. Isso não implica em sua inviabilidade, apenas na necessidade de alguns ajustes, como o cálculo para sub-regiões ou bairros, por exemplo, onde seriam obtidos valores da mesma ordem de grandeza daqueles das cidades médias.

Outras medidas de desempenho alternativas poderiam ser utilizadas, como um Índice de Atendimento às unidades de oferta, que seria calculado utilizando algumas ferramentas de análise espacial contidas no SIG. Para cada nível de atendimento de cada sistema (por exemplo, nível Creche, do sistema de Educação) seriam calculados dois valores para cada nó (interseção) da rede que representa o sistema viário da cidade. Um deles seria o número de usuários dentro de uma certa irradiação a partir do nó (por exemplo, 50 metros), representando a demanda quase que pontual; o outro valor seria uma distância média às unidades de oferta, ponderada pelas respectivas capacidades. Esse dois valores seriam então normalizados e combinados, tendo-se para cada nó (interseção) um índice de atendimento, que poderia refletir a carência ou a abundância de vagas. Com esse índice podem ser geradas superfícies de valores para toda a cidade, o que representa um mapa de curvas de níveis de atendimento. Além disso, utilizando alguns conceitos da Análise Multicritério, os resultados dos diferentes níveis escolares (no caso da Educação) poderiam também ser combinados, ponderados, por exemplo, pela quantidade de usuários em cada nível, gerando um Índice Global de Atendimento por Escolas (ampliando-se o conceito ainda mais, poder-se-ia gerar Índices Globais de Atendimento por várias infra-estruturas pontuais).

Com relação ao estudo de caso específico, observa-se que, para a educação, a distribuição espacial dos alunos de EMEIs foi em todas as situações melhor do que a das Creches. Em todos os cenários gerados, observou-se que quando se pensa em otimizar os custos de deslocamento, a principal ação a ser empreendida é a redistribuição dos alunos às Creches e EMEIs, antes de se pensar na abertura de novas unidades. Os cenários gerados no estudo de caso procuraram sempre ilustrar as situações extremas, que minimizariam o custo de deslocamento médio (no caso da educação) e máximo (no caso da saúde). Apesar da aplicação prática desses cenários muito provavelmente ser inviável, eles podem funcionar como parâmetro ideal,

buscando-se uma distribuição que esteja entre a real (sabidamente ruim) e a ideal (com os menores custos de deslocamento).

Para as porcentagens de atendimento atuais os cenários gerados indicaram que em 2004 seria necessária a abertura de uma creche e de mais uma até 2023. Para as EMEIs, duas em 2004 e mais sete até 2023. Esses números consideram como situação “presente” aquela observada em 2000 e, no caso das creches, já está incluída a nova creche que foi de fato aberta em 2001. Apesar da necessidade por um número maior de EMEIs, convém ressaltar que o número de alunos em EMEIs (5.920) é cerca de seis vezes o de crianças em Creches (1.014), enquanto o número de EMEIs (22) é o dobro de creches (11). Assim, a abertura de uma nova creche representa um aumento de cerca de 10 % na capacidade total, enquanto a de uma EMEI, cerca de 5 % (considerando que todas unidades tivessem a mesma capacidade). O número proposto de abertura de novas unidades adota como padrão a capacidade de 100 crianças para as creches e 250 alunos para as EMEIs. Obviamente, qualquer alteração nesses valores de capacidade implicaria em novos números e em novos cenários de distribuição.

No entanto, vale ressaltar uma vez mais que essas considerações estão sendo feitas **sem se considerar a demanda reprimida**<sup>5</sup>, o que obviamente mudaria todos esses cenários e muito provavelmente implicaria na necessidade de abertura de novas unidades. Em termos de aplicação de metodologia, isso não é problema, pois caso sejam conhecidos os valores de demanda reprimida, a incorporação ao sistema é trivial. De certo modo, isso já foi testado nos cenários que previam a expansão da porcentagem de atendimento. Mais importante do que os resultados obtidos no estudo de caso é a demonstração de que qualquer alteração pode ser facilmente implementada no sistema e novos cenários podem ser gerados, de acordo com as necessidades e expectativas do decisor.

No caso do sistema de saúde, as análises efetuadas foram bastante superficiais, apenas para ilustrar o caminho a ser seguido numa aplicação prática. A principal variável do sistema é a irradiação máxima, a partir da qual se definem as porcentagens de cobertura. A definição desse valor acaba por nortear a definição do número e da localização para abertura de novos postos, que nesse caso é menos onerosa

---

<sup>5</sup> Aqui, e em todo o texto, o termo *demanda reprimida* refere-se tanto à *necessidade* (carência) por vagas no sistema de educação propriamente dita quanto à variações na demanda como consequência de variações na oferta.

do que uma Creche ou EMEI, pois as dimensões são menores. Além disso, a frequência dos usuários não é diária. O cálculo das porcentagens de atendimento apresentou diferenças significativas quando calculadas pelas distâncias euclidianas e através do sistema viário, sendo o último um método mais realista. No entanto, os mapas de cobertura elaborados a partir das distâncias euclidianas apresentam um forte apelo visual (de fácil entendimento para o decisor não especialista).

Ainda em relação ao cálculo das porcentagens de cobertura, não faz muito sentido calculá-las de modo agregado, associando todos os usuários de cada setor ao respectivo centróide, pois muitas vezes as dimensões do setor são maiores do que o valor de irradiação máximo utilizado para determinação da porcentagem de cobertura.

Como uma síntese de todos os aspectos discutidos nestas conclusões, vale a pena destacar os principais obstáculos e oportunidades, bem como as oportunidades geradas pela metodologia proposta, apresentadas na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 – Obstáculos e oportunidades encontrados na aplicação do sistema

REQUISITOS DO SISTEMA	REALIDADE ENCONTRADA
<b>AS BASES DO SISTEMA</b>	
<b>BASE INSTITUCIONAL</b> Parceria com a Prefeitura	Problemas com relações políticas: dificuldade em "vender" a idéia do projeto e conseguir uma parceria efetiva com a Prefeitura, na qual o processo de obtenção de dados seja rápido e eficiente.
<b>BASE OPERACIONAL</b> Mapas georeferenciados para o SIG Base de endereços georeferenciada (base para obtenção da distribuição espacial da demanda) Dados geográficos (demanda e oferta), com diferentes níveis de agregação espacial, para abastecer o sistema proposto	Inexistência de cadastro urbano de endereços bem estruturado e atualizado Dificuldade para georeferenciar todos os usuários (inconsistência de dados) Dificuldade para obtenção de dados de demanda Dados dos usuários em papel (não digitalizados)
<b>DADOS DEMOGRÁFICOS</b> Sérias históricas anuais do município da população total, de nascimentos, e da população por faixa etária Obtenção de dados agregados aos setores censitários dos últimos Censos	Dificuldade para georeferenciamento de dados dos censos mais antigos Dificuldade de obtenção de dados de migrações
<b>CARACTERIZAÇÃO GERAL DA DEMANDA E DA OFERTA</b> Estimar o ano de estabilização da população, o número anual de nascimentos até lá e respectiva distribuição espacial	Dificuldade de obtenção, para o presente, da demanda desagregada georeferenciada Possível imprecisão de métodos de extrapolação de tendências para previsões demográficas até o ano de estabilização

REQUISITOS DO SISTEMA	REALIDADE ENCONTRADA
<b>ETAPA I</b>	
Dados provenientes da etapa de definição das bases do sistema, valores de densidade populacional (real e desejável), valores de demanda reprimida e definição de fatores de atratividade das unidades de oferta Dados desagregados de matrículas georeferenciados	Dificuldades para georeferenciar todos os alunos da rede de educação e de obtenção de dados do local de emprego das mães dos alunos das creches Dificuldades para incorporar fatores de atratividade e modos de transporte no cálculo dos custos de deslocamento e de incorporar a demanda reprimida no modelo
<b>ETAPA II</b>	
Dados provenientes da etapa de definição das bases do sistema, perspectivas de evolução da densidade populacional (real e desejável), localização de pontos candidatos à abertura de novas unidades escolares Dados desagregados para vários anos além do ano 0	Possíveis imprecisões decorrentes das simplificações necessárias para que se efetuem estimativas de demanda e distribuições espaciais futuras Dificuldade de obtenção de dados desagregados para outros anos além do ano 0 Desconhecimento dos fluxos migratórios (intra e inter municipais)
<b>ETAPA III</b>	
Mesmos que os da Etapa II, além de previsões de expansão urbana. Fator crucial é a provável perspectiva de estabilização da população Modelo para previsão da expansão territorial (CA)	Modelos usuais de previsão de demanda não trabalham bem com previsões de longo prazo Fraco desempenho do modelo baseado em CA
<b>ETAPAS IV, V, E VI</b>	
Caracterização geral da demanda e oferta e base operacional: dados e estimativas demográficas ( <i>inputs</i> das Etapas I, II e III) Definição de valores de irradiação máxima dos postos de saúde	Dificuldade de se incorporar fatores de atratividade aos postos de saúde no cálculo dos custos de deslocamento e a demanda reprimida no modelo Dificuldades e hipóteses simplificadoras semelhantes às das Etapas I, II, III Cálculo das porcentagens de cobertura não apresenta bons resultados quando são utilizados dados agregados (Etapas V e VI)

Como conclusão final, o objetivo de demonstrar a possibilidade de aplicação de uma metodologia de apoio à decisão espacial para o problema estudado foi atingido, ainda que diversas hipóteses simplificadoras e ajustes de ferramentas tivessem de ser efetuados para se concretizar o estudo de caso. Mais importante do que os resultados numéricos obtidos foi a confirmação de que é possível se utilizar as diversas ferramentas de planejamento e gestão de modo integrado. A partir dessa metodologia, um investimento em desenvolvimento de *software* pode levar à construção de um efetivo Sistema de Apoio à Decisão Espacial.

### ***8.1 Sugestões para trabalhos futuros***

As possibilidades de continuação ou refinamento do trabalho são diversas, como consequência direta da grande abrangência de temas nele abordados. De um modo geral, as diversas partes do sistema podem ser pesquisadas com maior profundidade de modo individual, buscando melhorar o desempenho da Metodologia (ou do Sistema) de Apoio à Decisão Espacial. Assim, algumas possibilidades são apresentadas, a título de sugestão.

- *Transformação da metodologia em sistema de apoio à decisão espacial, a partir do desenvolvimento computacional da metodologia;*
- *Inclusão de outras variáveis além dos custos de deslocamento, como os custos de instalação, manutenção e operação das unidades de oferta, que poderiam ser combinadas numa análise multicritério;*
- *Refinamento dos modelos demográficos utilizados, de modo a se obter projeções demográficas mais consistentes;*
- *Métodos de estruturação e implantação de cadastro urbano;*
- *Refinamento do modelo baseado em Cellular Automata, através da inclusão de outras variáveis para a definição das regras de transição e busca pela melhor configuração da divisão espacial a ser utilizada;*
- *Busca por melhores configurações de Redes Neurais Artificiais para utilização no modelo de CA;*
- *Construção de modelos de interação espacial baseados em Redes Neurais Artificiais para avaliação de padrões de distribuição de viagens nos diferentes cenários.*

## **9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

---

- ALLEN, W.B.; LIU, D.; SINGER, S. (1993). Accessibility measures of U.S. metropolitan areas. *Transportation Research B: Methodological*, v.27, n.6, p.439-449.
- ALMEIDA, L.M.W. (1999). *Desenvolvimento de uma metodologia para análise locacional de sistemas educacionais usando modelos de interação espacial e indicadores de acessibilidade*. Florianópolis. 168p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ALMEIDA, L.M.W.; GONÇALVES, M.B. (2001). A methodology to incorporate behavioral aspects in trip-distribution models with an application to estimate student flow. *Environment and Planning A*, v.33, n.6, p.1125-1138, Jun.
- AMER, S. (1997). Health coverage in Dar Es Salaam, Tanzania. In: WORLD CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT, 5., Mumbai, India, 1997. *Proceedings*. Indian Institute of Technology, v.2, p.552-559.
- ANSELIN, L.; SMIRNOV, O. (1998). *The SpaceStat extension for ArcView 3.0*. Regional Research Institute, West Virginia University, Morgantown.
- ANTUNES, A.P. (2001). *Lições de planeamento de equipamentos coletivos*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- ARENTZE, T. (1999). *A spatial decision support system for the planning of retail and service facilities*. Eindhoven, Netherlands. 312p. Tese (Doutorado). Technische Universiteit.
- ARMSTRONG, M.P.; DESHAM, P.J. (1990). Database organization strategies for spatial decision support systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.4, n.1, p.3-20.
- BALLING, R.J.; DAY, K.; TABER, J.; WILSON, S.A. (2000). Land-use / transportation planning for twin cities using genetic algorithm. In: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD ANNUAL MEETING, 79., Washington, D.C. U.S.A., 2000. *Proceedings*. (em CD-ROM).
- BARTOLI, S.P.; FORTES, J.A.A.S.; ANDRADE, N.P. (1996). Sistema de informação geográfica (SIG) como instrumento para avaliação da acessibilidade locacional de paradas de ônibus. In: CONGRESSO ANUAL DA ANPET – ASSOCIAÇÃO

- NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 10., Brasília, DF, 1996. *Anais*. Rio de Janeiro, v.1, p.245-256.
- BLACK, W. (1995). Spatial interection modeling using artificial neural networks. *Journal of Transport Geography*, v.3, n.3, p.159-166.
- BOCANEGRA, C.W.R. (2002). *Procedimentos para tornar mais efetivo o uso das redes neurais artificiais em planejamento de transportes*. São Carlos. 97p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BOJÓRQUEZ-TAPIA, L.A.; DÍAZ-MONDRAGÓN, S.; EZCURRA, E. (2001). Gis-based approach for participatory decision making and land suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, v.15, n.2, p.129-151, mar.
- BOSSARD, E.G. (1999). Envisioning neighborhood quality of life using conditions in the neighborhood access to and from conditions in the surrounding region. In: RIZZI, P., ed. *Computers in urban planning and urban management on the edge of the millenium*, Venice, Italy, FrancoAngeli.
- BRAGA, A.P.; CARVALHO, A.P.L.F.; LUDEMIR, T.B. (1998). Fundamentos de redes neurais artificiais. In: ESCOLA DE COMPUTAÇÃO, 11., Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 1998. *Anais*.
- BRONDINO, N.C.M. (1999). *Estudo da influência da acessibilidade no valor de lotes urbanos através do uso de redes neurais*. 146p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CALIPER (1996). *Routing and logistics with TransCAD 3.0*. Newton, Massachusetts, Caliper Corporation.
- CARVER, S.J. (1991). Integrating multicriteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Systems*, v.5, n.3, p.321-339.
- CLARKE, C.; CLARKE, M. (1995). The developments and benefits of customized spatial decision support systems. In: LONGLEY, P.; CLARKE, G., eds. *GIS for business and service planning*. Cambridge, Geoinformation International, p.227-254.
- COHON, J.L. (1978). *Multiobjective programming and planning*. New York, Academic Press.
- COSTA, G.C.F. (2001). *Uma avaliação do consumo de energia com transportes em cidades do Estado de São Paulo*. 103p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DAVIS, C.A.Jr.; FONSECA, F.T. (1996). *Endereços: A base de um projeto de geoprocessamento urbano*. Apostila de curso, GIS-Brasil 96.
- DAVIS, G.B. (1974). *Management information systems: conceptual foundations, structure and development*. Tokyo, McGraw-Hill.
- DENSHAM, P.J. (1991). Spatial decision support systems. In: MAGUIRE, D.J.; GOOCHILD, M.F.; RHIND, D., eds. *Geographical information systems: principles and applications*. London, Longman Scientific & Technical, v.1, p.403-412.



- DOUGHERTY, M. (1995). A review of neural networks applied to transport. *Transportation Research C*, v.3, n. 4, p.247-260.
- DUTRA, N.G.S. (1998). *Planejando uma rede escolar municipal para reduzir custos de deslocamentos*. São Carlos. 94p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- EASTMAN, J.R.; JIANG, H. (1996). Fuzzy measures in multicriteria evaluation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL ACCURACY ASSESSMENT IN NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL STUDIES, 2., Fort Collins, Colorado, May 21-23, 1996. *Proceedings*. Fort Collins, p.527-534.
- EASTMAN, J.R.; JIANG, H.; TOLEDANO, J. (1998). Multicriteria and multiobjective decision making for land allocation using GIS. In: BEINAT, E.; NIJKAMP, P., eds. *Multicriteria analyses for land-use management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p.227-251.
- EASTMAN, J.R.; KYEM, P.A.K.; TOLEDANO, J.; JIN, W. (1993). *Gis and decision making*. Geneve, Unitar.
- EICHELBERGER, P. (1993). The importance of address – the locus of GIS. In: URBAN AND REGIONAL SYSTEMS ASSOCIATION 1993 ANNUAL CONFERENCE. *Proceedings*. v.1, p.212-222.
- ERLENKOTTER, D. (1978). A dual-based procedure for uncapacitated facility location. *Operations Research*, v.26, p.992-1009.
- FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. (1996). The KDD process for extracting useful knowledge from volumes of data. *Communications of the ACM*, v.39, p.27-34.
- FERRARI, R. (1997). *Viagem ao SIG: planejamento estratégico, viabilização, implantação e gerenciamento de sistemas de informação geográfica*. Curitiba, Sagres.
- FREITAS, H.M.R. (1993). *A informação como ferramenta gerencial*. Porto Alegre, Ortiz.
- GALVÃO, R.D. (2000). *Sistemas de apoio à decisão espacial para problemas de localização e distribuição*. Projeto integrado de pesquisa, Programa de Engenharia de Produção, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.po.ufrj.br/projeto/>>. Acesso em 08 dez. 2000.
- GALVÃO, R.D.; RAGGI, L.A. (1989). A method for solving to optimality uncapacitated location problems. *Annals of Operations Research*, v.18, n.1-4, p.225-244.
- GALVÃO, R.D.; NOBRE, F.F.; VASCONCELLOS, M.M. (1999). Modelos matemáticos de localização aplicados à organização espacial de unidades de saúde. *Revista da Saúde Pública*, v.33, n.4, p.422-434, ago.
- GEIPOT (1985). Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. *Estudo da demanda de transportes urbanos – Diagnóstico/1981 – Prognóstico/1985-1990*. 344p. Brasília, p.20-21

- GERRARD, R.A.; CHURCH, R.A. (1994). Analyzing tradeoffs between zonal constraints and accessibility in facility location. *Computers & Operations Research*, v.21, n.1 p.79-99.
- HARRIS, B. (1989). Beyond geographic information systems: computers and the planning professional. *Journal of the American Planning Association*, v.55, n.1, p.85-90.
- HECHT-NIELSEN, R. (1987). Counter-propagation networks. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 1., *Proceedings*. v.2.
- HEYWOOD, I.; OLIVER, J.; TOMLINSON, S. (1995). Building an exploratory multi-criteria modeling environment for spatial decision support. In: FISHER, P., ed. *Innovations in GIS 2*. London, Taylor & Francis, p.127-136.
- HINTON, G.E.; SEJNOWSKI, T.J. (1986). Learning and relearning in Boltzmann machines. In: RUMELHART, D.E.; McCLELLAND, J.L., eds. *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition*, v.1. Cambridge, MIT Press.
- JANKOWSKI, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods. *International Journal of Geographical Systems*, v.9, n.3, p.251-273.
- JANKOWSKI, P.; ANDRIENKO, N.; ANDRIENKO, G. (2001). Map-centred exploratory approach to multiple criteria spatial decision making. *International Journal of Geographical Information Science*, v.15, n.2, p.101-127, Mar.
- JANKOWSKI, P.; NYERGES, T.L.; SMITH, A.; MOORE, T.J.; HORVATH, E. (1997). Spatial group choice: a SDSS tool for collaborative spatial decision-making. *International Journal of Geographical Systems*, v.11, n.6, p.566-602.
- JANNUZZI, P.M. (1995). Fontes de informação sócio-demográficas para planejamento no setor público. *Revista da Administração Pública*, v.29, n.3, p.197-210, jul/set.
- JANNUZZI, P.M.; PASQUALI, F.A. (1999). Estimação de demandas sociais futuras para fins de formulação de políticas públicas municipais: notas para discussão. *Revista da Administração Pública*, v.33, n.2, p.75-94, mar/abr.
- JOERIN, F.; THÉRIAULT, M.; MUSY, A. (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, v.15, n.2, p.153-174, Mar.
- KAMMEIER, H.D. (1999). New tools for spatial analysis and planning as components of an incremental planning-support system. *Environmental and Planning B: Planning and Design*, v.26, n.3, p.365-380.
- KLOSTERMAN, R.E. (1995). Planning support systems. In: WORLD CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT, 4., Melbourne, Australia, 1995. *Proceedings*. University of Melbourne, v.1, p.19-35.
- KLOSTERMAN, R.E. (1997). The "What-If?" collaborative planning support systems. In: SIKDAR, P.K.; DHINGRA, S.L.; KRISHNA RAO, K.V., eds. *Computers in urban planning and urban management*. Narosa Publishing House, New Delhi, v.2, p.692-702.

- KLOSTERMAN, R.E. (2001). Planning support systems: a new perspective on computer-aided planning. In BRAIL, R.K.; KLOSTERMAN, R. E., eds. *Planning support systems: integrating geographic information systems, models, and visualization tools*. ESRI Press, Redlands, California, p.1-23.
- KOSKO, B. (1988). Bidirectional Associative Memories. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, v.18, n.1, p.49-60, Jan/Feb.
- KOSKO, B. (1992). *Neural networks and fuzzy systems*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.
- LAARIBI, A.; CHEVALLIER. J.J.; MARTEL, J. M (1996). A spatial decision aid: a multicriterion evaluation approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, v.20, n.6, p.351-366, Nov.
- LEE, D. (1973). Requiem for large-scale models. *Journal of the American Institute of Planners*, v.39, n.3, p.163-178.
- LEONARDI, G. (1981). A unifying framework for public facility location problems – Part 1: a critical overview and some unsolved problems. *Environment and Planning A*, v.13, p.1001-1024.
- LEUNG, Y. (1988). *Spatial analysis and planning under imprecision*. Amsterdam, Netherlands, North-Holland.
- LIMA, R.S. (1998). *Expansão urbana e acessibilidade – o caso das cidades médias brasileiras*. São Carlos. 81p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LIMA, R.S. (2001). *Critérios de planejamento das redes de educação e saúde em Portugal*. Relatório de doutorado FAPESP. Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LIMA, R.S.; MENDES, J.F.G.; SILVA, A.N.R.; SILVA, A.L.M. (2000a). Uma avaliação da qualidade de vida em São Carlos – SP. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE URBANISMO, 9., Recife, PE, 2000. *Anais*. (em CD ROM).
- LIMA, R.S.; NARUO, M.K., RORATO, R.J.; SILVA, A.N.R. (2001). Influência da desagregação espacial da demanda por educação no cálculo das distâncias de deslocamento em uma cidade média. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20., CONFERÊNCIA IBERO-AMERICANO DE SIG, 8., Porto Alegre, RS, 2001. *Anais*. (em CD ROM). Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Cartografia.
- LIMA, R.S.; SILVA, A.N.R. (1999). The influence of city form on transportation accessibility. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELING AND MANAGEMENT IN TRANSPORTATION, Poznan, Poland, 1999. *Proceedings*. Cracow, Cracow University of Technology, v.2, p.53-58.
- LIMA, R.S.; SILVA, A.N.R.; EGAMI, C.Y.; ZERBINI, L.F (2000b). Promoting a more efficient use of urban areas in developing countries: an alternative. *Transportation Research Record*, v.1726, p.8-15.
- LIMA, R.S.; SILVA, A.N.R.; WAERDEN, P.V.D. (2003). Espalhamento urbano: mito ou realidade no Brasil? O caso das cidades médias. *Revista dos Transportes Públicos*, v.98, p.31-46, 1º. trim.

- LORENA, L.A.N.; SENNE, E.L.F.; PAIVA, J.A.C.; PEREIRA M. A. (2001). Integração de modelos de localização a Sistemas de Informações Geográficas. *Gestão e Produção*, v.8, n.2, p.180-195.
- MALCZEWSKI, J. (1999a). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York, John Wiley & Sons.
- MALCZEWSKI, J. (1999b). Visualization in multicriteria spatial decision support systems. *Geomatica*, v.53, n.2, p.139-147.
- MALCZEWSKI, J.; OGRYCZAK, W. (1995). The multiple criteria location problem: 1. A generalized network model and the set of efficient solutions. *Environment and Planning A*, v.27, n.12, p. 1931-1960.
- MALCZEWSKI, J.; OGRYCZAK, W. (1996). The multiple criteria location problem: 2. Preference-based techniques and interactive decision support. *Environment and Planning A*, v.28, n.1, p.69-98.
- MASSAM, B.H. (1980). *Spatial search: applications to planning problems in the public sector*. Oxford, Pergamon Press.
- McCLELLAND, C.; RUMELHART, D. (1988). *Explorations in parallel distributed processing: a handbook of models, programs and exercises*. Cambridge, MIT Press.
- MENDES, J.F.G. (1999). *Onde viver em Portugal - uma análise da qualidade de vida nas capitais de distrito*. Ordem dos Engenheiros, Coimbra, Portugal.
- MENDES, J.F.G.; SILVA, J.; RAMETTA, F.; GIORDANO, S. (1999). Mapping urban quality of life in Portugal: A GIS approach. In: BENTO, J.; ARANTES, E.; OLIVEIRA, E.; PEREIRA, E., eds. *EPMESC VII: Computational Methods in Engineering and Science*. Macao, Elsevier, v.2, p.1107-1115.
- MENDIRATTA, P.; RAVIKUMAR, K.V.R.K. (1997). GIS as a decision support system in urban planning: case study of regional park development in New Bombay. In: WORLD CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT, 5., Mumbai, India, 1997. *Proceedings*. Indian Institute of Technology, v.2, p.794-801.
- MITSUYUKI, S.R.M.; SILVA, A.N.R.; LIMA, R.S. (2002). Implementação de um modelo de *Cellular Automata* em um SIG-T. In: CONGRESSO ANUAL DA ANPET – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 16., Natal, RN, 2002. *Anais*. Rio de Janeiro, v.2, p.237-248.
- MORTON, M.S.S. (1971). *Management decision systems: computer based support for decision making*. Division of Research, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- MUNDA, G. (1995) *Multicriteria evaluation in a fuzzy environment: theory and applications in ecological economics*. Heidelberg, Germany, Physica-Verlag.
- NIJKAMP, P.; RIETVELD, P. (1986). Multiple objective decision analysis in regional economics. In: NIJKAMP, P., ed. *Handbook of regional and urban economics*. New York, Elsevier, p.493-541.
- OLIVEIRA, B.; CORAGEM, C. (2000). *Critérios de reordenamento da rede educativa*. Direção de Serviços de Estudos e Planeamento, Departamento de Avaliação Prospectiva e Planeamento, DAPP, Ministério da Educação, Portugal.

- OPPONG, J.R.; HODGSON, M.J. (1994). Spatial accessibility to health care facilities in Suhun district, Ghana. *Professional Geographer*, v.46, n.2, p.199-209.
- O'SULLIVAN, D.; TORRENS, P. M. (2000). Cellular models of urban systems. In: BANDINI, S.; WORSCH, T., eds. *Theoretical and practical issues on cellular automata*. London, Springer, p.108-116.
- PATARRA, N. (1991). *Tendências demográficas recentes e perspectivas para a próxima década*. São Paulo, Fundap, 1991. Documento de Trabalho da Questão Social, 11.
- PATARRA, N. (1996). Projeções demográficas: velhos desafios, novas fronteiras. *São Paulo em Perspectiva*, v.10, n.2, p.7-12.
- PEDROSA, B.M.; CÂMARA, G. (2002). Modelagem dinâmica e geoprocessamento. In: FULKS, S.D.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V., eds. *Análise espacial de dados geográficos*. INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI, Divisão de Processamento de imagens. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em 15 jun. 2002.
- PIZZOLATO, N.D.; FRAGA DA SILVA, H.B. (1997). The location of public schools: evaluation of practical experiences. *International Transactions in Operational Research*, v.4, n.1, p.13-22.
- POLLONI, E.G.F. (1992). *Management information systems: a estratégia da informação*. Thema, São Paulo
- POZZEBON, M.; FREITAS, H.M.R. (1997). Por um conjunto de princípios que possibilitem a construção de novos modelos de sistemas de informação. *Revista da Administração Pública*, v.31, n.5, p.87-104, set/out.
- QUEIROZ, F.D.O. (1999). *Um ambiente de redes neurais para web*. Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal de Pernambuco.
- RAIA Jr., A.A. (2000). Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas. 196p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo..
- RAMOS, R. A. R.; SILVA, A.N.R. (2003). A data-driven approach for the definition of metropolitan regions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT, 8., Sendai, Japan, 2003. *Proceedings*. (em CD-ROM). Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University.
- RAMOS, R.A.R. (2000). *Localização industrial: um modelo espacial para o noroeste de Portugal*. Braga, Portugal. 299p. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- RAMOS, R.A.R.; SILVA, A.N.R. (2002). Oportunidades e desafios de técnicas emergentes para o planeamento urbano: o caso dos modelos de Cellular Automata. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, *Anais*. (em CD-ROM). Associação de Utilizadores de Informação Geográfica, Lisboa, Portugal.
- REVELLE, C.; MARKS, D.; LIEBMAN, J.C. (1970). An analysis of private and public sector location models. *Management Science*, v.16, n.11, p.692-707.

- RODRIGUES, D.S. (2001). *Avaliação multicritério de acessibilidade em ambiente SIG*. Braga, Portugal, 143 p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- ROSADO, M.C. (2000). *Um método de avaliação da acessibilidade a serviços públicos com o uso do SIG – Aplicação à cidade de Araranguá (SC)*. Florianópolis, SC, 131p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ROSADO, M.C.; ULIYSSÉA NETO, I. (1999). Determinação de índices de acessibilidade a serviços de educação utilizando Sistema de Informação Geográfica. In: CONGRESSO ANUAL DA ANPET – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 13., São Carlos, SP, 1999. *Anais*. Rio de Janeiro, v.1, p.29-39.
- ROSE, A. (2001). *Uma avaliação comparativa de alguns Sistemas de Informação Geográfica aplicados aos transportes*. São Carlos. 135p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ROSENBLATT, F. (1958). The Perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Cornell Aeronautical Laboratory, Psychological Review*, v.65, n.6, p.386-408.
- ROSENTHAL, R.E. (1985). Concepts, theory and techniques: principles of multiobjective optimisation. *Decision Sciences*, v.16, n.2, p.133-152.
- SANCHES, O.M. (1997). Estratégias para a implantação e gerência de sistemas de informação de apoio à tomada de decisões. *Revista da Administração Pública*, v.31, n.4, p.68-100, jul/ago.
- SCHOFIELD, J. (1987). *Cost-benefit analysis in urban & regional planning*. London, Allen & Unwin.
- SEADE (2002). Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Memória das estatística demográficas. Disponível em <<http://www.seade.gov.br/500anos/>>. Acesso em 13 mai. 2002.
- SILVA, A.N.R. (1993). *O custo do solo urbano ocioso e uma nova sistemática de tributação da propriedade*. São Carlos. 137p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SILVA, A.N.R.; BRONDINO, N.C.M.; LIMA, R.S. (2001). A comparison of accessibility measures in a medium sized city of a developing country. In: WORLD CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT, 7., Honolulu, Hawaii, USA, 2001. *Proceedings*.(em CD-ROM). University of Hawaii.
- SILVA, A.N.R.; LIMA, R.S.; WAERDEN, P.V.D. (1999). The evaluation of urban network patterns with a global accessibility index in a GIS environment. In: WORLD CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT, 6., Venice, Italy, 1999. *Proceedings*.(em CD-ROM). Istituto Universitario di Architettura di Venezia.
- SILVA, A.N.R.; SILVA, A.L.M. (1997). Caracterização espacial da população estudada. In: PANICO, S.R.G., ed. *Subsídios para políticas municipais de saúde*. NIPE, São Carlos, v.1, n.1.

- SIMON, H.A. (1960). *The new science of management decision*. New York, Harper & Row.
- SMITH, M.D.; ROBSON, A.M.; WOODWARD, R.S.; MICHELMAN, J.E.; VALERIUS, T.J.; HONG, B.A. (1985). Geographic access to health care services: the case of maintenance hemodialysis. *American Journal of Kidney Diseases*, v.5, n.1, p.19-26.
- SPRAGUE, R.H.; WATSON, H.J. (1986). *Decision support systems: putting theory into practice*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.
- SPRAGUE, R.H.; WATSON, H.J. (1996). *Decision support for management*. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall.
- TAYLOR, C.E. (1992). Fleshing Out Artificial Life II. In: WORKSHOP ON ARTIFICIAL LIFE, Santa Fe, New Mexico, 1990. *Proceedings*. LANGTON, C.G.; TAYLOR, C.; FARMER, J.D.; RASMUSSEN, S., eds. Redwood City, CA, Addison-Wesley, p.25-38.
- TORRENS, P.M. (2000). *How cellular models of urban systems work*. WP-28, Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA), University College London, England. Disponível em <[http://www.casa.ucl.ac.uk/how\\_ca\\_work.pdf](http://www.casa.ucl.ac.uk/how_ca_work.pdf)>. Acesso em 09 dez. 2000.
- VASCONCELLOS, M.M. (1997). *Modelos de localização e Sistemas de Informações Geográficas na assistência materna e perinatal: uma aplicação no município do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado) – COPPE - Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- VIHER, B.; DOBNIKAR, A.; ZAZULA, D. (1998). Cellular Automata and Follicle Recognition Problem and Possibilities of Using Cellular Automata for Image Recognition Purposes. *International Journal of Medical Informatics*, v.49, p.231-241.
- VOOGD, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London, Pion Ltda.
- WEBER, A. (1929). *Alfred Weber's theory of the location of industries*. Chicago, University of Chicago Press.
- WHITE, R.; Engelen, G.; Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land use dynamics. *Environment and Planning B*, v.24, p.323-343.
- WOLSTENHOLME, S. (2002). *Simulador de Redes Neurais Artificiais EasyNN-plus*. Disponível em <<http://www.easynn.com>>. Acesso em 14 nov. 2002.
- WORRAL, L. (1991). *Spatial analysis and spatial policy using geographic information systems*. London, Belhaven Press.
- YAGER, R.R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, v.8, n.1, p.183-190.
- ZADEH, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, v.8, p.338-353.