

2

Revisão Bibliográfica

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica da literatura acadêmica sobre a variedade de aplicações do uso do SIG em localização de utilidades públicas.

O geoprocessamento tem se tornado cada vez mais relevante no auxílio à tomada de decisão na alocação de serviços públicos (Oliveira e Bastos, 2007). Isso se deve às poderosas funções de análise espacial que oferece, apresentadas em (Catão e Sartor, 2001) como:

- sobreposição de *layers* (camadas de informação);
- espacialização de equipamentos públicos;
- uso do cadastro municipal;
- processamento de imagens aéreas;
- detecção de áreas carentes em serviços;
- geração de mapas temáticos, permitindo ainda a conexão de informações espaciais com um banco de dados municipal.

Os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) possuem diversas aplicações públicas, como mostra a Tabela 1:

Tabela 1: Aplicações de SIG no planejamento de Utilidades Públicas

Planejamento Urbano	<p>Identificação das tendências de expansão urbana.</p> <p>Gerenciamento das redes de água, esgoto e transportes.</p> <p>Planejamento do uso do solo do município</p>
Localização de Facilidades	<p>Localização de serviços públicos</p> <p>Localização de pontos turísticos</p> <p>Localização de endereços</p>
Área de Saúde	<p>Monitoramento de focos de doenças</p> <p>Acompanhamento de focos em hospitais ou postos de saúde</p> <p>Seleção de locais para controle de epidemias</p>
Obras Públicas	<p>Identificação de endereços</p> <p>Cálculos de rotas inteligentes</p> <p>Monitoramento e planejamento de vias</p>
Segurança Pública	<p>Gerenciamento de incêndios</p> <p>Identificação de focos de criminalidade</p> <p>Controle de ocorrências</p>

A utilização de modelos de localização de facilidades em conjunto com os Sistemas de Informação Geográficos (SIGs) tem se tornado uma ferramenta poderosa de apoio à decisão. A interface gráfica do SIG associada às bases de dados georreferenciadas permite que o gestor público elabore o planejamento da localização dos equipamentos coletivos através da análise espacial de uma determinada área, levando em consideração a distribuição da população por faixa etária, renda familiar, tamanho das famílias, áreas disponíveis e suas restrições e outros aspectos socioeconômicos.

Uma síntese de estudos envolvendo Localização de Escolas Municipais no país encontra-se em Pizzolato et alii (2004). Neste trabalho foi apresentada uma proposta metodológica para a localização de Escolas Municipais, que consiste na avaliação da atual localização e, a seguir, uma proposta de realocação através do modelo de localização/alocação p-Mediana.

A metodologia foi aplicada nos municípios de Nova Iguaçu (RJ), Nilópolis (RJ), Niterói (RJ), Ilha do Governador (RJ) e Fortaleza (CE), sendo que nos três primeiros casos foram utilizados mapas não-digitalizados, não se verificando a utilização de softwares de Sistema de Informação Geográfica.

Os estudos citados abarcaram escolas do ensino fundamental, abrangendo, teoricamente, a população entre 7 e 14 anos de idade. O conjunto de escolas foi identificado no mapa de setores censitários do IBGE e a proporção da população em idade escolar presente em cada setor foi agregada aos respectivos centróides. Considerou-se que a proximidade da escola consiste no critério predominante na sua escolha. Através do somatório da população escolar mais próxima de cada escola, determinou-se a demanda por escola. Tal valor foi comparado a capacidade de atendimento da escola, mostrando o desequilíbrio entre a oferta e a demanda por ensino público na região.

Em Nova Iguaçu, a preponderância do fator proximidade residência/escola na decisão foi confirmada através de uma sondagem com as escolas. No estudo, foram identificadas regiões com excesso de vagas nas escolas, resultado este que foi confirmado pela sondagem, validando, portanto, a metodologia de modelização apresentada.

Em Nilópolis, o confronto entre oferta e demanda foi feito através de visualização gráfica, identificando algumas regiões com excesso ou escassez de mais de 1000 vagas, sendo as últimas declaradas prioritárias no atendimento de

novas instalações escolares. No curto prazo, o estudo mostrou a importância do gerenciamento da capacidade, onde as regiões com excesso de vagas deveriam transferir recursos humanos e materiais para regiões com escassez de vagas, favorecendo assim o equilíbrio entre oferta e demanda.

Em Niterói, encontrou-se uma população escolar bastante superior à população demográfica da região, sendo identificada a migração de alunos de outros municípios. Foram destacadas áreas com pequenos desequilíbrios de vagas e áreas com escassez de vagas, porém neste caso em região predominantemente ocupada por população de renda elevada.

A aplicação da localização de escolas públicas com o auxílio do SIG Arcview em Fortaleza (CE), no Ilha do Governador (RJ) e Vitória (ES) encontra-se em Barros (2000), Bassil (2000) e Barcelos (2002), respectivamente. Devido à ausência da localização real dos alunos (que seria obtida pelo endereço da residência de cada um) agregaram-se os dados da população de 7 a 14 anos dos setores censitários do IBGE num único vértice que corresponde ao centróide ou geocentro dos respectivos setores. Segundo Barcelos (2002), em áreas urbanas em que a população é bem distribuída, permitindo sua divisão em pequenos setores censitários, esta consideração é válida. No entanto, em áreas mistas, a saber, que possuem áreas não urbanizadas, o centróide deve estar próximo das aglomerações residenciais.

No estudo de localização de escolas públicas na cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo, Lorena e Senne (2001) integraram o algoritmo do modelo p-Mediana descrito em Barcelos et al (2004) aos SIGs, Arcview e SPRING; porém, somente a integração com o Arcview foi testada. O algoritmo usado para a resolução do modelo p-Mediana com restrição de capacidade foi baseada na heurística Lagrangena/Surrogate proposta por Narciso e Lorena (1999). Para a resolução de problemas não capacitados foi aplicado o método heurístico de Pizzolato (1994), que se mostrou adequado quando aplicado a grandes redes.

Com isso, o estudo contemplou a demanda real pelas escolas públicas, considerando que os alunos procuram as escolas mais próximas à sua residência. Foi considerada a distância euclideana entre os vértices, e através do algoritmo de Floyd e Warshall foi possível completar toda a matriz entre todos os pares de vértice.

Os estudos de localização de escolas públicas citados acima foram divididos em duas fases. Na primeira, foi realizada uma avaliação da atual localização das escolas, sendo possível, através da visualização gráfica, analisar o equilíbrio/desequilíbrio entre demanda e oferta de vagas na região e, em seguida, foi feita uma proposta de realocação, isto é, onde seria a localização ideal das escolas de modo a minimizar a distância média percorrida aluno-escola. O problema foi resolvido por solução heurística do modelo da p-Mediana.

Em Barros (2000), foi implementada a heurística de Pizzolato (1994) num Sistema de Apoio à Decisão Espacial (S.A.D.E), denominado GeoRedes que é descrito em Barros Neto (2002). Para a obtenção de mapas temáticos da população de 7 a 14 anos, utilizou-se o MAPINFO 3.0.

No estudo de avaliação e localização de escolas no município de Nova Iguaçu/RJ apresentado por Pizzolato e Silva (1993), observou-se que a preferência dos estudantes pelo deslocamento a pé, predominava como meio de deslocamento às escolas.

Num estudo de caso aplicado à cidade de São Carlos/SP, Lima (2003) desenvolveu uma ferramenta de análise espacial para o apoio da tomada de decisão dos gestores públicos no planejamento dos serviços ligados a educação e saúde. O estudo buscou reduzir os custos de deslocamento (distâncias) dos usuários às unidades de atendimento, que nesse caso são creches, escolas e postos de saúde.

Na educação, foi possível avaliar a distribuição real dos alunos através do endereço da residência de cada um e das creches (0 a 3 anos) e EMEI -Escola Municipal de Educação Infantil (4 a 6 anos) em que estudam. Os endereços de cada aluno e escola foram georeferenciados no mapa digital do sistema viário da cidade no SADE (Sistema de Apoio a Decisão Espacial).

O estudo considerou apenas os alunos matriculados, desprezando a demanda real, ou a demanda reprimida pelo ensino público. Pelo sistema viário obteve-se o menor caminho percorrido pelo aluno à escola (a princípio a pé) utilizando as ferramentas específicas do SIG. Observou-se a existência de casos onde o deslocamento médio das crianças à creche foi maior que 2 km, ou seja, totalizando 4 km considerando o trajeto de ida e volta, e em um caso extremo um deslocamento acima de 10 km. No caso das EMEI, o deslocamento médio foi um pouco menor (1,2 km), porém observaram-se casos extremos na mesma proporção

verificada nas creches.

O autor acredita que esses casos podem ser considerados como “*outliers*”, não sendo considerados como o foco da análise, pois trata-se de situações particulares, provavelmente fruto de alguma conveniência para os pais: por exemplo, a creche ou escola encontra-se próxima ao local do trabalho. Entretanto, a idéia geral do estudo foi buscar a otimização do sistema em termos globais, ainda que estes casos possam ser tratados individualmente para que a consideração feita acima seja, de fato, comprovada.

Assim como nos estudos de avaliação e localização das escolas públicas citadas anteriormente, foi possível identificar pela análise visual a distribuição espacial das escolas, facilitando a tomada de decisão dos gestores públicos.

Para gerar os cenários de locação/alocação separadamente para creches e EMEIs, foi utilizado um modelo com restrição de capacidade (*Capacitated Facility Location Problem*) e outro que não inclui tal restrição (*Uncapacitated Facility Location Problem*), de modo a minimizar os custos de deslocamento médio e máximos. Esses modelos encontram-se disponíveis no SIG. Com isso, foram simulados cenários tanto de alocação dos alunos como de localização de novas instalações.

No município de Canoas (RS), Oliveira e Bastos (2007), com o auxílio do software da família SIG, ArcGis® 9.1, diagnosticaram a falta de infra-estrutura educacional no bairro Harmonia, escolhido para análise por conta de sua diversidade socioeconômica, sendo constatado que a distribuição dos equipamentos educacionais na área é desigual..

O intuito do trabalho foi, através da aplicação de questionário, mapear o nível de contentamento da população com o serviço público de educação. O resultado mostrou que mesmo com a existência de escolas, colégios e creches nas proximidades, foram encontradas áreas onde os moradores não estavam plenamente satisfeitos com os serviços recebidos.

Aspectos como falta de vagas nas instituições, professores despreparados e desmotivados para lecionar (o que atinge diretamente a força de vontade do aluno em aprender) e a falta de professores foram levantados pelos moradores. Na periferia do bairro, constatou-se que a merenda recebida na escola é um fator motivador para os pais matricularem seus filhos em determinadas escolas.

Portanto, pode-se constatar que existem outros fatores além da distância

que são relevantes no processo de escolha da escola. Porém, para efeitos de modelagem matemática, somente a variável quantitativa de maior relevância, no caso a distância a ser percorrida pelo aluno, foi considerada no presente trabalho.

Uma medida de acessibilidade através da distância máxima e ideal aluno-escola foi proposta em Brau et Al (1980) e, segundo Oliveira e Bastos (2007), mostrou-se eficaz e condizente com a realidade da área estudada. Para o Ensino Infantil e Fundamental, considerou-se uma distância de 500 metros entre casa e escola como de acessibilidade excelente; entre 500 e 1.000 metros, acessibilidade ótima; entre 1.000 e 1.500 metros, regular; entre 1.500 a 2.000 metros, acessibilidade baixa; e distâncias acima deste valor, foram classificadas como acessibilidade péssima.

Jardim e Conceição (2004) fizeram uso do software Logware módulo P-MED para o cálculo da p-Mediana na localização de unidades de resgate móvel em Belo Horizonte. Os autores utilizaram SIG para análise da distribuição espacial dos eventos e para determinar pontos viáveis para a instalação de novas unidades de resgate. Dois fatores são considerados estratégicos na eficiência dos serviços de atendimento de emergência: o número de ambulâncias e sua localização no sistema. Quanto menor a distância entre unidades de resgate e o local do acidente, menor será o tempo de resposta e maiores as chances do acidentado sobreviver. Com o modelo, foi possível determinar a localização e a quantidade ótima de servidores que minimizariam a distância total da base ativa ao ponto central da zona de demanda correspondente.

Um estudo similar ao anterior foi apresentado por Lindeskov (2002) para *resolver* o problema de alocação de ambulâncias em regiões da Dinamarca. Através do SIG Arcview, foi constatado que em geral a maioria dos acidentes se concentra nas cidades onde as pessoas residem e trabalham, ou seja, na parte central daquele país. Entretanto, uma análise da concentração de acidentes ocorridos durante finais de semana ensolarados demonstrou que os acidentes estavam concentrados próximos a regiões costeiras. Nesse trabalho, foram solucionados os modelos matemáticos da p-Mediana e p-centro, através da metaheurística conhecida como Noising Method (NM).

Na área de saúde, Santos et alii (2000) realizaram um estudo de avaliação da localização dos postos de saúde em São Carlos/SP e a alocação ótima de pacientes nos postos, e propuseram a localização de novos postos, de modo que os

custos de deslocamentos envolvidos fossem mínimos. O trabalho contou com o apoio de SIG-T (Sistemas de Informação Geográfico para Transportes – software Transcad) para determinar espacialmente a localização dos postos de saúde e dos usuários nas áreas urbanas.

O autor adotou o modelo da p-Mediana para minimizar os custos de deslocamentos, que nesse caso é a distância média entre o posto de saúde e as n populações a serem atendidas. No trabalho, o autor contou com o endereço das pessoas que foram atendidas em cada posto de saúde, porém a cidade não dispunha de bases de dados de endereços digitalizadas; dessa forma, a interseção mais próxima ao endereço do usuário foi considerada como sendo sua localização, e assumiu-se que o deslocamento através da rede seria feito a pé. O software utiliza um algoritmo de métrica heurística para localizar novas instalações.

No mesmo artigo, os autores citaram o trabalho realizado por Oppong e Hodgson (1994) na alocação de serviços de postos de saúde em Gana, na África. Neste trabalho foram utilizados dois fatores como critério de localização. O primeiro buscava minimizar a distância média com o modelo p-Mediana; o segundo tinha como objetivo maximizar a cobertura oferecida pelas instalações a partir de uma distância pré-definida. Foi considerada a distância métrica euclideana por se tratar de uma área rural.

Na cidade de Chennai na Índia, Sankar et alii (2003) fizeram aplicação de SIG no transporte urbano. Foi adotado o Sistema de Posicionamento Global (GPS) para determinar as coordenadas das estações de parada de ônibus, e a digitalização, a transformação/projeção e as análises foram executadas através dos softwares da família SIG, ArcView e ArcInfo.

Numa avaliação inicial foram encontrados diversos problemas na atual localização das paradas de ônibus, tais como a proximidade entre estações em determinadas áreas, o que resultava em desperdícios de tempo e espaço e, sobretudo, congestionava o tráfego nestes locais. Em muitas áreas os pontos eram muito dispersos, forçando os usuários a caminhar por longas distâncias até as estações de parada de ônibus.

O objetivo do estudo foi localizar estações de parada de ônibus de modo a otimizar a distância percorrida pelos usuários até as estações, através de uma análise espacial multicritério, levando em consideração a proximidade com escolas, universidades, hospitais e pontos turísticos. A distância máxima entre

duas estações não deveria ultrapassar dois quilômetros e deveria ser de no mínimo quinhentos metros.

Um importante critério levado em consideração foi a disposição das pessoas para caminhar além do necessário. Em muitos casos, os indivíduos percorriam trajetos mais longos até as estações para evitar áreas extremamente poluídas. A densidade populacional é um critério que está diretamente associado ao número de estações, portanto a otimização operacional das estações gera benefícios tanto para as empresas de ônibus quanto para os usuários do transporte.

Pode-se encontrar uma revisão de aplicações do modelo de Máxima Cobertura na localização de facilidades em Arakaki (2002), envolvendo o planejamento de uma rede de ambulâncias, o projeto de uma rede de monitores para controlar a poluição atmosférica e a localização de sirenes de aviso.