

ESCOLAS PÚBLICAS EM GUARATIBA, RIO DE JANEIRO: APLICAÇÃO DE MODELO DA P-MEDIANA CAPACITADO E DE MÁXIMA COBERTURA

RAFAEL MENEZES

PUC/Rio

R. Marquês de São Vicente 225, CEP 22451-900
rafaelcezar@yahoo.com

Madiagne Diallo

PUC/Rio

R. Marquês de São Vicente 225, CEP 22451-900
diallo@puc-rio.br

Nelio D. Pizzolato

PUC/Rio

R. Marquês de São Vicente 225, CEP 22451-900
ndp@puc-rio.br

RESUMO

A região de Guaratiba, no Rio de Janeiro, encontra-se sob forte processo de ocupação, em parte motivado pelo crescimento geral da zona Oeste. O local desenvolveu-se sobre uma área pantanosa que vem sofrendo aterros e ocupação, predominantemente ilegais. O processo de ocupação resultou em cerca de seis áreas ou ilhas de povoamento, ligadas por longas estradas sinuosas. Por outro lado, trata-se da região que apresenta a maior taxa de crescimento de todo o Município do Rio de Janeiro. Diante desse quadro, este estudo vem sugerir as medidas antecipatórias para evitar um previsível colapso no sistema de ensino. O trabalho usa diversos recursos computacionais, começando com a ferramenta ArcGis Network Analyst para obter a matriz de distâncias medindo corretamente as distâncias percorridas pelos alunos até as escolas próximas. A seguir, são feitas propostas de localizações de novas instalações, usando os modelos da p-Mediana-Capacitado e de Máxima-Cobertura, resolvidos com o AIMMS.

PALAVRAS CHAVE. ArcGis, Localização de escolas, Guaratiba.

Área principal: L&T – Logística e Transportes; PO na Educação;

ABSTRACT

The area of Guaratiba, in Rio de Janeiro, is currently under strong occupation process derived from the general population growth process noted on the West zone of Rio de Janeiro. The site was developed over a marshy area that has suffered landfills and predominantly illegal occupation. The settlement process resulted in about six areas or populated islands, connected by long winding roads. On the other hand, the district has the highest population growth rates of all city of Rio de Janeiro. Given these evidences it is appropriate to suggest proactive measures to prevent a predictable collapse in the education system. This work uses various computing resources, starting with the ArcGIS Network Analyst tool for measuring the correct distance matrix traveled by students to their closest school. The proposals synthesized in this work consider locating new facilities, using the models of the Capacitated p-Median-and-Maximum Coverage, both solved with AIMMS.

KEYWORDS. ArcGis, School location, Guaratiba

Main area: L&T – Logistics and Transportation; OR on Education

1. Introdução

A exaustão das áreas urbanas, especialmente no município do Rio de Janeiro, circunscrito por áreas alagadas, montanhas e o mar, induziram a ocupação de morros, a migração para a periferia ou a simples favelização. No caso da periferia, esse movimento tem ocorrido sem o devido planejamento da infraestrutura, em particular da educação, que, tipicamente deficiente, torna-se ainda mais inadequada nas zonas periféricas, distantes e menos atrativas aos docentes, ampliando barreiras para o acesso da população mais carente à educação e limitando sua qualidade (Bagolin e Porto Junior, 2003).

A Região Administrativa de Guaratiba se encontra na periferia do município do Rio de Janeiro e foi a que, proporcionalmente, teve o maior crescimento do contingente populacional na Área de Planejamento. Em 2000, havia 66,53% habitantes a mais do que em 1991 nesta região, enquanto o município cresceu aproximadamente 7%, conforme o Censo do ano 2000. Tal fato implica em planejamento de serviços públicos, como escolas, hospitais, coleta de lixo etc. para o atendimento eficiente das necessidades da população.

O objetivo geral deste estudo é estudar o planejamento da rede escolar na região, considerando a previsão de crescimento populacional para os anos 2015 e 2020 divulgada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), utilizando tanto o modelo da p-Mediana Capacitado (PMC), como o Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC). O primeiro visa minimizar distâncias percorridas, mas levando em conta as capacidades das escolas, enquanto o segundo visa maximizar o alcance das escolas e incluir os alunos muito afastados. Para coletar os dados necessários, foi utilizada a ferramenta do ambiente de Sistemas de Informação Geográfico (SIG) ArcGis Network Analyst, que permite medir distâncias entre escolas e a população escolar com maior precisão, pois ela incorpora as condições reais da malha viária.

As ferramentas geográficas utilizadas permitem definir áreas de cobertura das escolas, mostrando faixas de abrangência de 1.000, 2.000 e 3.000 metros em torno de cada uma, segundo a malha viária e a aglomeração de população em idade escolar dentro de cada faixa.

Na localização de novas escolas, a distância média percorrida pelo aluno até a escola foi considerada como a variável de decisão do PMC, enquanto no PLMC foi escolhido o raio de atuação como variável de decisão. Certamente, o processo de escolha dos alunos é mais complexo, pois envolve questões qualitativas ao lado das quantitativas. Entretanto, se todas as escolas tiverem características semelhantes, como qualidade, conforto, merenda, professores qualificados etc., não há muita razão para o aluno recusar a escola mais próxima.

O presente trabalho encontra-se assim composto. A Seção 2 examina a literatura existente sobre localização de escolas e outros equipamentos públicos; a Seção 3 mostra aplicações do SIGeográfico ArcGIS Network Analyst. A Seção 4 introduz a formulação matemática dos modelos PMC e PLMC. A Seção 5 discute a aplicação da metodologia, avaliando a atual distribuição das Escolas Municipais e propondo a localização de novas instalações escolares diante das várias opções de distância máxima e das perspectivas de desenvolvimento populacional.

2. Revisão da Literatura

A utilização de modelos de localização de facilidades, em conjunto com os Sistemas de Informação Geográficos (SIG), tem se tornado uma ferramenta poderosa de apoio à decisão em ambientes espaciais. 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 Brasil encontra-se em Pizzolato et alii (2004). A metodologia foi aplicada nos municípios de Nova Iguaçu (RJ), Nilópolis (RJ), Niterói (RJ), Ilha do Governador (RJ), Fortaleza (CE) e Vitória (ES).

Nos três primeiros estudos foram utilizados mapas em papel, enquanto os três últimos usaram recursos dos Sistemas de Informação Geográfica, conforme Barros (2000), Bassil (2000) e Barcelos (2002), respectivamente. Alguns avanços metodológicos são mostrados nesses trabalhos, como Barcelos et alii (2004), baseado em Lorena e Senne (2001), que integra localização aos SIG, Narciso e Lorena (1999), para o algoritmo de resolução do modelo da p-mediana com restrição de capacidade etc. Em Barros (2000) foi implementada a heurística sem restrições de capacidade de Pizzolato (1994) num Sistema de Apoio à Decisão Espacial (SADE), denominado GeoRedes, descrito em Barros Neto (2002). Para a obtenção de mapas temáticos utilizou-se o MAPINFO 3.0.

Em 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 à educação e saúde. Nos vários níveis de educação, foi possível avaliar a distribuição real dos alunos por meio do endereço da residência de cada um, tanto nas creches (0 a 3 anos) como nos EMEI -Escola Municipal de Educação Infantil (4 a 6 anos) em que estudam. Os endereços de cada aluno e escola foram georreferenciados no mapa digital do sistema viário da cidade no SADE.

No município de Canoas (RS), Oliveira e Bastos (2007), com o auxílio do software 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. Aspectos como falta de vagas nas instituições, professores despreparados e desmotivados para lecionar 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 matriculem seus filhos em determinadas escolas.

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 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.

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- software Transcad, para determinar espacialmente a localização dos postos de saúde e dos usuários nas áreas urbanas.

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.

3. Sistema de Informação Geográfico – ArcGIS Network Analyst

ArcGIS é o nome de um grupo de programas informáticos e que constitui um SIG. É produzido pela empresa ESRI. No ArcGIS estão incluídos: o ArcReader, que permite visualizar os mapas criados com os outros produtos Arc.; o ArcView, para visualização de dados espaciais, criação de mapas e performance básica de análise espacial e o ArcEditor, que inclui toda a funcionalidade do ArcView e ainda ferramentas mais avançadas para manipulação de *shapefiles* e *geodatabases*. O ArcInfo, a versão mais avançada do ArcGIS, inclui potencialidades adicionadas para a manipulação de dados, edição e análise.

O ArcGIS Network Analyst é uma extensão do ArcGIS que permite uma análise espacial da rede incluindo roteamento entre nós, localização e alocação de facilidades, roteirização de veículos, definição da área de serviço, entre outros. Um dos principais avanços da ferramenta é a possibilidade de utilizar as condições reais da rede de trabalho como direção da via e limites de velocidade.

Através do ArcGIS Network Analyst é possível gerar uma série de polígonos representando a abrangência que pode ser alcançada por uma facilidade dada uma distância ou tempo determinados, utilizando a malha viária da região de estudo. Os polígonos são conhecidos como área de abrangência. Dessa forma, é possível conhecer a quantidade de possíveis usuários que estão dentro da área de abrangência pré-estabelecida, e as facilidades que deveriam ser realocados para melhor servi-los.

No estudo foi utilizada ferramenta para gerar uma tabela contendo a distância através da malha viária entre um vértice de origem e diversos vértices de destino, permitindo a obtenção de uma matriz de distâncias OD.

4. Modelo p-Mediana Capacitado (PMC)

A mediana ou centróide de um grafo $G(V, A)$, sendo V o conjunto dos vértices do grafo e A o conjunto de arestas, é um vértice para o qual a soma das distâncias ponderadas dos demais vértices a ele é mínima. Analogamente, o problema da p-mediana consiste em localizar p instalações de modo a minimizar o somatório de distâncias ponderadas de cada vértice à instalação mais próxima.

O problema da p-Mediana Capacitado (PMC) corresponde aos casos em que a capacidade de uma instalação possui uma limitação em atender à demanda existente. O PMC é formulado a partir do problema da p-mediana clássico.

4.1. Problema de Localização de Máxima Cobertura (PLMC)

Segundo Arakaki (2002), o PLMC consiste em escolher locais para instalar facilidades de forma que o maior número de clientes ou usuários seja coberto, e determinar em qual facilidade cada cliente deverá ser atendido. O objetivo, portanto, é maximizar a cobertura de uma determinada população em relação a um dado equipamento coletivo, de modo a estabelecer um raio de cobertura fora do qual o usuário deixa de ser coberto por esse equipamento, buscando assegurar que o maior número de usuários seja atendido.

A variável de decisão é basicamente a distância ou o tempo de serviço, que são considerados críticos ao atendimento da demanda. Ou seja, o usuário é considerado coberto se estiver localizado dentro do raio de cobertura. Logo, é definida uma distância crítica de serviço (S).

No PLMC o problema tem como objetivo localizar p facilidades de modo que haja a máxima cobertura possível dentro da distância pré-definida S . Segue abaixo a formulação do problema descrita em Arakaki (2002).

$$v(\text{PLMC}) = \text{Max} \sum_{i \in N} D_i y_i \quad (1)$$

$$\text{sujeito a} \sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \text{para todo } i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in M} x_j = p \quad (3)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \text{ para todo } j \in M \quad (4)$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \text{ para todo } i \in N \quad (5)$$

Onde:

$N = \{1, 2, \dots, n\}$: conjunto de pontos de demanda;

$M = \{1, 2, \dots, n\}$: conjunto de possíveis facilidades;

D_i : a demanda de população da área i ;

p : número de facilidades a serem localizadas;

d_{ij} : a menor distância do nó i ao nó j ;

$N_i = \{j \in J \mid d_{ij} \leq S\}$, indica o conjunto J de vértices alcançáveis a partir do vértice i , ou seja, todos aqueles para os quais $d_{ij} \leq S$ onde S é a distância máxima

$y_i = 1$ se a área de demanda i é coberta, 0 caso contrário;

$x_j = 1$ se a facilidade deve ser localizada em j , 0 caso contrário;

A restrição (2) garante que a população escolar será coberta por uma instalação escolar dentro do raio de abrangência S . No presente estudo, considerou-se $S=1500$ metros e a restrição (3) garante que o número de medianas (escolas) a ser localizada igual ao valor p .

5. Metodologia

Esta seção tomou como base a metodologia de planejamento da rede escolar apresentada em Pizzolato et alii (2004), que consiste em, primeiramente, avaliar a atual distribuição das Escolas Públicas na área de estudo e, posteriormente, localizar novas instalações escolares, admitindo sempre a preferência pela escola mais próxima de sua residência

Atualmente, existem 22 Escolas Municipais na região atendendo à educação infantil e à educação fundamenta, como indicado na Figura 1. O total de vagas disponíveis até o momento é de 20.659 alunos, enquanto a projeção da população em idade escolar em 2015 deverá ser de 43.763 pessoas e em 2020, 55.245 pessoas, considerando o crescimento previsto da população Assim, o cenário aponta para uma escassez global de vagas nas Escolas Municipais.

Devido à indisponibilidade do endereço dos alunos, foram utilizadas as informações sobre a população em idade escolar habitante do setor censitário definido pelo IBGE como equivalente à real demanda por ensino público. O somatório da população escolar está localizado no respectivo centróide ou centro demográfico do setor censitário. Considerar tal aproximação é razoável quando o setor censitário apresenta uma área pequena.

5.1. Avaliação da atual localização das Escolas Municipais

Com a ferramenta *Service Area* do ArcGis *Network Analyst* foi possível construir faixas de acessibilidade ao redor das Escolas Municipais segmentadas em 1.000, 2.000 e 3.000 metros, com base na malha viária, como na Figura 1.

A faixa verde, amarela e vermelha mostra, respectivamente, uma região de abrangência de 1.000, 2.000 e 3.000 metros no entorno das escolas pela malha viária. Os círculos representam a projeção da população em idade escolar no ano 2015 no centróide do setor censitário. A situação ideal mostra uma concentração maior de círculos vermelhos, representando uma faixa de 507 a 1690 potenciais alunos na faixa verde.

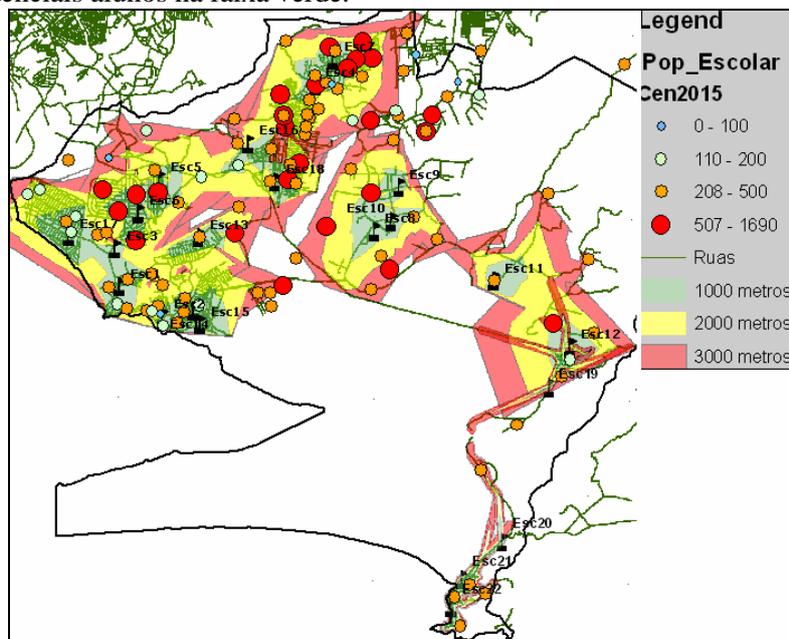


Figura 1: Abrangência das Escolas Municipais

De um modo geral, uma grande concentração de alunos em idade escolar se encontrará nas faixas verde e amarela em 2015 e 2020. Porém, uma parcela significativa se encontra além da faixa vermelha, mostrando uma situação indesejada onde o deslocamento seria superior a 3.000

metros. O caso mais crítico mostra uma distância de 6.000 metros entre a população escolar e a escola mais próxima. Esta região apresenta urgência na construção de novas Escolas Municipais que atendam a população numa faixa de acessibilidade considerada ótima ou regular.

5.2. Localização de Novas Instalações Escolares

Atualmente, as mais recentes escolas construídas no município do Rio de Janeiro apresentam uma capacidade de atendimento padronizada na faixa de 1.300 alunos. Logo, o modelo PMC é bastante apropriado para este tipo de realidade.

O objetivo do segundo modelo é determinar a localização de uma nova instalação que atenda o máximo possível de alunos num raio de 1.500 m, distância esta considerada satisfatória para o deslocamento do aluno. Com isso, a capacidade da nova instalação deve ser ajustada de acordo com o somatório da população a ser coberta.

No modelo de Máxima Cobertura foram consideradas as projeções de população para o ano de 2020, pois estas correspondem ao número máximo de alunos a serem atendidos pelas Escolas Municipais.

Os modelos foram resolvidos no software AIMMS, que apresenta funcionalidades específicas para modelar problemas de programação linear inteira combinatória, disponibilizando diversos *solvers* e permitindo o controle da performance de cada um. No presente estudo, foi utilizado o *solver* CPLEX para a resolução dos modelos da p-Mediana Capacitado e Máxima Cobertura, pois este possui um tempo de processamento mais rápido que os demais, além de contar com algoritmos específicos para solução de problemas de Programação Linear Inteira Combinatória.

5.3. Resultados com o Modelo PMC

Pela peculiaridade do processo de ocupação, que determinou seis locais de povoamento, denominados nesse estudo de Região de Avaliação, a presente análise pode ser dividida em seis avaliações distintas. Por escassez de espaço, vamos nos concentrar na Região de Avaliação 5, por apresentar os resultados mais preocupantes, dado que a expectativa de crescimento para esta região é bastante elevada e pelas quatro Escolas Municipais presentes na região (Esc 4,7,16,18) cobrirem apenas 55% da população escolar no raio de 1.500 metros.

Para a Região 5, foi estimado pelo modelo a necessidade adicional de doze escolas para o ano 2015, sendo os locais ótimos a receber uma nova instalação educacional os centróides pop 54, 61, 26, 52, 63, 66, 70, 59, 77, 72, 84 e 86, com capacidade para 1300 alunos. Para o ano 2020, além das doze anteriores, seriam necessárias três escolas adicionais para atender a população em idade escolar, devendo estar situada no centróide pop 62, pop 46 e pop 56.

Além dos candidatos escolhidos receberem uma nova unidade que atenderia à população escolar a uma mínima distância possível, respeitando as restrições de capacidade das instalações, o modelo mostra como seria uma alocação da população escolar eficiente em cada Escola Municipal. Sendo assim, cada escola teria o número exato de matrículas a serem oferecidas para esses anos, possibilitando o planejar o número de professores, disponibilidade de salas etc.

A Tabela 1 mostra, parcialmente, o resultado da alocação para escolas presentes na região. Resultados completos de alocação para os centróides escolhidos pelo modelo para receber uma nova escola podem ser encontrados em Menezes (2010).

Como exemplo, espera-se que a Esc4 tenha vagas suficientes para atender 1153 alunos no ano 2015 e que os possíveis alunos sejam residentes dos setores censitários associados aos centróide pop50, pop87, pop89 e pop 92.

Tabela 1: Localização / Alocação da população às Escolas Municipais em 2015

Candidato	População Atendida	Total_Projeção_2015	Capacidade	Excesso de Vagas 2015
Esc4	50, 87, 89, 92	1153,81	1155	1
Esc7	48, 79	815	816	1
Esc16	51, 75, 91	717,23	720	3
Esc18	22, 25, 45, 60, 65,85,88.90	3083,05	3087	4
pop54	47, 54	923,04	1300	377
pop61	61, 62, 64	1234,88	1300	65
pop26	26, 49	941,75	1300	358

Para o ano 2020, uma configuração análoga foi apresentada pelo modelo, como mostra a Tabela 2. Sendo assim, os gestores públicos deverão rever o planejamento de vagas para esse ano.

Tabela 2: Localização / Alocação da população às Escolas Municipais em 2020

Candidato	População Atendida	Total_Projeção_2020	Capacidade	Excesso de Vagas 2020
Esc4	60, 79	1151,00	1155	4
Esc7	65, 90	813	816	3
Esc16	22, 87	718,39	720	2
Esc18	25,48,51,82, 89, 92	3064,96	3087	22
pop54	47, 54	1164,11	1300	136
pop62	61, 62	991,65	1300	308
pop26	26, 49	1187,70	1300	112

O resultado do modelo apresentou em alguns casos um excedente de vagas, sendo necessário o ajuste em cada caso para que a capacidade das escolas seja plenamente utilizada.

5.4. Resultados com o Modelo Máxima Cobertura

As escolas situadas na Região de Avaliação 5 apresentam uma abrangência de 55%, ou seja, um pouco mais da metade da população encontra-se num raio de 1500 metros das Escolas Municipais.

Para atendimento de 90% da população escolar no raio estabelecido, seria necessário um adicional de três escolas municipais localizados no centróide da pop46, pop84, pop91.

A instalação de uma nova unidade escolar no centróide correspondente a pop 46 teria um acréscimo de cobertura em 75%, atendendo o equivalente a 18552 pessoas, na pop 84 a cobertura aumentaria para 86% sendo 21433 pessoas atendidas e na pop 91 o atendimento seria de 90% da população escolar dessa região, comportando 22340 pessoas.

De modo geral, o gargalo na Região 5, caso nenhuma providência seja tomada, será tanto na capacidade de atendimento das Escolas Municipais quanto na distância a ser percorrida pelos alunos.

A Figura 2 mostra os resultados dos modelos PMC e Máxima Cobertura geocodificados no mapa digitalizado. Como podemos ver, os resultados dos modelos coincidiram no centróide

pop32, pop80, pop84, pop46 e pop114, satisfazendo tanto as condições de minimização da distância média percorrida pelos alunos, quanto de cobrir o maior número de alunos num raio de 1.500 metros.

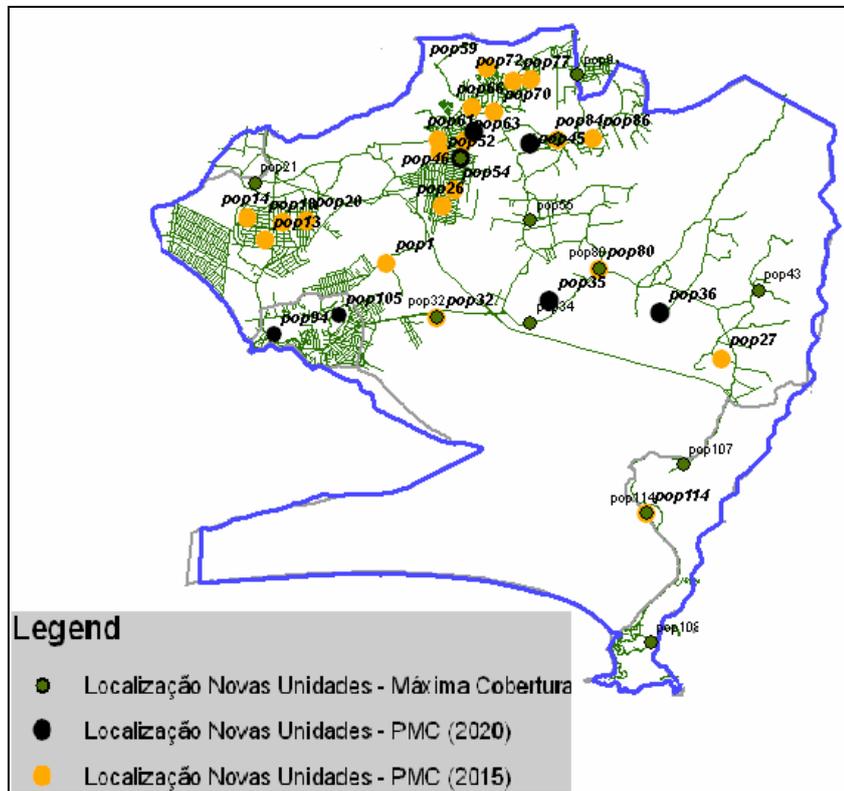


Figura 2: Resultado da localização de novas unidades escolares

6. Conclusões e Considerações Finais

Os resultados obtidos com o modelo PMC e de Máxima Cobertura mostraram que, caso se confirme a previsão de crescimento estabelecida pelo IBGE para a Região Administrativa de Guaratiba para os anos 2015 e 2020, o número de vagas no ensino público disponível à população escolar poderá ser escasso, assim como o atendimento à população numa distância satisfatória poderá ser um fator determinante na qualidade dos serviços educacionais.

O modelo de localização/alocação PMC mostrou que seria necessária a construção de 21 Escolas Municipais no ano 2015 e mais 7 em 2020 para o pleno atendimento da população a uma distância mínima da escola em Guaratiba.

O modelo de Cobertura Máxima preocupa-se basicamente em localizar as unidades, de modo a garantir o maior número possível de habitantes em idade escolar num raio de 1500 metros das escolas. Porém, garantir tal nível de serviço pode ter um custo bastante elevado aos cofres públicos. Ao todo, doze Escolas Municipais deveriam ser construídas para o atendimento de no mínimo 80% da população no raio pretendido, porém com capacidades maiores para se ajustar ao tamanho da população a ser coberta.

Apesar da diferença de abordagem entre os modelos PMC e Cobertura Máxima, foi possível atingir resultados em comum na Região de Avaliação 5. A instalação de uma nova unidade educacional no centróide da pop84 e pop46 mostra-se satisfatória tanto as condições de minimização da distância média percorrida pelos possíveis alunos, quanto a de cobrir o maior número de pessoas num raio de 1.500 metros de distância da população escolar.

Dentre os dois modelos adotados, o modelo matemático p-Mediana Capacitado (PMC) apresentou melhor aplicabilidade ao caso real de localização de Escolas Municipais, pois conta com a restrição de capacidade de atendimento que melhor representa o modelo padrão de construção de escolas definido pela Secretaria Municipal de Educação.

O modelo PMC possui, no entanto, a desvantagem de não garantir que a Escola Municipal esteja dentro da faixa máxima de 1.500 metros de distância da população escolar.

A desvantagem do modelo PMC se configura como uma vantagem no modelo de máxima cobertura. É possível localizar novas Escolas Municipais que estejam dentro do raio de 1.500 metros do aluno, porém, garantir 100% de atendimento da população no raio estabelecido pode ser tornar bastante oneroso, já que um maior número de escolas deverá ser construído. O modelo também não conta com uma restrição de capacidade, o que torna os resultados mais distantes da real linha de atuação do setor público no setor educacional.

A utilização dos diferentes modelos em paralelo para fins deste estudo revelou uma vantagem, qual seja a possibilidade de encontrar soluções comuns a ambos, isto é, achar uma solução que ao mesmo tempo minimiza a distância percorrida pelo aluno e garante uma cobertura do maior número de habitantes no raio determinado.

O software AIMMS mostrou-se bastante eficiente na resolução dos problemas de programação matemática. Todos os casos tiveram tempo de simulação abaixo de 5 segundos, mostrando uma enorme rapidez comparada a outros softwares. A linguagem de programação amigável ao usuário, a interface gráfica e a opção de escolha do solver foram as principais vantagens observadas no aplicativo durante a realização do estudo.

O estudo demonstrou que, de forma geral, existe a necessidade de planejamento imediato para expansão do ensino público infantil e fundamental na RA Guaratiba, sendo necessária e recomendável a elaboração de um projeto que envolva diversas especializações: um planejamento logístico da distribuição das escolas; estudos pedagógicos; o incremento do quadro de professores de forma a atender a crescente demanda pelo ensino público na região; estudos geográficos e estatísticos que analisem o comportamento de expansão demográfica; por fim, um planejamento urbano que viabilize o desenvolvimento da infra-estrutura na região.

Referências

ARAKAKI, R.G.I. Heurística de localização-alocação para problemas de localização de facilidades. Tese de Doutorado em Computação Aplicada, INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 2002.

BAGOLIN, I.P. e **PORTO JÚNIOR**, S.S. (2003). A desigualdade da distribuição da educação e crescimento no Brasil: índice de Gini e anos de escolaridade. Estudos do CEPE, Santa Cruz do Sul - RS, v. 18, pp. 7-31.

BARCELOS, F.B. Avaliação da localização de escolas com modelo capacitado e não capacitado e uso de uma ferramenta GIS: Estudo de caso da cidade de Vitória/ES. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

BARCELOS, F.B.; **PIZZOLATO**, N.D. e **LORENA**, L.A.N. (2004). Localização de escolas do Ensino Fundamental com modelos capacitados e não-capacitado: Caso de Vitória/ES. Pesquisa Operacional, Vol.24, n^o.1, pp. 133-149.

BARROS, A.G.P.O. Avaliação da capacidade e da localização de escolas públicas em Fortaleza. Tese M.Sc., Engenharia de Produção COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

BARROS NETO, J.F.; Georedes e Georedes WEB: Sistemas de apoio à decisão espacial para modelos em redes georeferenciadas. Tese D.Sc., Engenharia de Produção COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

BASSIL, K.W. Avaliação da localização de escolas públicas com o uso do GIS: estudo da Ilha do Governador. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

BRAU, L.; MERCE, M. e TARRAGO, M. Manual de urbanismo. Barcelona, LEUMT, Vol. 2, 1980.

CAMARANO, A.A.; KANSO, S.; BELTRÃO, K.I. e SUGAHARA, S. Tendências demográficas do município do Rio de Janeiro. Coleção Estudos da Cidade. Secretaria Municipal de Urbanismo, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, – IBGE, Censo 2000.

LIMA, R.S. Base para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, Brasil, 2003

LORENA, L.A.N.; SENNE, E.L.F. PAIVA, J.A.C & PEREIRA, M.A. (2001). Integração de modelos de localização a sistemas de informação geográficas, *Gestão e Produção*, Vol. 8, n.º.2, pp. 180-195.

MENEZES, R. C.. O uso do SIG =- Sistema de informação geográfico – para o apoio à decisão no planejamento da localização das Escolas Municipais em Guaratiba, Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

NARCISO, M.G. & LORENA, L.A.N. (1999). Lagrangean/surrogate relaxation for generalized assignment problems, *European Journal of Operation Research*, Vol. 114, pp. 165-177.

OLIVEIRA, C.L. e BASTOS, L.C. (2007). O uso do geoprocessamento no auxílio à tomada de decisão na alocação de serviços públicos. Estudo de caso: rede educacional de ensino do bairro Harmonia - Canoas, RS, *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 5443-5450.

PIZZOLATO, N.D. (2004). A heuristic for large-size p-median location problems with application to school location, *Annals of Operations Research*, Vol. 50, pp. 473-485.

PIZZOLATO, N.D.; BARROS, A.G.; BARCELOS, F.B. e CANEN, A.G. (2004). Localização de escolas públicas: Síntese de algumas linhas de experiência, *Pesquisa Operacional*, Vol. 24, pp. 111-131.

SANTOS, C.M.; SILVA, A.L.M. e SILVA, A.N.R. (2000). Avaliando a localização de posto de saúde em uma cidade média brasileira com auxílio de um SIG-T. *Engenharia Civil, UM*, n.º.7.