

## Localização de instalações com o auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e modelagem matemática

Sílvia Maria Santana Mapa (UNIFEI) silvinhamapa@yahoo.com.br  
Renato da Silva Lima (UNIFEI) rslima@unifei.edu.br  
José Fernando Gomes Mendes (UMINHO) jfgmendes@civil.uminho.pt

### Resumo

*Problemas de localização de instalações envolvem escolher o melhor local para uma ou mais instalações dentro de um conjunto de locais possíveis, sendo uma questão logística de ampla abrangência e de grande importância. Uma das ferramentas que auxiliam na resolução desses problemas são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), pela sua grande capacidade em armazenar, exibir e manipular dados espacialmente distribuídos. Essa capacidade aumenta consideravelmente quando se faz seu uso combinado com técnicas de Pesquisa Operacional. Contudo, a integração do SIG com algoritmos de localização, apesar de bastante promissora, ainda não está totalmente difundida na comunidade científica internacional. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é efetuar uma interface entre o software SIG e um modelo de programação matemática, externo ao SIG, que efetue a localização e alocação de instalações de forma simultânea. Para tanto, foi efetuada uma simulação em um problema fictício de localização de Centros de Distribuição (CD's), com dados espaciais reais do estado de São Paulo e 18 de seus principais municípios, candidatos à abertura de novos CD's. Os resultados obtidos mostraram que a realização da interface entre a programação matemática e o software SIG é extremamente viável e, para o problema estudado, também eficiente.*

*Palavras-chave: Localização de Instalações; Sistema de Informações Geográficas; Programação Linear Inteira Mista.*

### 1. Introdução

A logística tem se tornado cada vez mais importante dentro da atual conjuntura econômica e de desenvolvimento tecnológico mundial, e hoje é considerada um elemento-chave na estratégia competitiva de empresas públicas e privadas. A localização de instalações é uma questão logística de ampla abrangência e de grande importância, em termos estratégicos e táticos, para a maior parte das organizações (VALLIM FILHO, 2004).

A importância de um estudo de localizações decorre dos altos investimentos envolvidos que impactam nos custos logísticos, salienta Ballou (2001), por ser esta uma decisão, na maioria das vezes, definitiva, projetada para um longo horizonte de planejamento. A economia obtida ao se deixar de construir uma unidade reduzirá as chances de oferta deste serviço, denotando, desta forma, a difícil conciliação entre o *trade-off* redução de custos e satisfação dos clientes. Ainda, segundo Naruo (2003), o procedimento de localização de instalações é primordial, pois garante que as análises subsequentes de roteirização e programação de veículos se apoiem na melhor opção de localização.

Uma das ferramentas que auxiliam na resolução dos problemas de localização são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), pela sua grande capacidade em armazenar, exibir e manipular dados espacialmente distribuídos. Essa capacidade aumenta consideravelmente quando se faz seu uso combinado com técnicas de Pesquisa Operacional. Contudo, a integração do SIG com algoritmos de localização, apesar de bastante promissora, ainda não

está totalmente difundida na comunidade científica internacional. (LORENA *et al.*, 2001).

Dentre os diversos *softwares* SIG disponíveis no mercado, alguns se caracterizam por já possuírem incorporadas rotinas para aplicações em transportes e logística. Neste trabalho, optou-se pelo uso do *software* TransCAD<sup>®</sup>, que possui, dentre suas rotinas logísticas, uma para localização de atividades. No entanto, pelo menos na versão disponível desse SIG, a localização de atividades e posterior alocação da demanda é feita de forma indireta, utilizando duas rotinas: uma com a opção de abertura de novas instalações ou fechamento de facilidades já existentes, porém sem restrição de capacidade de instalação; outra, com a restrição de capacidade, mas que não permite a abertura ou fechamento de unidades, fazendo a realocação das demandas segundo os limites de capacidades.

Apesar dessa restrição, a resolução de problemas dessa natureza em ambiente SIG é bastante facilitada, pela facilidade de obtenção de dados de natureza espacial (distâncias e localizações, entre outros) e da alta capacidade do SIG de gerar resultados gráficos. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é efetuar uma interface entre o *software* SIG e um modelo de programação matemática, externo ao SIG, que efetue a localização e alocação de instalações de forma simultânea, considerando as restrições de capacidade das instalações. De forma geral, problemas de pequeno porte, entendidos como aqueles que admitem solução em tempo polinomial, se submetidos a uma programação exata, produzem soluções matematicamente ótimas. Dessa maneira, no escopo desse trabalho, pretende-se demonstrar essa interface a partir de um problema de pequeno porte, em um problema fictício de localização de Centros de Distribuição (CD's), com dados espaciais reais do estado de São Paulo e 18 de seus principais municípios, candidatos à abertura de novos CD's. Uma vez que o SIG, ainda que de forma indireta, também resolve o problema, será realizada ainda uma comparação quantitativa dos resultados obtidos nos dois modelos. Como não se tem aqui o objetivo de determinar o número ótimo de instalações a serem abertas, não foram incluídos nos modelos os custos de instalações, por uma questão de simplificação das análises, uma vez que o foco maior está na interface entre os modelos.

O trabalho está estruturado da seguinte maneira. Após esta breve introdução são apresentadas, na seção 2, algumas considerações teóricas relativas a problemas de localização e SIG. Na sequência, na seção 3, apresenta-se a simulação de um problema real de localização, descrevendo-se a resolução do problema através da interface realizada entre o SIG e o modelo matemático e pelas rotinas do próprio SIG. A seção 4 apresenta a comparação dos resultados obtidos pelos dois modelos. Finalmente, a seção 5 apresenta as conclusões do trabalho, seguida da lista com as referências bibliográficas utilizadas.

## **2. Problemas de Localização de Instalações e Sistemas de Informações Geográficas**

Problemas de localização de instalações, também conhecidos como localização de facilidades, envolvem escolher o melhor local para uma ou mais instalações dentro de um conjunto de locais possíveis, a fim de fornecer um alto nível de serviço aos clientes, minimizar custos de operação, ou maximizar lucros. O que se pretende obter é uma solução, se possível ótima, que minimize o custo total de instalações e transportes (BALLOU, 2001).

Aplicações de problemas de localização de instalações ocorrem nos setores privado e público. No caso do setor privado, o objetivo principal é a minimização de custos logísticos. Alguns exemplos de problemas de localização nesse setor: centros de *cross-docking* para uma rede de produtos farmacêuticos (DOBRUSKY, 2003), terminais de consolidação para uma empresa de transporte de carga parcelada (SILVA, 2004), centros de distribuição de carga (VALLIM FILHO, 2004). No caso do setor público, geralmente há uma preocupação maior em maximizar a satisfação dos clientes, em detrimento dos custos necessários para o alcance de tal. Exemplos de aplicação neste setor: localização de escolas e postos de saúde (LIMA,

2003), de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários (NARUO, 2003) e de áreas públicas de lazer (YEH E CHOW, 1996).

Owen e Daskin (1998) fizeram uma revisão de literatura, classificando os modelos de localização de facilidades. O problema abordado neste trabalho enquadra-se na esfera estático-determinística, resolvido por um modelo de localização-alocação. Localizam-se as instalações segundo uma variante do método das  $p$ -medianas, no qual o objetivo é encontrar a localização de  $p$ -facilidades tal que a distância total entre centros de demanda e oferta seja minimizada e, simultaneamente, alocam-se os fluxos entre as facilidades e os clientes. Ainda, segundo Ballou (2001), o problema abordado nesta pesquisa enquadra-se na localização múltipla de instalações, tido quando duas ou mais instalações podem ser abertas simultaneamente, de forma interdependente, fator este que aumenta a sua complexidade.

Os problemas de localização são problemas complexos, por envolverem um grande número de variáveis e grandes volumes de dados. A abordagem de modelos de localização de facilidades tem sido proposta, atualmente, por meio de ferramentas de auxílio à decisão espacial, principalmente quando uma base de dados geograficamente referenciada se encontra disponível. Neste caso, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são de vital importância 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 (LIMA, 2003).

Ainda segundo Lima (2003), além de suportar uma base de dados espaciais, os SIG têm a capacidade de transformá-las em novas informações, promovendo a integração entre as diversas informações, provenientes de diferentes fontes. O principal elemento desta integração é a ligação que se faz entre dados não-espaciais, ou dados de atributos, a dados espaciais, ou geográficos. Os dados espaciais são a representação de objetos sob três formas básicas: pontos, linhas ou áreas. Os atributos são necessários para completar cada objeto espacial com informações não-espaciais (bases de dados tradicionais) e, normalmente, são armazenados na forma de tabelas, com informações alfanuméricas quantitativas e qualitativas.

De acordo com Fleury *et al.* (2000), infelizmente o uso de SIG no Brasil tem como limitante, na maioria das vezes, a escassez de uma base de dados confiável e atualizada, tanto em relação a dados espaciais ou digitalizados, quanto a dados demográficos e sócio-econômicos. Essa situação é muito séria, em que pesem os esforços de algumas entidades e empresas, que vêm tentando suplantar tais deficiências. Falta, por parte da administração pública, uma política que incentive e estabeleça regras e responsabilidades no que diz respeito à preparação e disponibilização de bancos de dados geográficos (LIMA, 2003).

O SIG utilizado nesta pesquisa é o TransCAD<sup>®</sup>. Este *software* resolve o problema de localização, porém, de forma indireta, quando se deseja levar em consideração as restrições de capacidade das instalações. Para isto, são utilizadas duas rotinas, embutidas no próprio *software*, para efetuar a localização de instalações e posterior alocação de demandas: a primeira, denominada *Facility Location* (FL), inclui a possibilidades de abertura ou fechamento de instalações, porém não se estabelece as restrições de capacidade; e a rotina *Transportation Problem* (TP), que inclui a restrição de capacidade, porém não permite mais a abertura ou fechamento destas unidades.

O *Facility Location* busca a melhor distribuição possível de uma série de clientes para uma série de instalações, visando minimizar os custos de deslocamentos. O modelo inclui a abertura de novas unidades ou fechamento das já existentes, informa suas localizações e respectivas alocações, utilizando para isto uma heurística gulosa (CALIPER, 1996). Sendo assim, são geradas duas saídas primárias: a localização das novas instalações abertas (ou fechadas, se for o caso) e a respectiva alocação dos clientes. O modelo cria um novo conjunto

de seleção indicando as novas facilidades a serem abertas, que é automaticamente mostrado em um mapa. O *Transportation Problem* usa de uma adaptação do método simplex da programação linear (CALIPER, 1996). Apesar de incluir as capacidades das instalações, este modelo não considera, entretanto, a abertura ou fechamento de novas unidades. A saída do FL se torna a entrada do TP, sendo executado na sequência do outro (LIMA, 2003). A saída do TP é uma matriz que indica a quantidade da demanda atendida por cada instalação aberta.

### 3. Simulação de um problema real de localização

A fim de promover a interface entre o SIG e a modelagem matemática desenvolvida, foi criado um exemplo fictício, de pequeno porte, utilizando uma base de dados espaciais georeferenciada, disponível, do estado de São Paulo. A metodologia de pesquisa adotada neste trabalho pode ser classificada como uma pesquisa científica de natureza básica, segundo abordagens quantitativa e qualitativa, com objetivos explicativos e utilizando-se a modelagem e simulação como procedimento técnico. A modelagem e simulação é um método de pesquisa principalmente quantitativo, que deve ser usado quando se deseja prever o efeito de mudanças no sistema ou avaliar seu desempenho ou comportamento futuro (SILVA & MENEZES, 2005; BERTRAND & FRANSOO, 2002).

A base de dados da área sob estudo utilizada no SIG é constituída por três camadas: uma de área, representando o contorno do estado de São Paulo; uma de pontos, representando 18 municípios selecionados do estado, com suas respectivas coordenadas geográficas; e uma camada de linhas, que especifica as rodovias existentes que interligam os diversos municípios. Foi considerado que já existe um CD aberto na cidade de São Paulo, sendo, a princípio, todos os demais municípios considerados como candidatos à instalação de um novo CD. A representação da área sob estudo pode ser visualizada na Figura 1.

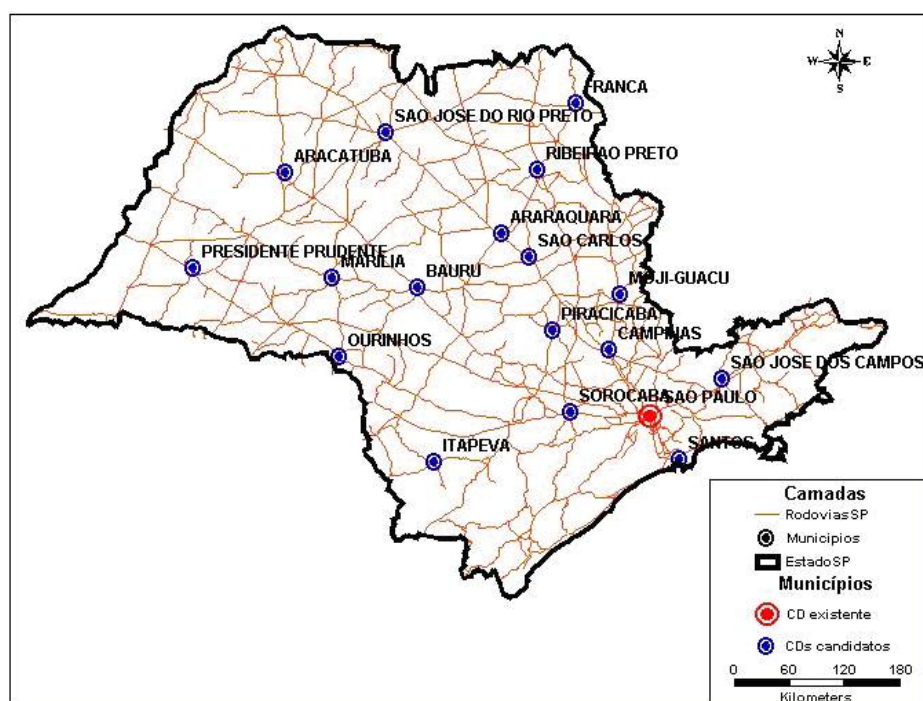


Figura 1 – Representação gráfica da área sob estudo

Através das rotinas de rede do SIG, pode-se calcular a menor distância (pelas rodovias) entre dois pontos quaisquer da rede, através de um algoritmo de caminho mínimo, ferramenta vital para se calcular os custos de transporte entre os municípios. Todos os municípios têm também uma demanda a ser atendida (pelo CD existente e pelos novos CD's a serem abertos). O

problema é então determinar as melhores localizações para novos CD's, tendo por base as distâncias entre os municípios e ponderada pela demanda dos mesmos.

Matematicamente, o problema de localização pode ser resolvido por diversos métodos. Optou-se, neste trabalho, utilizar um método exato da Pesquisa Operacional, a Programação Linear Inteira Mista, na literatura referenciada como *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP), para posterior comparação de suas estratégias e resultados com aqueles apresentados na modelagem embutida no próprio *software* SIG. Segundo Ballou (2001), os métodos exatos são aqueles procedimentos capazes de garantir uma solução matematicamente ótima, sendo uma abordagem ideal para o problema de localização de facilidades. Uma desvantagem é que o método só trata problemas de pequeno porte, resolvidos em tempo polinomial, mas que não representa aqui um empecilho, uma vez que o problema a ser resolvido é de pequeno porte.

Para a resolução do problema de localização por modelagem exata, estabeleceu-se uma interface entre o *software* de otimização Lingo, versão 7.0, e o Microsoft Excel, *software* no qual foi feita a armazenagem dos dados e a apresentação dos resultados. A formulação matemática do problema de localização é representada a seguir:

$$\min fo = 0,01 * \sum_i \sum_j C_{i,j} * X_{i,j} * d_j \quad [1]$$

Sujeito às restrições :

$$\sum_i z_i \leq n \quad [2]$$

$$0,01 * X_{i,j} \leq z_i \quad \forall_{i,j} \quad [3]$$

$$\sum_i X_{i,j} = 100 \quad \forall_j \quad [4]$$

$$0,01 * \sum_j d_j * X_{i,j} \leq m * z_i \quad \forall_i \quad [5]$$

$$0,01 * \sum_j d_j * X_{i,j} \geq l * z_i \quad \forall_i \quad [6]$$

$$z_i \in (0,1) \quad \forall_i \quad [7]$$

$$X_{i,j} \in Z^+ \quad \forall_{i,j} \quad [8]$$

Em que:

$X_{i,j}$ : é a matriz solução. Indica a porcentagem da demanda de  $i$  atendida por  $j$ ;

$z_i$ : é um vetor de binários, que indica quais CD's estão abertos. Se  $z_{(i)} = 1$ , o CD  $i$  está aberto, caso contrário, se  $z_{(i)} = 0$ , então o CD  $i$  não existe;

$C_{i,j}$ : matriz de custos, representada pelas distâncias mínimas entre os municípios  $i$  e  $j$ ;

$d_j$ : vetor que armazena as demandas dos municípios  $j$ ;

$l$ : parâmetro de entrada que define a capacidade mínima de CD's a serem abertos;

$m$ : parâmetro de entrada que define a capacidade máxima de CD's a serem abertos;

$n$ : parâmetro de entrada que especifica a quantidade máxima de CD's a serem abertos.

A equação [1] representa a função objetivo do modelo, que visa minimizar o custo de transporte, em função das distâncias entre os municípios  $i$  e  $j$  e a porcentagem da demanda atendida, assim como a função objetivo utilizada no SIG, para posterior comparação dos resultados gerados. Com relação às restrições, vale ressaltar que a restrição [2] limita a quantidade de CD's a serem abertos ao número  $n$ ; [3] é a restrição de abertura de CD, ou seja,

se o CD  $i$  está fechado ( $z_i = 0$ ), a alocação de demanda a este CD deve ser nula; [4] é a restrição de cobertura, na qual todos municípios deverão ter 100% de suas demandas atendidas; [5] e [6] são restrições de limites superior e inferior de capacidades dos CD's a serem abertos, respectivamente; [7] torna o vetor de saída  $z_i$  um vetor de binários; [8] torna a matriz solução  $X_{i,j}$  uma matriz de inteiros.

Além da resolução do problema através do modelo matemático, o problema também foi resolvido pelas rotinas já incorporadas ao SIG: a combinação da *Facility Location* (FL) (pode abrir novas unidades, não considera as restrições de capacidade); e a *Transportation Problem* (TP) (considera restrições de capacidade, não abre novas unidades). A função objetivo habilitada na FL foi a de minimizar o custo médio, ponderado pela demanda (municípios com maior demanda a ser atendida atraíam para próximo de si a localização de um novo centro de distribuição).

#### 4. Comparação dos resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o problema de localização conforme os dois modelos abordados neste trabalho. A quantidade de CD abertos foi variada, sendo um dado de entrada do problema, uma vez que não era a variável a ser otimizada, já que não se considerou os custos de instalação. Uma vez incluída esta variável, o modelo é capaz de gerar, além das localizações e alocações, também o número “ótimo” de CD's a serem abertos. Porém, a não inclusão desta variável não afeta a comparação dos resultados, pois foi excluída de ambos os modelos. Foi considerada a abertura de até 4 CD's, sempre considerando que já existia um CD aberto, localizado em São Paulo.

# CD's	VALORES DE FUNÇÃO OBJETIVO				Melhoria (%)
	MILP	SIG		TP	
		FL	TP		
1	21849,96	22013,05	22380,03	2,37	
2	17718,87	18010,53	19922,97	11,06	
3	12794,86	15167,46	20983,66	39,02	
4	11669,88	12747,49	18696,72	37,58	

Tabela 1 – Apresentação dos resultados

Constata-se que a Programação Linear Inteira Mista (MILP) obteve os melhores valores de função objetivo que se desejou minimizar, em todos os cenários, ou seja, gerou os menores custos de transporte para o problema de localização, se comparado à solução gerada segundo o modelo SIG, em sua última rotina de TP. Como os custos de instalação não estão embutidos na modelagem, quanto maior o número de CD's abertos, menores serão os custos de transportes, em ambos os modelos, como pode ser visto na mudança de cenários. Dentro do SIG, a diferença nos valores das funções objetivo do FL e TP ocorre devido à restrição de capacidade embutida no TP, que limita a capacidade máxima de cada CD aberto e realoca as demandas conforme este limite, sendo este o valor da solução final fornecida pelo SIG.

A coluna das porcentagens quantifica a melhoria no valor de função objetivo obtida pela modelagem MILP, externa ao *software* SIG. Para a abertura de dois CD's, por exemplo, houve uma redução de 11,06% com relação aos custos de transporte, que afeta toda a rede logística subsequente. A solução para este exemplo, segundo a interface entre o SIG e o MILP, pode ser vista na Figura 2, onde se têm as localizações dos dois CD's abertos, um em Bauru e outro em São Carlos, e as respectivas alocações, inclusive ao CD já existente em São Paulo. Vale ressaltar que o SIG localizou os dois CD's em municípios distintos aos do modelo MILP, sendo um localizado em Marília e outro em Araraquara, municípios estes que estão geograficamente próximos à solução apresentada pelo modelo MILP, mas que certamente produziu custos de transporte mais elevados.

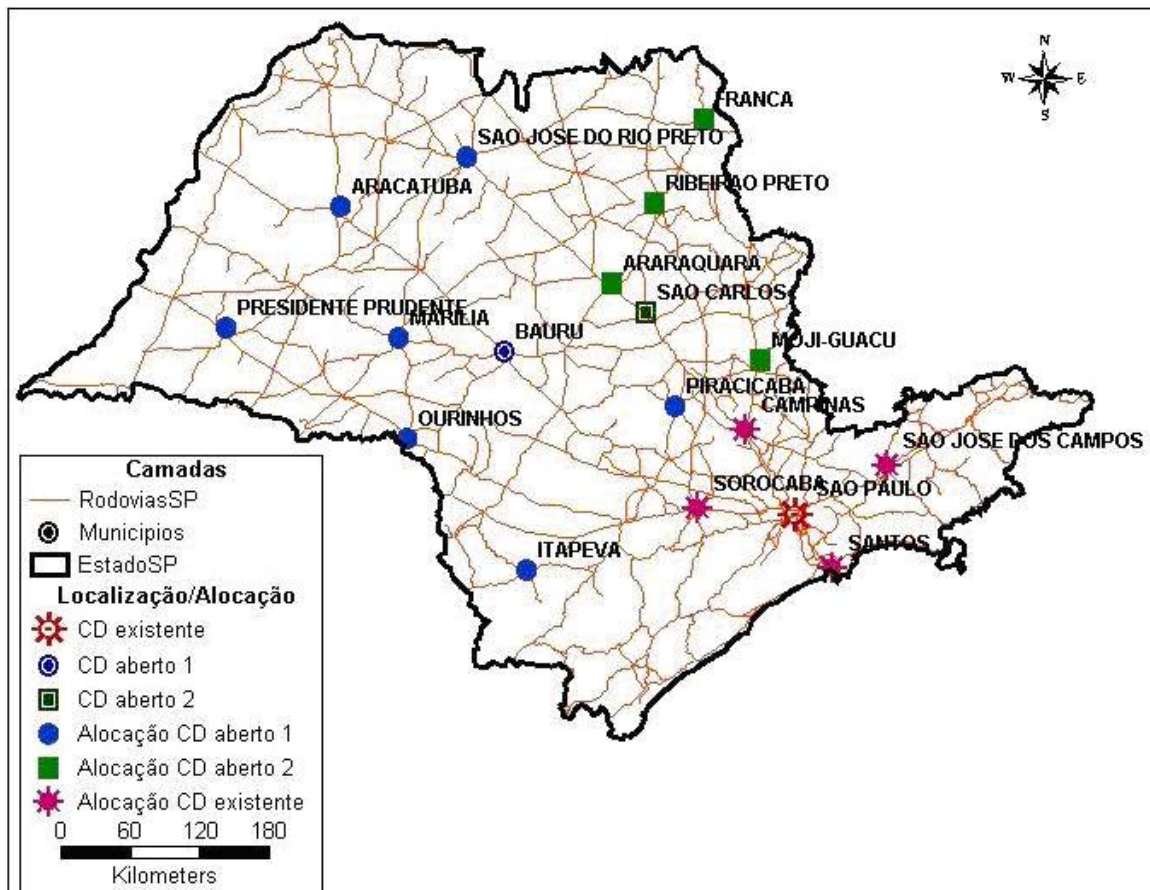


Figura 2 – Solução MILP da localização e alocação para 2 CD's

## 5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi efetuar uma interface entre o *software* SIG e um modelo de programação matemática, externo ao SIG, que efetuasse a localização e alocação de instalações de forma simultânea, considerando as restrições de capacidade das instalações. Para tanto, foi efetuada uma simulação em um problema fictício de localização de Centros de Distribuição (CD's), com dados espaciais reais do estado de São Paulo e 18 de seus principais municípios, candidatos à abertura de novos CD's. Para o problema estudado, os resultados obtidos mostraram que a realização da interface entre a programação matemática externa (MILP) com o *software* SIG é extremamente viável e eficiente, uma vez que os custos obtidos foram sempre menores quando comparadas à solução obtidas pelas rotinas do SIG.

O principal motivo para esta constatação está no fato de que a abertura ou fechamento de novas unidades, a restrição de capacidades e a alocação da demanda à oferta são resolvidas de forma simultânea no modelo MILP implementado. Sem esta interface, o SIG primeiramente indicaria quais seriam os melhores locais para abertura de novas unidades para então distribuir a demanda pelas unidades, de acordo com as respectivas capacidades máximas. Outro fator que contribuiu para esta constatação está no fato da programação do SIG ser baseada em uma heurística, que não garante a solução matematicamente ótima. Como o problema abordado nesta pesquisa não possui grandes dimensões (apenas 18 nós na rede), este pôde ter sido tratado de forma exata, por meio do MILP, o qual convergiu para o "ótimo" global, em todos cenários. Obviamente, a busca pelo ótimo global pode passar a ser inviável na resolução de problemas de maior porte, quando então devem ser investigadas as abordagens heurísticas para a modelagem matemática, fatores que já estão sendo investigados para a elaboração de trabalhos futuros.

No entanto, mais importante que os resultados quantitativos, o foco do trabalho se concentrou na interface estabelecida entre a modelagem matemática e o *software* SIG, que se mostrou de grande valia, principalmente no momento da coleta e análise de dados espaciais. Isto pode ser exemplificado pela facilidade no cálculo das distâncias mínimas pela rede de rodovias entre os diversos municípios, principal componente da função objetivo que se desejou minimizar, e também na representação gráfica e melhor visualização do problema.

Como trabalhos decorrentes dessa interface inicial entre modelagem matemática e SIG, propõe-se agora a inclusão detalhada da variável de custo de instalação na função objetivo do problema, uma vez que assim será possível determinar o número “ótimo” de instalações a serem abertas, além de suas localizações e respectivas alocações. Além disso, conforme já citado, serão abordados problemas complexos de localização, de maior porte, não resolvidos em tempo polinomial.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pelas bolsas de pesquisa concedidas aos autores.

### Referências

**BALLOU, R. H.** *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 4. ed. Tradução: Elias Pereira, Porto Alegre, Bookman, 532p, 2001.

**BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C.** *Modelling and Simulation: Operations management research methodologies using quantitative modeling*. International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 02, p. 241-264, 2002.

**CALIPER.** *Routing and Logistics with TransCAD 3.0*. Newton, Massachusetts, Caliper Corporation, 1996.

**DOBRUSKY, Fernando G.** *Optimal Location of cross-docking centers for a distribution network in Argentina*. 81p. Dissertação (Mestrado) - Massachusetts Institute of Technology, June, 2003.

**FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F.** *Logística Empresarial: a perspectiva brasileira*. 1. ed. São Paulo: Atlas. 372p, 2000.

**LIMA, R. S.** *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.

**LORENA, L. A. N.; SENNE, E. L. F.; PAIVA, J. A. C.; PEREIRA, M. A.** *Integração de modelos de localização a Sistemas de Informações Geográficas*. Gestão e Produção, v. 8, n. 2, p. 180-195, 2001.

**NARUO, M. K.** (2003) - *O estudo do consórcio entre os municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando Sistemas de Informações Geográficas*. 283p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

**OWEN, S. H.; DASKIN, M.S.** *Strategic facility location: a review*. European Journal of Operational Research, n.111, p. 423-447, 1998.

**SILVA, Marcos Roberto.** *Uma contribuição ao problema de localização de terminais de consolidação no transporte de carga parcelada*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

**SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat.** *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 4ª ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 138p, 2005.

**VALLIM FILHO, Arnaldo Rabello de Aguiar.** *Localização de centros de distribuição de carga: contribuições à modelagem matemática*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

**YEH, A. G.-O.; CHOW, M. H.** *An integrated GIS and location-allocation approach to public facilities planning - a example of open space planning*. Computers, Environmental and Urban Systems, v.20, n.4-5, p. 339-350, 1996.