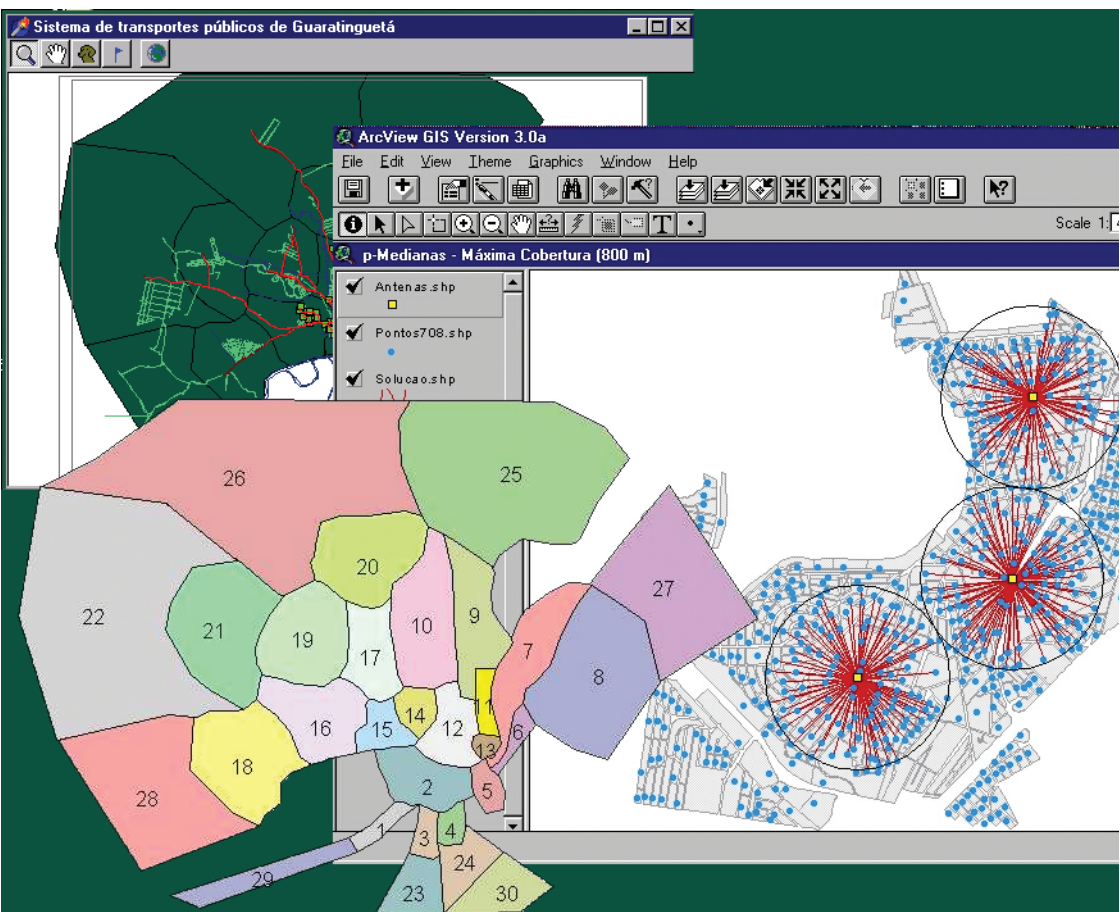


ISSN 1677-9266

Sistemas de Apoio à Decisão para Problemas de Localização e Roteamento



República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Marcus Vinicius Pratini de Moraes
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Conselho de Administração

Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast
José Honório Accarini
Sérgio Fausto
Urbano Campos Ribeiral
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Bonifácio Hideyuki Nakasu
Dante Daniel Giacomelli Scolari
José Roberto Rodrigues Peres
Diretores-Executivos

Embrapa Informática Agropecuária

José Gilberto Jardine
Chefe-Geral

Tércia Zavaglia Torres
Chefe-Adjunto de Administração

Kleber Xavier Sampaio de Souza
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Álvaro Seixas Neto
Supervisor da Área de Comunicação e Negócios

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 7

Sistemas de Apoio à Decisão para Problemas de Localização e Roteamento

Marcelo Gonçalves Narciso
Luiz Antônio Nogueira Lorena
Édson Luiz França Senne
Marcos Antônio Pereira

Embrapa Informática Agropecuária
Área de Comunicação e Negócios (ACN)

Av. André Tosello, 209
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" – Barão Geraldo
Caixa Postal 6041
13083-970 – Campinas, SP
Telefone (19) 3789-5743 - Fax (19) 3289-9594
URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>
e-mail: sac@cnptia.embrapa.br

Comitê de Publicações

Amarindo Fausto Soares
Ivanilde Dispato
José Ruy Porto de Carvalho (Presidente)
Luciana Alvim Santos Romani
Marcia Izabel Fugisawa Souza
Suzilei Almeida Carneiro

Suplentes

Adriana Delfino dos Santos
Fábio Cesar da Silva
João Francisco Gonçalves Antunes
Maria Angélica de Andrade Leite
Moacir Pedroso Júnior

Supervisor editorial: *Ivanilde Dispato*
Normalização bibliográfica: *Marcia Izabel Fugisawa Souza*
Capa: *Intermídia Produções Gráficas*
Editoração eletrônica: *Intermídia Produções Gráficas*

1ª. edição

on-line - 2002

Todos os direitos reservados

Sistema de apoio à decisão para problemas de localização e roteamento / Marcelo Gonçalves Narciso ... [et al.]. – Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2002.

24 p. : il. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Informática Agropecuária ; 7)

ISSN 1677-9266

1. Sistema de informação geográfica. 2. Localização. 3. Roteamento.
4. Tomada de decisão. I. Narciso, Marcelo Gonçalves. II. Série.

CDD – 21st-ed.
526

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	7
Introdução	9
Metodologia	10
Resultados e Discussão	12
Conclusões	20
Agradecimentos	21
Referências Bibliográficas	22

Sistemas de Apoio à Decisão para Problemas de Localização e Roteamento

Marcelo Gonçalves Narciso¹

Luiz Antônio Nogueira Lorena²

Édson Luiz França Senne³

Marcos Antônio Pereira⁴

Resumo

Em regiões urbanas e rurais, problemas de localização e roteamento têm grande aplicação. Novos algoritmos para solução destes tipos de problemas, que pertencem à classe NP-hard (solução de problemas não determinada em tempo polinomial), foram feitos no sentido de melhorar o tempo de execução e manter a qualidade da solução. Estes algoritmos, em conjunto com um sistema de informação geográfica (SIG), formam um sistema de apoio à decisão (SAD). O objetivo deste trabalho é mostrar os sistemas de apoio à decisão desenvolvidos para solucionar problemas de localização e roteamento, composto pelos novos enfoques de algoritmos de localização e roteamento e sistemas de informação geográfica Spring, Map Objects, Transcad e Arc View.

Termos para indexação: localização, roteamento, Sistema de Informação Geográfica.

¹ Dr. em Computação Aplicada, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP. e-mail: narciso@cnptia.embrapa.br

² Ph.D. em Pesquisa Operacional, Pesquisador Associado do Laboratório de Computação do INPE, Av. dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja - 12227-010 - São José dos Campos, SP. e-mail: lorena@lac.inpe.br

³ Ph.D. em Computação, Professor da Faculdade de Engenharia Unesp/Guaratinguetá. Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 Pedregulho - Guaratinguetá, SP. e-mail: elfsenne@feg.unesp.br

⁴ M.Sc em Ciência da Computação, Bolsista DTI do Laboratório de Computação do INPE, Av. dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja - 12227-010 - São José dos Campos, SP. e-mail: marcos@lac.inpe.br

Decision Support System for Location and Routing Problems

Abstract

In urban and rural areas, location and routing problems have many applications. New algorithms for solve these kind of problems, that belong to NP-hard class (problems solution doesn't reached in polinomial time), have been done to improve the running time and keep the quality of solution. These algorithms, together with geographic information system (GIS), form a decision support system (DSS). The aim of this paper is to show the decision support systems for location and routing problems, which is composed by new approaches of location and routing algorithms and geographic information systems Spring, Map Objects, Transcad and Arc View.

Index terms: location, routing, Geographic Information System.

Introdução

Nas cidades e na zona rural existem uma série de serviços envolvendo localização e roteamento (transportes). À medida que a população cresce, a demanda por serviços de transportes (ônibus, entrega de produtos agrícolas) e localização (silos, hospitais, restaurantes, hotéis) também cresce e como resolver estes problemas (localização e roteamento) de forma a minimizar custos, distâncias, tempo, etc., otimizando os serviços de transporte e localização, é um objeto de pesquisa por parte do projeto ARSIG - Análise de Redes com Sistema de Informação Geográfica (2002).

Problemas de localização e roteamento estão amplamente descritos na literatura. Estes tipos de problemas são do tipo NP-Hard (Garey & Johnson, 1979) e assim, o tempo para se obter uma solução cresce exponencialmente à medida que aumenta o tamanho da instância (dados de entrada do problema). Pode-se melhorar este cenário buscando outras alternativas de algoritmos para a solução destes tipos de problema. Novas soluções foram propostas através dos enfoques de algoritmos genéticos construtivos (Furtado, 1998), adaptados para estes tipos de problemas, relaxação lagrangeana/surrogate (Narciso, 1998) e geração de colunas em conjunto com o enfoque da relaxação lagrangeana/surrogate (Lorena & Ribeiro Filho, 2000). Cada um destes enfoques pode ser adaptado para os vários tipos de problemas de localização e roteamento existentes. Esta adaptação não é trivial e envolve várias modificações nos enfoques propostos.

Os executáveis dos algoritmos de localização e roteamento podem ser aproveitados para serem inseridos em SIG. Para isto, basta construir uma interface para estes executáveis ou ainda, incorporar o código destes algoritmos, como foi o caso do SPRING (www.dpi.inpe.br/spring). A interface destes algoritmos com o Arc View (www.esri.com), por exemplo, foi feita usando linguagem nativa Avenue.

Neste trabalho, serão enfocados os sistemas de apoio à decisão desenvolvidos no projeto ARSIG, usando novas propostas de algoritmo de localização e roteamento em conjunto com os SIGs Arc View, Spring, Map Objects (Environmental Systems Research Institute, 2002) e Transcad (Caliper Corporation, 2002).

Metodologia

Foram estudados alguns dos algoritmos mais conhecidos da literatura para a resolução de problemas de localização e roteamento. Estes algoritmos foram testados verificando-se os tempos de resposta e qualidade de solução, conforme as instâncias de testes, disponíveis em (Beasley, 1990). Uma vez implementados e testados, os algoritmos foram confrontados com os enfoques de algoritmos genéticos construtivos (Furtado, 1998), relaxação lagrangeana/surrogate (Narciso, 1998) e geração de colunas (Lorena & Ribeiro Filho, 2000), propostos pelo projeto. Cada um destes novos enfoques foram adaptados aos diversos tipos de problemas de localização e roteamento. Existem muitos tipos diferentes e cada problema tem restrições diferentes e, conseqüentemente, os algoritmos são diferentes. A adaptação não é trivial exigindo uma série de modificações no algoritmo original. Após terem sido adaptados, codificados e testados os algoritmos, neste novo enfoque, foram comparados com os existentes na literatura. Estes novos enfoques melhoraram o rendimento em termos de tempo de execução dos algoritmos, mantendo a qualidade dos resultados. Os problemas de localização que foram cobertos no trabalho da equipe foram:

- Problema das p-medianas (Furtado, 1998; Lorena & Furtado, 2001)
- Problema das p-medianas considerando distâncias de rede (Senne & Lorena, 2000)
- Problema de p-medianas capacitado (Senne & Lorena, 2000)
- Problema de p-medianas com restrição de distância máxima (Arakaki & Lorena, 2001)
- Problema de localização de máxima cobertura (Lorena & Pereira, 2002)
- Problema de localização com competição (Lorena & Pereira, 2002)

Os problemas de roteamento cobertos pela equipe foram:

- Programação de horários para empregados (*crews*) (Ribeiro Filho & Lorena, 2002)
- Problema Generalizado de Atribuição (Narciso & Lorena, 1999, 2000)
- Problema simétrico do Caixeiro Viajante (Lorena & Narciso, 2002)

Problemas de transportes também foram cobertos pela equipe. Dentre os mais relevantes, estão os seguintes:

- Metodologia para avaliação do desempenho de sistemas de transporte (Batista Júnior & Senne, 2000)
- Dimensionamento de rede de linhas de transporte urbano de passageiros (Batista Júnior & Senne, 2001)
- Gerenciamento de pontos de parada (Batista Júnior & Senne, 2000; Batista Júnior et al., 2001)

Outros problemas correlatados cobertos pela equipe foram:

- Problema de rotulação de pontos (Yamamoto et al., 2002)
- Coloração de grafos (Lorena & Ribeiro Filho, 2000)
- Programação de horários (*timetabling*) em escolas públicas (Ribeiro Filho & Lorena, 2001)
- Problema da formação de células de manufatura (Ribeiro Filho & Lorena, 2000)
- Problema da Precipitação em uma Bacia Hidrográfica (Almeida et al., 2001)
- Minimização do número máximo de pilhas abertas (MOSP) (Beceneri et al., 2002)
- *Gate Matrix Layout* (Oliveira Lorena, 2001)

Em cada uma das referências citadas, podem ser encontrados dados sobre os algoritmos existentes na literatura e seus resultados em confronto com o novo enfoque. Alguns destes algoritmos foram incorporados ao SPRING e Arc View. Os algoritmos incorporados a estes softwares são para resolver o seguinte:

- Problema das p-medianas (SPRING)
- Problema das p-medianas considerando distâncias de rede (SPRING)
- Problema de p-medianas capacitado (Arc View e SPRING)
- Problema de p-medianas com restrição de distância máxima (Arc View)

- Problema de localização de máxima cobertura (Arc View)
- Problema de localização com competição (Arc View)

Neste ano foi liberada a versão 3.6 do SPRING, durante a realização do GisBrasil 2002, em abril, na cidade de Curitiba, já com a integração dos algoritmos para resolver o problema de localização de máxima cobertura.

Os enfoques de algoritmos genéticos construtivos (AGC), geração de colunas e relaxação lagrangeana/surrogate foram amplamente divulgados no período de confecção do projeto. Assim, pode-se sintetizar cada um destes enfoques da seguinte maneira:

- AGC – é uma adaptação do algoritmo genético tradicional (Holland, 1975; Tsuruta & Narciso, 2000). A maior diferença está na avaliação dos esquemas para a seleção e recombinação, na forma de como fazer a mutação, seleção e recombinação e também na forma de controlar o aumento ou diminuição da população. Mais informações podem ser encontradas em Furtado (1998) e Lorena & Furtado (2001).
- Relaxação lagrangeana/surrogate - esta relaxação é um enfoque híbrido das relaxações lagrangeana e surrogate (Narciso, 1998) e visa fornecer uma convergência mais rápida do algoritmo mantendo a qualidade da solução. Mais detalhes pode ser visto em Lorena & Narciso (2002).
- Geração de colunas. Este enfoque é para problemas com instâncias muito grandes. Visa acelerar o processo de convergência da solução, otimizando os passos da solução do problema e descartando possibilidades de solução que não são próximas do ótimo. Este enfoque usa o princípio de geração de colunas tradicional (Gilmore & Gomory, 1961) combinado com a relaxação lagrangeana/surrogate. Mais informações podem ser vistas em Senne & Lorena (2001).

Resultados e Discussão

Com a integração dos algoritmos de localização, roteamento, transportes e outros correlatos, foram produzidos alguns trabalhos e softwares, os quais serão relatados neste tópico.

As integrações de problemas de localização proporcionaram a formação de amostras de dados de diversos tamanhos que foram extraídos como pontos com coordenadas no ArcView, usando o mapa digitalizado de São José dos Campos. Esses dados formaram um conjunto de instâncias que foram utilizados para comparação dos programas integrados ao Arc View, ao SPRING e sem a integração a nenhum SIG. Essas instâncias estão disponibilizadas na página do projeto ARSIG (2002) para futuras comparações com outros algoritmos que venham a ser integrados aos SIGs.

A aplicação do Arc View como banco de dados de dados geográfico e ferramenta gráfica foi estendida para a fase de validação de algoritmos. O código-fonte da heurística lagrangeana/*surrogate* para o problema de p-medianas foi utilizado como ponto de partida para o estudo dos outros modelos de localização implementados nesta fase do projeto. Foi necessário alterar o programa original para modelagem das características e particularidades dos outros modelos. Na fase de testes foram utilizados os dados disponíveis no Arc View para a cidade de São José dos Campos, visando executar correções e melhorias no código, quando necessário. A partir de então, foram conduzidos estudos com dados disponíveis na literatura, permitindo comprovar a qualidade das soluções obtidas com o novo código. Algumas alterações foram executadas também nos *scripts avenue* do Arc View, porém em menor escala. Tais alterações visam permitir ao usuário a entrada de alguns dos parâmetros específicos para cada modelo (por exemplo: a distância de atendimento para o problema de máxima cobertura).

A Fig. 1 ilustra a solução heurística obtida para um problema de máxima cobertura, considerando 708 pontos, para instalação de 3 antenas de telecomunicações de curto alcance (800 m). Foram utilizadas as rotinas do Arc View para processar o arquivo contendo a solução de alocação do problema (linhas retas) e a área de cobertura (círculos) dos pontos escolhidos para instalação das antenas.

A Fig. 2 ilustra o resultado no SPRING da aplicação do algoritmo de p-medianas capacitado em uma região de São José dos Campos, SP, onde a partir de um conjunto de pontos com suas respectivas demandas de serviço armazenadas no banco de dados, foram identificados as quatro melhores localizações. As demandas de cada ponto são obtidas selecionando-se na interface um atributo da tabela de objetos que corresponda às demandas em estudo.

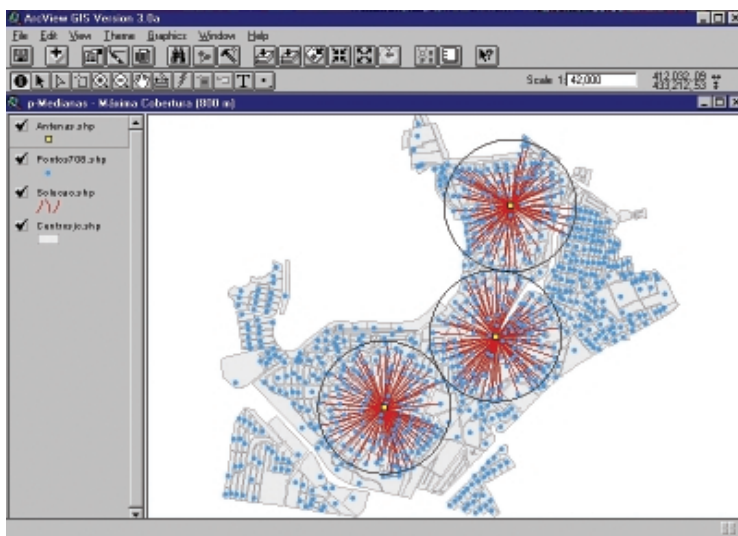


Fig. 1. Solução para problema de máxima cobertura.

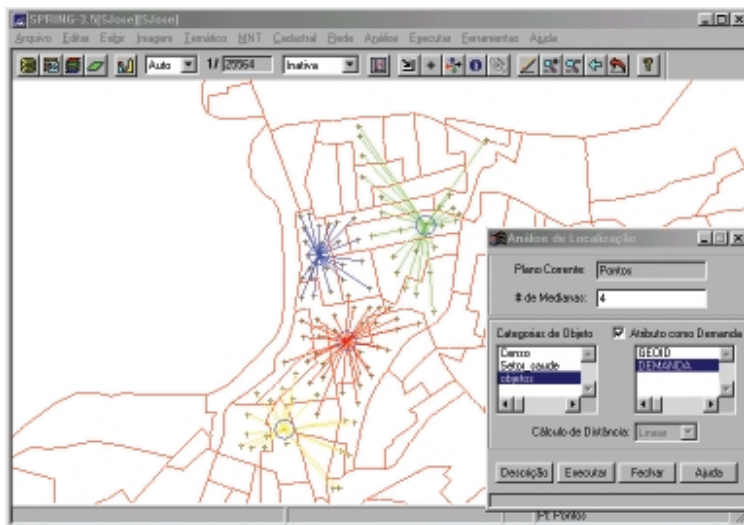


Fig. 2. Solução de problema de p-mediana para São José dos Campos, SP.

Também lançada recentemente, a nova versão do SPRING 3.6 já conta com a integração do algoritmo para solução de problemas de máxima cobertura. A utilização deste novo algoritmo faz uso da interface gerada em versões anteriores do SPRING para o problema de p-medianas, tendo sido acrescentada uma opção para se definir a distância de máxima cobertura a ser analisada. Esta opção pode ser habilitada quando um valor de demanda é considerado para cada ponto do conjunto de informações. Caso não se deseje definir uma distância de cobertura, o algoritmo de p-medianas capacitado desenvolvido em fases anteriores deste projeto é utilizado. A Fig. 3 ilustra a interface desenvolvida no SPRING 3.6 e o resultado de exemplo para a análise do problema de p-medianas com máxima cobertura considerando-se uma distância de 1.000 metros. Esta funcionalidade pode ser aplicada para dados representando os modelos Temático, Cadastral e de Redes do SPRING.

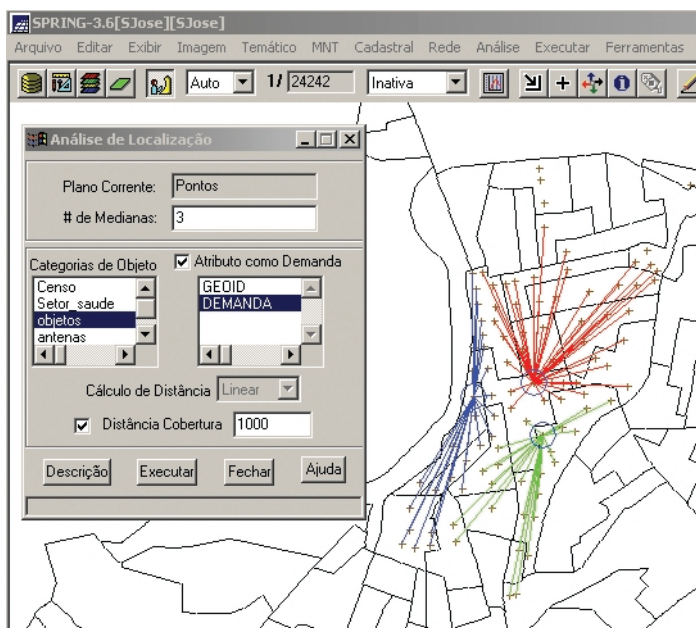


Fig. 3. Solução do problema de máxima cobertura pelo Spring 3.6.

Como exemplo de aplicação para problemas de roteamento, tem-se o SAD SIGPOP – Sistema de informação para o gerenciamento de pontos de parada. Este SAD mantém uma base de dados georreferenciada com informações relevantes para a tomada de decisões acerca dos pontos de parada e das linhas de transporte coletivo urbano. A Fig. 4 ilustra a interface principal do sistema SIGPOP.

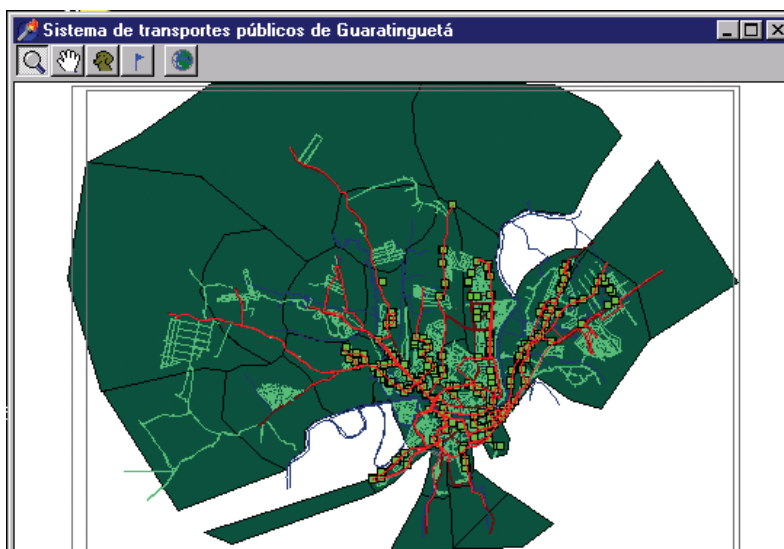


Fig. 4. Interface principal do sistema SIGPOP.

Uma das aplicações de roteamento refere-se a um protótipo de Sistema de Apoio à Decisão acerca das linhas de ônibus e dos pontos de paradas existentes na cidade de Guaratinguetá, SP. Para tanto a cidade foi dividida em zonas de interesse de tráfego conforme mostra a Fig. 5.

A Fig. 6 apresenta uma possível saída do SIGPOP, a qual possibilita uma análise visual do sistema de transporte público de Guaratinguetá, destacando-se os pontos de parada, representados por pequenos quadrados. Pode-se, também, observar um maior destaque nas vias à medida que aumenta a oferta de linhas.

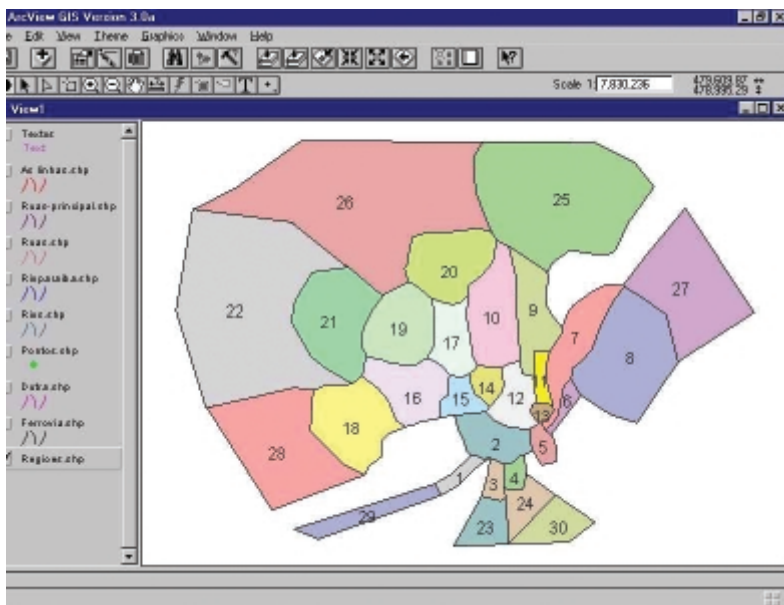


Fig. 5. Sistema SIGPOP.

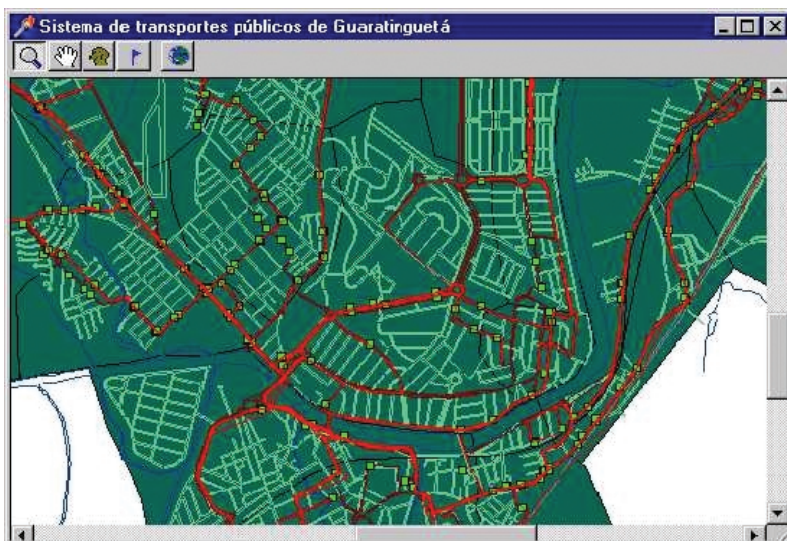


Fig. 6. Possível saída do SIGPOP.

Caso o planejador de transporte esteja interessado em obter informações acerca de um ponto de parada específico ou informação sobre uma linha basta clicar sobre sua representação gráfica. Os resultados obtidos com essa aplicação real evidenciam o acerto de se desenvolver ferramentas eficazes para auxiliar o processo de tomada de decisões relacionadas com o sistema de transporte coletivo.

Com o uso dos softwares MapObjects e TransCAD, foram desenvolvidos e continuamente vem sendo aperfeiçoados os seguintes sistemas de apoio à decisão utilizando recursos de Sistemas de Informações Geográficas: TransIG e SAD para problemas de localização e roteamento em redes

TransIG – O sistema implementa uma nova metodologia para avaliar o desempenho de sistemas de transporte (Batista Júnior & Senne, 2000), baseada no conceito de custo penalizado, que combina o custo e o tempo necessários para satisfazer a demanda por transporte, penalizada por alguns fatores, tais como: tempo de viagem, número de transbordos, conforto, nível de atendimento à demanda, número de viagens sem passageiros e tamanho da rede de linhas. O sistema já foi utilizado em um estudo realizado sobre o sistema de transporte urbano de passageiros da cidade de Guaratinguetá, SP. A Fig. 7 ilustra a interface principal do sistema TransIG.

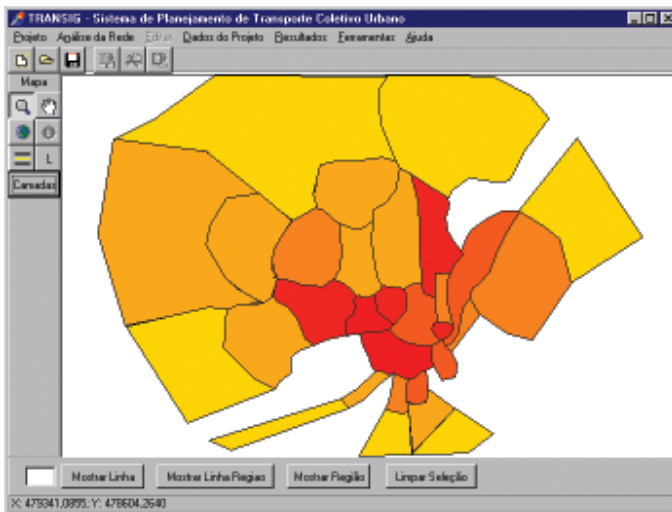


Fig. 7. Interface principal do sistema TransIG.

SAD para problemas de localização e roteamento em redes - é uma ferramenta para a solução de problemas de localização e roteamento em redes. Tal ferramenta dispõe de funcionalidades de Sistema de Informações Geográficas proporcionadas pela biblioteca de classes MapObjects e utiliza algoritmos heurísticos (feitos pelo grupo do projeto e descritos anteriormente) eficientes para obter boas soluções para os seguintes problemas: localização de p -medianas (casos capacitado e não-capacitado), localização com custos fixos (casos capacitado e não-capacitado) e roteamento de veículos a partir de um único depósito. A Fig. 8 ilustra a Interface do sistema.

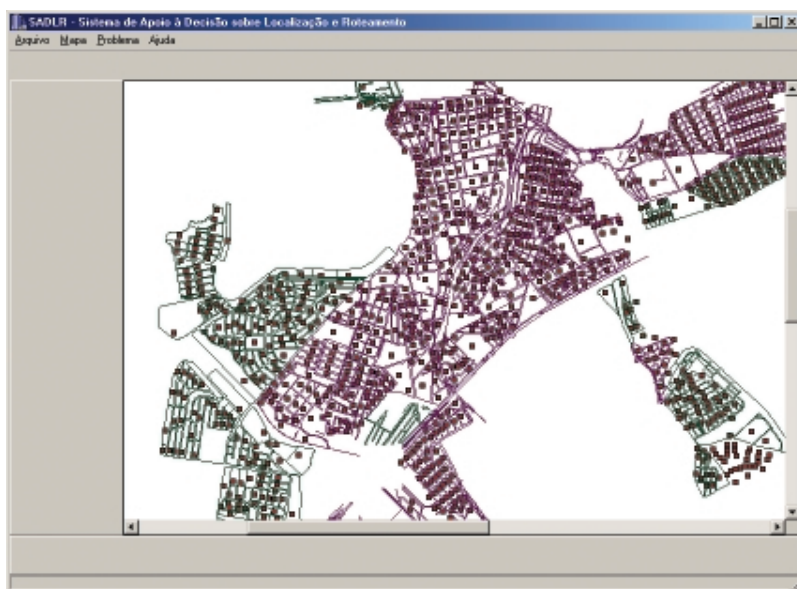


Fig. 8. Interface principal do sistema desenvolvido.

A pesquisas relativas aos algoritmos e a confecção dos sistemas de apoio à decisão tiveram como resultado um conjunto de publicações, durante os anos de 2000, 2001 e 2002 e podem ser resumidas conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Publicações geradas pela tecnologia aplicada ao projeto.

ARSIG – Resumo de pesquisa e orientação	Total
Publicações em revistas e/ou capítulo de livros internacionais	11
Publicações em revistas e/ou capítulo de livros nacionais	5
Artigos aceitos para publicação em revista nacional	1
Artigos aceitos para publicação em revista internacional	3
Teses de doutorado defendidas	3
Dissertações de mestrado defendidas	1
Trabalhos de iniciação científica ou graduação	7
Trabalhos apresentados em congressos	48
Trabalhos submetidos para revistas	10
Trabalhos aceitos para apresentação em congressos	3
Trabalhos submetidos para apresentação em congressos	7
Relatórios técnicos	4
Total geral	103

Conclusões

Os trabalhos publicados relativos aos algoritmos de localização e roteamento tiveram aceitação em âmbito nacional e internacional devido aos seus resultados e inovações. Os tempos de execução melhoraram sem perda da qualidade da solução.

A técnica de solução que combina a relaxação lagrangeana/surrogate e geração de colunas já é uma realidade com várias contribuições de métodos eficientes para solução dos problemas de localização e início de métodos para problemas de roteamento.

O desenvolvimento do Algoritmo Genético Construtivo continua sendo realizado com a participação de vários pesquisadores, e como consequência vem se firmando como uma meta-heurística competitiva para problemas de otimização combinatória.

O SIG SPRING ainda vai contemplar outros algoritmos nesta linha de localização e roteamento e está trazendo um significativo módulo de apoio à decisão. Com relação ao Arc View, onde existe a possibilidade de inserção de executáveis através de uma interface feita em linguagem *Avenue*, também é uma outra opção para implementação de sistema de

apoio à decisão. De forma semelhante, o MAP Objects e o Transcad também podem ser usados em conjunto com os algoritmos através de interface com *scripts* feitos em linguagem nativa de cada software.

Com o módulo de apoio à decisão, problemas de localização e roteamento podem trazer ao usuário uma maneira fácil de se visualizar soluções e, conseqüentemente, um gerenciamento mais eficaz no sentido de economizar tempo e combustível em problemas de transporte, gerando satisfação aos usuários de transporte. De forma semelhante, o mesmo ocorre em problemas de localização, isto é, a localização de facilidades (hospitais, escolas, comércio, silos, etc.) direcionada pelo SAD faz com que o consumidor chegue mais rapidamente ao local, devido às facilidades de acesso e localização previsto pelo SAD, e também é interessante para a facilidade em questão (lojas, restaurantes, hospitais, etc.) pois poderá ter uma maior público para atender.

Com relação ao domínio agropecuário, algumas aplicações práticas em que o sistema pode ser utilizado são a instalação de silos e indústrias do ramo agropecuário, com menor custo e facilidade de acesso, e o roteamento da produção dos centros produtores aos silos, para armazenagem, e destes para os centros consumidores ou para portos (exportação). A vantagem seria a economia de tempo de entrega e custos (combustível), além de melhorar a distribuição de produtos agrícolas e facilitar o acesso do produtor aos centros de armazenagem e distribuição.

Agradecimentos

A equipe do projeto agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ao bom desempenho dos membros da equipe, e também, em especial, ao do coordenador do projeto, Dr. Luiz Antônio Nogueira Lorena.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, C.; MONTEIRO, A.; CÂMARA, G.; PAIVA, J.; ANGELIS, C. Técnicas inferenciais e de suporte à decisão aplicadas ao estudo da adequabilidade de sítio: o caso da implantação de terminais intermodais ao longo do Piracicaba navegável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu, 2001. p. 321-340.

ARAKAKI, R. G. I.; LORENA, L. A. N. A constructive genetic algorithm for the maximal covering location problem. In: METAHEURISTICS INTERNATIONAL CONFERENCE, 4., Porto, 2000. **Proceedings**. Porto, 2001. p. 12-28.

ARSIG - Análise de Redes com Sistemas de Informações Geográficas. Disponível em: <<http://www.lac.inpe.br/~lorena/ArsigIndex.html>>. Acesso em: 11 dez. 2002.

BATISTA JUNIOR, E. D.; SENNE, E. L. F. TRANSIS: um novo método para avaliar o desempenho de sistemas de transporte urbano de passageiros. In: SETTI, J. R. A.; CYBIS, H. B. B. (Ed.). **Panorama nacional da pesquisa em transportes – 2000**. São Paulo: Makron Books: Pearson Education do Brasil, 2000. p. 83-98.

BATISTA JUNIOR, E. D.; SENNE, E. L. F.; KIRIHATA, R. TRANSIG: sistema de apoio à decisão para planejamento de transporte urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 21., 2001, Salvador. **Anais (mídia eletrônica) e anais de resumos**. [Salvador: s.n., 2001]. p. 207.

BEASLEY, J. E. OR - Library: distributing test problems by electronic mail. **Journal of Operational Research Society**, v. 41, n. 11, p. 1069-1072, 1990.

BECCENERI, J. C.; YANASSE, H. H.; SOMA, N. Y. **A method for solving the minimisation of the maximum number of open stacks problem**. Trabalho submetido para apresentação no CLAIO' 2002, realizado no Chile, outubro de 2002.

CALIPER CORPORATION. **TransCAD**. Disponível em <<http://www.caliper.com/tcovu.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2002.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **MapObjects – Windows edition**. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/mapobjects>>. Acesso em: 12 dez. 2002.

FURTADO, J. C. **Algoritmo genético construtivo na otimização de problemas combinatoriais de agrupamentos**. 1998. Tese (Doutorado em Computação Aplicada), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, José dos Campos.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. **Computers and intractability: a guide to the theory of NP - completeness**. San Francisco: Freeman, 1979.

GILMORE, P. C.; GOMORY, R. E.–A linear programming approach to the cutting stock problem. **Operations Research**, v. 9, p. 849-859, 1961.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems**. Cambridge: MIT Press, 1975. p. 11-147.

LORENA, L. A. N.; FURTADO, J. C. Constructive genetic algorithm for clustering problems. **Evolutionary Computation**, v. 9, n. 3, p. 309-328, 2001.

LORENA, L. A. N.; NARCISO, M. G. Using logical surrogate information in Lagrangean relaxation: an application to symmetric traveling salesman problems. **European Journal of Operational Research**, v. 138, n. 3, p. 473-483, 2002.

LORENA, L. A. N.; PEIREIRA, M. A. A lagrangean/surrogate heuristic for the maximal covering location problem using Hillsman's edition. **International Journal of Industrial Engineering**, v. 9, n. 1, p. 57-67, 2002.

LORENA, L.A. N.; RIBEIRO FILHO, G. Constructive genetic algorithm and column generation: an application to graph coloring. In: CONFERENCE OF THE ASSOCIATION OF ASIAN-PACIFIC OPERATIONS RESEARCH SOCIETIES WITHIN IFORS – 5., 2000, Singapore. **Operations research in the millenium - APORS'2000**. Singapore: National University of Singapore-School of Computing, 2000.

NARCISO, M. G. **A relaxação lagrangeana/surrogate e algumas aplicações em otimização combinatória**. 1998. Tese (Doutorado em Computação Aplicada), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

NARCISO, M. G.; LORENA, L. A. N. Lagrangean/surrogate relaxation for generalized assignment problems. **European Journal of Operational Research**, v. 114, p. 165-177, 1999.

NARCISO, M. G.; LORENA, L. A. N. Novas propostas de heurísticas para se resolver o problema generalizado de atribuição (PGA). In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 23., 2000, Santos. **[Resumos]**. Santos: SBMAC, 2000. p. 23. Resumo.

OLIVEIRA, A. C. M.; LORENA, L. A. N. A constructive genetic algorithm for the linear gate assignment problem. In: GENETIC AND EVOLUTIONARY COMPUTATION CONFERENCE – GECCO-2001, 2002. **Proceedings...** San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001. p. 756

RIBEIRO FILHO, G.; LORENA, L. A. N. A constructive evolutionary approach to school timetabling. In: BOERS, E. J. W.; GOTTLIEB, J.; LANZI, P. L.; SMITH, R. E.; CAGNONI, S.; HART, E.; RAIDL, G. R.; TIJINK, H. (Ed.). **Applications of evolutionary computing: EvoWorkshops 2001: proceedings...** Berlin: Springer, 2001. p. 130-139. (Springer Lecture Notes in Computer Science, v. 2037).

RIBEIRO FILHO, G.; LORENA, L. A. N. Constructive genetic algorithm and column generation: an application to graph coloring. In: CONFERENCE OF THE ASSOCIATION OF ASIAN-PACIFIC OPERATIONS RESEARCH SOCIETIES WITHIN IFORS – 5., 2000, Singapore. **Operations research in the millenium - APORS'2000**. Singapore: National University of Singapore-School of Computing, 2000.

RIBEIRO FILHO, G.; LORENA, L. A. N. Population training algorithm for clustering on trees. In: INFORMS ANNUAL MEETING, 2002, San Jose. **[Proceedings...]**. [S.l.: s.n.. 2002]. p.372-381.

SENNE, E. L. F.; LORENA, L. A. N. Lagrangean/surrogate heuristics for p-median problems. In: LAGUNA, M.; GONZALEZ-VELARDE, J. L. (Ed.). **Computing tools for modeling, optimization and simulation: interfaces in computer science and operations research**. Boston: Kluwer Academic, 2000. p. 115-130.

SENNE, E. L. F.; LORENA, L. A. N. Stabilizing column generation using lagrangean/surrogate relaxation: an application to p-median location problems. In: EURO 2001 – THE EUROPEAN OPERATIONAL RESEARCH CONFERENCE, 2001, Rotterdam. **Abstracts**. Rotterdam: European Operational Research, 2001. p. 116.

TSURUTA, J.; NARCISO, M. G. **Um estudo sobre algoritmos genéticos**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2000. 17 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 5).

YAMAMOTO, M.; CÂMARA, G.; LORENA, L. A. N. Tabu search heuristic for point-feature cartographic label placement. **Geoinformatica - An International Journal on Advances of Computer Science for Geographic Information Systems**, v. 6, n. 1, p. 77-90, 2002.

Embrapa

Informática Agropecuária