



**Hélio do Carmo
Guilherme**

**Localização de Serviços Semiobnóxios:
Uma Proposta de Sistema de Apoio à Decisão**



**Hélio do Carmo
Guilherme**

**Localização de Serviços Semiobnóxios:
Uma Proposta de Sistema de Apoio à Decisão**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão de Operações, realizada sob a orientação científica do Dr. Carlos Manuel dos Santos Ferreira, Professor Associado com Agregação do Departamento de Economia Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro, e com a co-orientação da Dr^a. Maria da Conceição Fonseca, Professora Auxiliar do Departamento de Estatística e Investigação Operacional da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Dedico este trabalho à minha esposa por todo o apoio e incentivo que me deu.
Dedico também este trabalho ao meu filho, na esperança que um dia ele faça
uma dissertação de nível igual ou superior.

o júri

presidente

Doutor Joaquim José Borges Gouveia, Professor Catedrático da Universidade de Aveiro.

vogais

Doutor Luís Miguel Cândido Dias, Professor Auxiliar da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra.

Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira, Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro (**Orientador**).

Doutora Maria da Conceição Ferreira, Professora Auxiliar do Departamento de Estatística e Investigação Operacional da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (**Co-Orientadora**).

agradecimentos

Em primeiro lugar, desejo agradecer à Professora Doutora Conceição Fonseca o apoio dado, em especial pela disponibilização da sua tese de doutoramento. Também faço um especial agradecimento ao Professor Doutor Carlos Ferreira, que me orientou e motivou fortemente para escrever esta dissertação.

Agradeço aos meus colegas de mestrado pela partilha de conhecimento, apoio e amizade. Em particular os desejos de grandes sucessos académicos e pessoais para vocês, Raul Dores e Alberto Martins.

Obrigado Rui Borges por teres partilhado a tua dissertação que me guiou como modelo.

Agradeço à Dra. Sílvia Veríssimo o apoio dado, motivação e amizade.

Agradeço aos meus colegas da Nokia Siemens Networks, em particular, ao Carlos Silva e João Rocha, o apoio e flexibilidade que me proporcionaram. E ao Rui Pires por ter feito a revisão desta dissertação.

Um muito obrigado à minha esposa, pelo apoio, paciência, e encorajamento dado.

Agradeço também ao meu irmão por ter acreditado que eu conseguiria concluir esta dissertação.

palavras-chave

localização, semiobnóxios, semidesejável, optimização bicritério, SAD.

resumo

A localização de serviços semiobnóxios é caracterizada por critérios contraditórios, que podem ser expressos como forças de atracção e repulsão. Os serviços semiobnóxios definem-se como sendo desejáveis para as comunidades pelos benefícios que geram, mas que por outro lado são indesejáveis pelos efeitos negativos (obnóxios) que lhes estão associados. Exemplos de serviços semiobnóxios são: aeroportos, estações de tratamento de resíduos sólidos, estações de tratamento de águas e certos tipos de indústrias.

Os agentes de decisão são assim confrontados com a necessidade de localizar esses serviços de modo a servir melhor as comunidades, simultaneamente reduzindo os impactos negativos.

Outros factores tidos em conta, na localização de serviços semiobnóxios, são os custos relacionados com a distância dos serviços às comunidades que se pretendem mínimos. Pretende-se então, maximizar a acessibilidade aos serviços conjuntamente com a minimização dos efeitos obnóxios.

Os modelos desenvolvidos para a resolução deste tipo de problemas são frequentemente apresentados numa linguagem mais orientada para especialistas em Investigação Operacional (IO) e menos adequada para os decisores nas diferentes organizações, quer sejam governamentais, autárquicas ou empresariais. O objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão para Problemas de Localização de Serviços Semiobnóxios. Com transferência de algum conhecimento científico da IO para os agentes de decisão, facilitando a escolha das localizações dos serviços ao apresentar alternativas de qualidade, tendo presente a simplicidade e a facilidade de utilização.

keywords

location, semi-obnoxious, semi-desirable, bicriteria optimization, DSS.

abstract

The location of semi-obnoxious services is characterized by opposing criteria, which can be expressed as attraction and repulsion forces. The semi-obnoxious services can be defined as being desirable to the communities for the benefits they generate, but on the other side, are undesirable for their associated obnoxious effects. Examples of semi-obnoxious services are: airports, solid waste treatment facilities, water or effluent treatment facilities and certain types of industries.

Therefore, the decision agents are faced with the need to locate those services in a way that they serve best the communities, while simultaneously reducing the negative effects.

Other factors to hold in account in the location of semi-obnoxious services, are the costs concerning the distances between the services and the communities. Those costs are to minimize, which is equivalent to maximize the accessibility. Consequently, the problem becomes to maximize the accessibility while minimizing the obnoxious effects.

It is frequent that the developed models to solve this type of problems are presented in an "Operations Research" (OR) experts oriented language. This may not be suitable for the decision agents at governmental or private organizations. The main goal of this work is to develop a Decision Support System for the Problem of Locating Semi-obnoxious Services. This way some of the OR scientific knowledge is transferred to the decision agents, allowing a usable system that provides quality location alternatives, making easier to select the best locations for the services.

Índice

	Índice.....	ix
1	Introdução.....	1
1.1	O problema da localização de serviços semiobnóxios.....	1
1.2	Objectivos.....	2
1.3	Metodologia geral.....	3
1.4	Estrutura da dissertação.....	3
2	Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios.....	5
2.1	Introdução.....	5
2.2	Resumos.....	6
2.2.1	Modelo de localização de unidades de processamento de resíduos de madeiras tratadas com Crómio, Cobre e Arsénio (CCA).....	6
2.2.2	Localização de uma instalação semiobnóxica no espaço Euclidiano.....	7
2.2.3	Um modelo minisum para a localização no plano de instalações semi-desejáveis com regiões proibidas.....	8
2.2.4	Problemas de Atracção-Repulsão com Cobertura Parcial	8
2.2.5	O problema da localização semiobnóxica bicritério solucionada por uma ε -aproximação.....	9
2.2.6	Um modelo fraccional para a localização de instalações semi-desejáveis em redes.....	9
2.2.7	Modelos para o problema de localização de serviços semiobnóxios.....	10
2.2.8	Modelo de logística inversa multi-objectivo para a gestão integrada de resíduos de computadores.....	11
2.2.9	Problemas multi-critério de localização em rede de instalações semiobnóxias com objectivos Soma e Central.....	11
2.2.10	Optimização por Enxame de Partículas.....	12
2.2.11	Localização bicritério de uma instalação semiobnóxica.....	13
2.2.12	Um algoritmo genético para o problema da p-mediana com pesos positivos/negativos.....	13
2.2.13	Localização de uma instalação semiobnóxica com expropriação.....	13
2.2.14	Sistema de Apoio à Decisão para Análise de Problemas de Localização Bicritério	14
2.2.15	Sistema de Apoio à Decisão Espacial Multiobjectivo para Problemas de Transporte de Resíduos Perigosos e Localização de Centrais de Tratamento	15
2.3	Síntese.....	15
3	Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxios.....	17
3.1	Introdução.....	17
3.2	Formulação do problema.....	17
3.3	Modelos considerados.....	19
3.3.1	Serviços semiobnóxios sem restrições de capacidade.....	19

3.3.2	Serviços semiobnóxios com restrições de capacidade.....	21
3.3.3	Serviços semiobnóxios com restrições de capacidade por níveis.....	22
3.3.4	Introdução de uma restrição ao investimento.....	24
3.4	Síntese.....	25
4	Medidas de equidade.....	27
4.1	Introdução.....	27
4.2	Coeficiente de Gini no modelo Serviços semiobnóxios sem restrições de capacidade e critério Efeito Obnóxio.....	27
4.3	Coeficiente de Gini no modelo Serviços semiobnóxios sem restrições de capacidade e critério Acessibilidade.....	28
4.4	Síntese.....	29
5	Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão.....	31
5.1	Introdução.....	31
5.2	Modelização em UML.....	31
5.3	O ambiente e linguagem de desenvolvimento.....	33
5.4	O algoritmo interactivo para apoio à decisão da escolha da solução de localização.....	34
5.4.1	Definição e construção da tabela de pay-off.....	36
5.4.2	A função composta.....	38
5.5	Os módulos do Sistema de Apoio à Decisão.....	39
5.5.1	Gestão de Ficheiros.....	39
5.5.2	Problema: Criação, Parametização, Resolução, Geração de Problema Aleatório.....	39
5.5.3	Resultados: Visualização, Soluções e Produção de Relatórios.....	40
5.6	Fluxo de acções por parte do utilizador.....	40
5.7	Exemplo de utilização.....	41
5.7.1	A imagem seguinte apresenta o programa após se ter aberto o ficheiro de dados.....	42
5.7.2	Em qualquer momento se pode aceder à tabela de dados, para criar, editar ou apagar, Clientes ou Serviços.....	43
5.7.3	Antes de resolver o problema pode-se ajustar os parâmetros disponíveis..	44
5.7.4	Segue-se a resolução do problema.....	49
5.7.5	Janela com as soluções eficientes encontradas.....	50
5.7.6	A qualquer momento pode-se visualizar a tabela das soluções.....	51
5.7.7	A qualquer momento pode-se visualizar a representação gráfica dos Clientes, Serviços e respectivas afectações.....	52
5.7.8	Para melhor análise produz-se um Relatório (apenas se mostra parte).....	54
5.8	Síntese.....	55
6	Conclusões.....	56
6.1	Limitações do protótipo do Sistema de Apoio à Decisão.....	57
6.2	Desenvolvimento futuro.....	57
6.3	Avaliação dos objectivos conseguidos.....	58

A	Glossário de termos e abreviaturas.....	I
B	Listagens.....	V
B.1	O ficheiro de dados: distrito_Aveiro.xml.....	V
	Bibliografia.....	XIII
	Ficheiros anexados.....	XV

1 Introdução

1 Introdução

1.1 O problema da localização de serviços semiobnóxios

Os serviços semiobnóxios definem-se como sendo desejáveis para as comunidades pelos benefícios que geram, mas que por outro lado produzem efeitos negativos nessas mesmas comunidades. A localização destes serviços fica condicionada por esses efeitos contraditórios, que podem ser encarados como forças de atracção e repulsão.

Os problemas de localização de serviços ou equipamentos caracterizam-se por critérios de minimização ou de maximização de funções que em geral dependem de uma função distância. Se os serviços têm em exclusivo uma componente desejável, então é frequente pretender-se minimizar as distâncias entre os serviços e os clientes por causa dos custos económicos, como são os de transporte ou custos de tempo, como por exemplo no acesso a serviços de emergência. Por outro lado, se os serviços têm em exclusivo uma componente indesejável (ou obnóxio), é frequente pretender-se maximizar as distâncias entre os serviços e as comunidades afectadas, por exemplo a localização de uma estação de tratamento de efluentes. Quando os serviços têm em simultâneo as duas componentes, económica e socio-ambiental, então a decisão da localização desses serviços transforma-se num desafio para o agente de decisão, por causa da natureza oposta dessas componentes. Das diferentes abordagens para resolver estes problemas de localização, é frequente resolver-se o problema considerando o caso monocritério, em que se prioriza uma componente em relação à outra. Por exemplo, usando coeficientes de ponderação (pesos) numa função objectivo que agrega as duas componentes, ou pela resolução hierárquica em que se otimiza primeiro uma componente e depois otimiza-se a outra condicionando pelo valor encontrado anteriormente. Em (Clímaco, et al 2003), estas abordagens monocritério são classificadas como “métodos em que é feita uma agregação *a priori* de preferências”. Outra abordagem possível, e com melhores

1 Introdução

resultados para apoio ao agente de decisão, é a que permite obter todas as soluções eficientes, não tendo o agente de decisão influenciado *a priori* essas soluções (Clímaco, et al 2003). No entanto, estes métodos podem gerar demasiadas soluções dificultando a escolha pelo agente de decisão. Também podem ser muito exigentes em termos computacionais ou com tempos de resolução muito longos.

Esta dissertação apresenta uma proposta de Sistema de Apoio à Decisão (SAD) em que o agente de decisão não tem que definir preferências *a priori*, nem que ser confrontado com todas as possíveis soluções para o problema bicritério. O SAD baseia-se num método interactivo ou “método de articulação progressiva de preferências” segundo (Clímaco, et al 2003). Neste método, o agente de decisão após ter definido as duas funções objectivo e as restrições associadas, indica as suas preferências de pesquisa de soluções eficientes, a partir da informação inicial da solução ideal (mas não admissível) e das soluções óptimas de cada função objectivo. Pode assim encontrar uma solução eficiente que seja adequada às suas preferências e limitações do problema.

Com este SAD, pretende-se que um agente de decisão consiga resolver o seu problema de localização de serviços semiobnóxios mesmo quando não auxiliado por um analista ou tendo conhecimentos de Investigação Operacional (em particular, de Programação Linear).

1.2 Objectivos

O principal objectivo desta dissertação é o de apresentar uma proposta para um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para problemas de localização de serviços semiobnóxios.

Especificamente o SAD deverá:

- permitir resolver problemas de localização-afecção de serviços semiobnóxios;
- aplicar um algoritmo interactivo para a obtenção do conjunto das soluções eficientes;
- apresentar uma abordagem bicritério, evitando o uso de funções utilidade dependentes de pesquisas de pesos complicadas para os agentes de decisão;

1 Introdução

- guiar o agente de decisão na selecção de um modelo adequado ao problema a partir dos modelos propostos.

O SAD deverá ser o mais simples possível de usar, mantendo o agente de decisão focado nos objectivos de resolução, e sem que o agente de decisão tenha que ter um conhecimento avançado dos algoritmos subjacentes.

Esta dissertação tem ainda os seguintes objectivos gerais:

- revisão do estado actual do conhecimento em relação aos problemas de localização de serviços semiobnóxios;
- avaliar a complexidade das diferentes abordagens algorítmicas no caso de problemas de localização de serviços semiobnóxios;

1.3 Metodologia geral

A metodologia adoptada para a elaboração desta dissertação, foi:

- estudo dos problemas de localização de serviços semiobnóxios;
- selecção dos modelos e algoritmos para aplicar no SAD;
- escolha e adaptação do método de desenvolvimento do SAD;
- desenvolvimento, implementação e testes dos módulos do SAD;
- aplicação do protótipo do SAD a problemas reais e, ou, simulados;

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos.

No primeiro capítulo (Introdução), apresenta-se o problema da localização de serviços semiobnóxios, os objectivos a atingir, a metodologia geral adoptada e a estrutura nesta mesma secção.

1 Introdução

Segue-se a revisão de artigos sobre a localização de serviços semiobnóvios no capítulo 2, onde se pode avaliar a diversidade de algoritmos, abordagens, e algumas especificidades nos vários modelos.

No capítulo 3, apresentam-se o modelos que foram seleccionados para implementar no SAD.

As medidas de equidade utilizadas no SAD, especificamente o coeficiente de Gini aplicado aos dois critérios, estão descritas no capítulo 4 .

Segue-se o capítulo 5, onde se detalha o desenvolvimento do SAD, destacando o algoritmo interactivo de pesquisa de soluções não dominadas, a modelização em UML e a aplicação prática do SAD.

Na parte final, capítulo 6 (Conclusões), discutem-se as limitações do SAD, os objectivos atingidos e futuros desenvolvimentos.

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios

2.1 Introdução

Neste capítulo apresentamos uma breve revisão de 15 artigos publicados na Internet, em revistas especializadas ou teses, que apresentam estudos sobre modelos de localização de serviços semiobnóxios ou semi-desejáveis (LSS). Esta lista não é de todo exaustiva, mas tentámos apresentar artigos recentes e de diversas metodologias para tratar os problemas LSS. Os resumos estão ordenados por espaço de decisão; no plano ou em rede, e por tipo de problema, isto é, por localização contínua ou discreta. Por serem artigos académicos e não se supondo ser do domínio de estudos do leitor, apresentamos no Glossário de termos e abreviaturas referências para as expressões mais técnicas. A seguinte tabela apresenta as principais características dos modelos e resumos:

Resumo	Modelo		Tipo	Método	Algoritmo	SAD
	Discreto	Contínuo				
2.2.1	---	No Plano	Monocritério	Redes Neurais, Clustering	sim	não
2.2.2	---	No Plano	Bicritério	Programação Não-Linear Diagramas de Voronoi	sim	não
2.2.3	No Plano	---	Monocritério	Optimização Não-Linear	sim	não
2.2.4	No Plano	---	Bicritério	Geométrico, Diagramas de Voronoi	sim	não
2.2.5	No Plano	Em Rede	Bicritério	<i>Big Square Small Square</i>	sim	não
2.2.6	---	Em Rede	Bicritério	Programação Linear Mista	não	não
2.2.7	Em Rede	---	Bicritério	Programação Linear Bicritério	sim	não

Tabela 1: Características dos Modelos e Resumos

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóvios

Resumo	Modelo		Tipo	Método	Algoritmo	SAD
	Discreto	Contínuo				
2.2.8	Em Rede	---	Multicritério com Função Utilidade	Programação Linear Inteira	não	não
2.2.9	Em Rede	---	Multicritério, Bicritério	Métodos de Pesquisa	sim	não
2.2.10	Em Rede	---	Bicritério	Optimização por Enxame de Partículas	sim	não
2.2.11	Em Rede	---	Bicritério	Programação Linear Bicritério, <i>Fourier-Motzkin</i> Elimination Method	sim	não
2.2.12	Em Rede	---	Bicritério	Algoritmo Genético, Heurística Híbrida	sim	não
2.2.13	Em Rede	---	Bicritério	Métodos de Pesquisa	sim	não
2.2.14	Em Rede	---	Bicritério	Programação Linear Inteira, Pesquisa em Árvore	não	sim
2.2.15	Em Rede	---	Multicritério	Programação Linear Mista, Interval Criterion Weights	não	sim

Tabela 1 (continuação): Características dos Modelos e Resumos

2.2 Resumos

2.2.1 Modelo de localização de unidades de processamento de resíduos de madeiras tratadas com Crómio, Cobre e Arsénio (CCA)

- Helena Gomes, Location Model for CCA-Treated Wood Waste Remediation Units, (Gomes, 2004).

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios

Nesta dissertação de mestrado, a autora apresenta um modelo para apoio à decisão da localização de unidades de tratamento especializadas num certo tipo de resíduos de madeira. Exemplos de madeiras com tratamento CCA são: postes de telecomunicações, cercas, *sleepers* nos caminhos de ferro e mobiliário de exterior (parques infantis e de merendas). Apesar dos efeitos obnóxios existentes nas unidades, apenas considerou a minimização dos custos de transporte (usando distâncias pesadas) entre as unidades e os locais de origem da matéria prima. Com vista a apoiar a decisão da localização de futuras unidades de tratamento, este modelo monocritério foi implementado num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os dados foram recolhidos junto das indústrias de tratamento de madeiras. A autora comparou os algoritmos, k-médias e o de Self-Organizing Maps (SOM), que foram integrados no SIG usando rotinas em Matlab R12. Apesar de mais lento que o das k-médias, a autora conclui que o método SOM é robusto e aplicável ao sistema de apoio à decisão implementado.

2.2.2 Localização de uma instalação semiobnóxio no espaço Euclidiano

- Emmanuel Melachrinoudis, Zaharias Xanthopoulos, *Semi-obnoxious single facility location in Euclidean space*, (Melachrinoudis, et al 2003).

Os autores deste artigo abordam o problema da localização de uma instalação semiobnóxio no espaço Euclidiano. O modelo de localização bicritério *maximin – minisum* é classificado, em termos de programação matemática, como sendo não-linear e não-convexo. Os autores propõem a resolução deste tipo de problemas usando as condições de optimalidade em programação não-linear de Karush–Kuhn–Tucker, juntamente com diagramas de Voronoi. Com o algoritmo proposto conseguem obter o conjunto das soluções eficientes, que provam ser um conjunto de segmentos eficientes. Abordam a questão da eventual descontinuidade desses segmentos, que resolvem recorrendo a restrições baseadas nas arestas dos polígonos de Voronoi. Finalizam concluindo que o algoritmo não pode ser generalizado para os casos da localização de várias instalações semiobnóxias.

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios

2.2.3 Um modelo *minisum* para a localização no plano de instalações semi-desejáveis com regiões proibidas

- Jack Brimberg, Henrik Juel, *A minisum model with forbidden regions for locating a semi-desirable facility in the plane*, (Brimberg, et al 1998).

Neste artigo é proposto um modelo de localização de instalações semi-desejáveis em que se minimiza uma função objectivo sobre os custos de transporte que são determinados de acordo com uma função distância à instalação. Os custos sociais são introduzidos numa restrição em que cada cliente afectado à instalação esteja afastado dela a uma distância mínima de acordo com uma função distância arbitrária. O modelo permite considerar funções distância diferentes para os custos de transporte e os sociais, sendo assim mais realista. Por exemplo ao considerar as zonas afectadas pela poluição atmosférica produzida na instalação de acordo com os ventos dominantes. O algoritmo apresentado considera a não convexidade da região admissível, de modo a evitar o término da computação em mínimos locais, pois são os mínimos globais que se pretendem encontrar (formulação em optimização não-linear). O algoritmo também incorpora métodos de redução da região de pesquisa de potenciais mínimos para reduzir o esforço computacional. São apresentados exemplos para duas funções distância, a Euclidiana quadrada e a rectangular, assim como as respectivas adaptações ao algoritmo.

2.2.4 Problemas de Atracção-Repulsão com Cobertura Parcial

- Yoshiaki Ohsawa, Frank Plastria, Kazuki Tamura, *Push-Pull Partial Covering Problems*, (Ohsawa, et al 2005).
- Yoshiaki Ohsawa, Frank Plastria, Kazuki Tamura, *Euclidean Push-Pull Partial Covering Problems*, (Ohsawa, et al 2006).

Apresentam um modelo teórico para problemas de atracção-repulsão com cobertura parcial. A cobertura parcial acontece quando um certo número de habitantes fica excluído da instalação que fornece o serviço (força de atracção), ou fica afectado pelos efeitos indesejáveis (força de repulsão) decorrentes da localização dessa instalação. Os autores optimizam simultaneamente as duas funções objectivo que representam essas forças de atracção-repulsão, uma no sentido de maximizar a distância

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios

mínima entre os restantes habitantes afectados pela força de repulsão, e a outra minimizando a distância máxima aos habitantes que são servidos pela instalação. Deste modo os decisores podem estudar as vantagens e custos da cobertura parcial quando comparada com a cobertura total (como nos problemas clássicos).

2.2.5 O problema da localização semiobnóxio bicritério solucionada por uma ε -aproximação

- Anders J.V. Skriver, Kim Allan Andersen, *The bicriterion semi-obnoxious location (BSL) problem solved by an ε -approximation*, (Skriver, et al 2002).

O problema da localização de instalações indesejáveis, é normalmente modelado como problema *maximin* ou *maxisum*, produzindo soluções com as instalações demasiado distantes dos pontos de procura, e conseqüentemente com custos de transporte proibitivamente altos. Para resolver este tipo de problemas, os autores deste artigo apresentam modelos bicritério para a localização de instalações obnóxias no plano e em rede. Ambos os problemas são resolvidos usando uma adaptação do algoritmo *Big Square Small Square* (BSSS), que progressivamente reduz o conjunto de soluções não-dominadas. Os autores classificam o método com o termo ε -aproximação, por utilizar esse limite para a dimensão do lado dos quadrados no caso planar ou para o comprimento da aresta caso seja em rede, e por isso não haver garantia de encontrar todas as soluções não-dominadas. Ilustram graficamente os dois casos com os resultados obtidos para a localização de um aeroporto na região de Århus na Dinamarca. Consideraram 42 cidades, e com um valor de ε igual a 150 m e um limite de vizinhança entre o aeroporto e as cidades de 100 m, obtiveram três regiões eficientes no caso planar (no espaço) e sete regiões no caso em rede (ao longo das arestas). Recomendam este método para problemas com mais do que dois critérios.

2.2.6 Um modelo fraccional para a localização de instalações semi-desejáveis em redes

- Emilio Carrizosa, Eduardo Conde, *A fractional model for locating semi-desirable facilities on networks*, (Carrizosa, et al 2002).

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios

Os autores apresentam neste artigo um modelo para localização de instalações semi-desejáveis com uma única função objectivo. Usam a função AF (“Aggregating Function”) que agrega uma função dos custos de transporte, TC (“Transportation Costs”) com uma função utilidade EU (“Environmental Utility”). Esta função EU, a maximizar, representa a “recompensa” de cada cliente que é afectado pela instalação, e é função da distância e do peso que cada cliente tem nessa instalação. Os autores analisam casos de funções por troços no cálculo de EU, juntamente com os casos mais frequentes de funções lineares como é $AF(TC, EU) = EU - TC$, ou seja o caso da p -mediana com atracção e repulsão generalizada. Também consideram a função $AF(TC, EU) = EU / TC$, que resolvem por programação linear mista. Demonstram que quando AF é uma função quasiconvexa a pesquisa de (ϵ) soluções óptimas fica reduzida um conjunto finito de soluções candidatas. Apresentam exemplos e os respectivos gráficos das soluções não-dominadas.

2.2.7 Modelos para o problema de localização de serviços semiobnóxios

- Conceição Fonseca, *Modelos para o Problema de Localização de Serviços Semiobnóxios*, (Fonseca, 2006).

Nesta tese de doutoramento são estudados vários modelos biobjectivo para o problema da localização de serviços semiobnóxios. A decisão da localização deste tipo de serviços está dependente dos seguintes critérios contraditórios: de proximidade para redução de custos ou melhor acessibilidade, e o de afastamento para redução do efeito obnóxio junto das comunidades. A autora apresenta modelos em que as funções objectivo são formuladas em termos médios ou totais. Os modelos estudados tiveram as variantes de “sem restrições de capacidade”, “com restrições de capacidade”, “restrições de capacidade por níveis”, e com a “introdução de uma restrição ao investimento”. Também considera as variações da distância Euclidiana ou o quadrado da distância Euclidiana no comportamento dos modelos. Foram efectuados testes computacionais, avaliando a comparabilidade entre modelos, tempos de execução e indicadores de equidade. Conclui que os modelos estudados podem facilitar a decisão da localização de

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnoxios

serviços semiobnoxios, de acordo com as preferências do agente de decisão, quer sejam de nível económico quer sejam em termos de equidade.

2.2.8 Modelo de logística inversa multi-objectivo para a gestão integrada de resíduos de computadores

- Poonam K. Ahluwalia, Arvind K. Nema, *Multi-objective reverse logistics model for integrated computer waste management*, (Ahluwalia, et al 2006).

Os autores propõem neste artigo, um modelo multicritério para o problema da recolha de resíduos de equipamentos informáticos. Os critérios considerados são:

- a minimização dos custos totais, que incluem os de transporte, separação, armazenamento, processamento, eliminação e custos negativos de reutilização ou reciclagem. Incluem também custos de operação e de investimento.
- a minimização dos riscos ambientais, que incluem os de transporte e os nas instalações.

O modelo utilizado baseia-se na transformação em uma função composta com pesos controlados pelo agente de decisão, resolvido em Programação Linear Inteira. Os autores aplicam o modelo a um caso real no cenário de Nova Deli, Índia, onde consideram 16 centros com diferentes actividades, como sejam a produção de resíduos, armazenamento, processamento, aterro, entre outras. A motivação para este caso prático prende-se com a saúde dos trabalhadores nos diferentes centros. Também incluíram na análise a variação temporal em quatro períodos de três meses. Devido à incerteza associada à existência de resíduos, usaram a técnica de simulação de Monte Carlo para concluir que, com uma variação até 10% nos dados das existências os resultados obtidos se mantêm.

2.2.9 Problemas multi-critério de localização em rede de instalações semiobnoxias com objectivos Soma e Central

- Horst W. Hamacher, Martine Labbé, Stedan Nickel, Anders J. V. Skriver, *Multicriteria Semi-Obnoxious Network Location Problems (MSNLP) with Sum and Center Objectives*, (Hamacher, et al 2002).

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios

Os autores apresentam neste trabalho, algoritmos para a resolução de vários problemas multicritério de localização de instalações semiobnóxias. Consideram os modelos *maxisum*, *minisum*, *maximin*, e *minimax*. Os domínios de aplicação, são as redes orientadas e não-orientadas. Para o caso bicritério, apresentam um método melhorado, que demonstram apesar de não o terem implementado. Concluem que os algoritmos apresentados, permitem eliminar uma grande parte das soluções dominadas em tempo eficiente, e assim facilitar a análise aos agentes de decisão.

2.2.10 Optimização por Enxame de Partículas

- Haluk Yapicioglu, Alice E. Smith, Gerry Dozier, *Solving the semi-desirable facility location problem using bi-objective particle swarm*, (Yapicioglu, et al 2007).

Neste artigo é apresentada a heurística de optimização por exame de partículas (*particle swarm optimization*, PSO) aplicada à resolução de problemas bi-critério. O método de optimização por enxame de partículas inspira-se, por exemplo, em bandos de pássaros, cardumes de peixes ou sistemas evolucionários. Nesses sistemas, cada partícula ou agente desloca-se numa direcção que favorece a sua situação, partilhando com os seus vizinhos essa informação. Computacionalmente, esses agentes são dispersos aleatoriamente na região admissível do problema, e em cada iteração os agentes alteram a sua posição de modo a que as funções objectivo melhorem. Consegue-se assim definir a fronteira de Pareto, que é o conjunto de pontos que resultam nas melhores soluções em termos de valores das funções objectivo. Os autores estudaram o caso monocritério em que a função objectivo é uma combinação linear das duas funções originais ponderadas por pesos normalizados de soma unitária. Compararam este PSO monocritério com o PSO bi-critério, e ainda com um PSO bi-critério em que o algoritmo foi modificado de modo a usar dois tipos de condicionamento que controlam os problemas de estabilidade e explosão. Este último algoritmo a que chamaram bi-PSO híbrido foi o que elegeram como o mais recomendado, tanto em termos computacionais como em termos da qualidade das soluções obtidas.

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnoxios

2.2.11 Localização bicritério de uma instalação semiobnoxia

- Emmanuel Melachrinoudis, *Bicriteria location of a semi-obnoxious facility*, (Melachrinoudis, 1999).

Neste artigo o autor apresenta um algoritmo para obtenção do conjunto de soluções eficientes num problema de localização de instalações semiobnoxias. O modelo bicritério considerado é o de *maximin - minisum* usando distâncias rectilíneas. Para resolver este problema bicritério não-convexo, o autor aplica o método de eliminação de variáveis de Fourier-Motzkin às sucessivas decomposições lineares. O autor chama à atenção que este método é apenas adequado para problemas com poucas restrições, pois o método gera restrições adicionais. Também refere a adequabilidade da função distância conforme o tipo de problema considerado.

2.2.12 Um algoritmo genético para o problema da p -mediana com pesos positivos/negativos

- Jafar Fathali, *A genetic algorithm for the p -median problem with pos/neg weights*, (Fathali, 2006).

Neste artigo o autor aborda o problema da localização por p -mediana adaptado a vértices com pesos positivos e negativos usando um algoritmo genético. Considera dois tipos de funções objectivo sobre as distâncias entre vértices e as p localizações; a soma dos mínimos das distancias pesadas ou a soma pesada dos mínimos das distâncias. Apesar das semelhanças estas funções são diferentes assim como os respectivos graus de complexidade. O autor apresenta resultados computacionais para instâncias com 40 vértices, e com a introdução de pesos negativos unitários (-1), em cinco, dez ou em vértices de ordem ímpar. Os tempo médios computacionais são comparados com os do algoritmo “pesquisa modificada de vizinhança variável”. Nesta comparação, o algoritmo genético proposto apresenta resultados significativamente melhores.

2.2.13 Localização de uma instalação semiobnoxia com expropriação

- Oded Berman, Qian Wang, *Locating a semi-obnoxious facility with expropriation*, (Berman, et al 2006).

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios

Neste artigo os autores estudam o caso da localização de serviços semiobnóxios em que clientes afectados pelos efeitos obnóxios serão realocizados ou expropriados. O problema fica assim condicionado ao limite de um montante disponível para indemnização das expropriações. Sobre os clientes não expropriados, apresentam dois modelos em rede, um em que se minimiza a diferença entre as distâncias ponderadas máxima e mínima, e outro em que se maximiza a distância ponderada mínima sujeita a uma restrição sobre a distância ponderada máxima. Demonstram que existe garantidamente uma solução óptima no conjunto de soluções admissíveis, e ainda um método de redução do conjunto de soluções admissíveis. Apresentam algoritmos para a resolução dos dois modelos desenvolvidos, e aplicam a um pequeno exemplo.

2.2.14 Sistema de Apoio à Decisão para Análise de Problemas de Localização Bicritério

- Sérgio Fernandes, Maria Eugénia Captivo, João Clímaco, *Um Sistema de Apoio à Decisão para Análise de Problemas de Localização Bicritério*, (Fernandes, et al 2005).

Neste trabalho é apresentado um Sistema de Apoio à Decisão baseado num método interactivo aplicado a problemas de localização com dois objectivos. O SAD desenvolvido pelos autores, baseia-se em métodos interactivos em que o agente de decisão é orientado para a região onde se encontram as “melhores” alternativas, facilitando a eliminação das soluções eficientes que não sejam de interesse para ele. Deste modo, a área de pesquisa de soluções eficientes fica gradualmente mais reduzida, minimizando-se o esforço computacional e melhorando a percepção do problema. O SAD foi desenvolvido de forma modular que permite expandir ou modificar o programa de modo mais eficiente. Possibilita o uso de algoritmos para modelos diferentes dos dois implementados que são o da localização simples bicritério (PLSB) e o da p -localização bicritério (PPLB). No caso do PPLB existe uma restrição adicional em que o número de serviços a instalar não pode ser superior a p .

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóxios

2.2.15 Sistema de Apoio à Decisão Espacial Multiobjectivo para Problemas de Transporte de Resíduos Perigosos e Localização de Centrais de Tratamento

- João Coutinho-Rodrigues, João Clímaco, John Current, *Um Sistema de Apoio à Decisão Espacial Multiobjectivo para Problemas de Transporte de Resíduos Perigosos e Localização de Centrais de Tratamento*, (Coutinho-Rodrigues, et al 2004).

Para auxiliar a tomada de decisões sobre a localização de centrais de tratamento de resíduos perigosos, assim como determinar as melhores rotas para transporte desses resíduos, os autores deste estudo apresentam o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) por eles desenvolvido. O SAD permite visualizar o espaço geográfico e a rede de transportes onde cada instância do problema se aplica. Permite também visualizar o modelo no espaço dos critérios, que é definido por cinco objectivos que integram custos, equidade e risco. A análise dos resultados pode ser feita com a visualização de diagramas de radar (a que chamaram BAGAL), diagramas de cadeia de valor, e do gráfico multidimensional com dois critérios seleccionados para os eixos sendo os restantes representadas por segmentos com origem nos pontos e direcção pré-definida. Os métodos interactivos disponíveis permitem condicionar os pesos dos critérios, efectuar agregação de critérios, condicionar as funções objectivo com base na matriz de *pay-off* ou mesmo usar programação por metas. Com as ferramentas de visualização e os métodos interactivos disponíveis no SAD, o Agente de Decisão tem a possibilidade de reduzir gradualmente o conjunto das soluções não-dominadas e delas mais facilmente escolher uma solução satisfatória.

2.3 Síntese

Neste capítulo apresentaram-se resumos de 15 artigos, dois deles são teses, que abordam directamente o problema da localização de serviços semiobnóxios.

Pretendeu-se mostrar a problemática, as variantes do problema de localização de serviços semiobnóxios, e as respectivas abordagens. Apresentaram-se modelos de localização discreta, de localização contínua, tanto no plano como em redes. Os

2 Resumos de artigos sobre a localização de serviços semiobnóvios

diferentes autores consideram métodos de Programação Linear Bicritério, Programação Linear Inteira e Mista, Optimização Não-Linear, Redes Neurais, Optimização por Enxame de Partículas e Algoritmos Genéticos.

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxios

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxios

3.1 Introdução

Neste capítulo vamos descrever os modelos matemáticos que servirão de base para o desenvolvimento do SAD. O conteúdo deste capítulo baseia-se integralmente na tese de doutoramento da Professora Doutora Maria da Conceição Fonseca (Fonseca, 2006).

O problema em estudo nesta dissertação consiste na maximização da acessibilidade dos clientes aos serviços e da minimização do efeito obnócio dos serviços instalados. Essas optimizações simultâneas estão sujeitas a um conjunto de restrições sobre as variáveis de decisão. Esse conjunto de restrições varia conforme os modelos considerados.

Os modelos apresentados correspondem a problemas de localização discreta em que os clientes e os potenciais serviços são nós de uma rede (grafo não-orientado). A representação em rede permite definir os custos dos caminhos entre clientes e serviços de modo mais realista. Por serem modelos de localização discreta, os serviços a instalar são necessariamente nós da rede.

3.2 Formulação do problema

A formulação genérica do problema bicritério sem restrições de capacidade é:

Maximizar a Acessibilidade (dos clientes aos serviços), e,
Minimizar o Efeito Obnócio (causado pelos serviços);
Sujeito às restrições sobre as variáveis de decisão.

A Acessibilidade é medida em função da distância (do caminho mais curto) do cliente ao serviço. Quanto menor a distância, melhor é a acessibilidade. Portanto, maximizar a acessibilidade é equivalente a minimizar a distância dos clientes aos serviços. Considerámos dois possíveis critérios para a Acessibilidade:

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxi

Minimizar a Soma Pesada das Distâncias entre clientes e serviços, ou,

Minimizar a Maior Distância das Distâncias entre clientes e serviços.

Estes critérios resultam em soluções com diferenças no que diz respeito aos indicadores de equidade.

O Efeito Obnóxi também é medido em função da distância (por exemplo, a Euclidiana) dos serviços aos clientes. Esse efeito atenua-se com o aumento da distância. Nas fórmulas das funções objectivo usámos o inverso da distância, ou o inverso do quadrado da distância (conforme a métrica utilizada, por exemplo a Euclidiana). Considerámos dois possíveis critérios para o Efeito Obnóxi:

Minimizar a Soma dos Efeitos Obnóxi produzidos pelos serviços, ou,

Minimizar o Maior Efeito Obnóxi dos Efeitos Obnóxi produzidos pelos serviços.

Definimos as variáveis de decisão do seguinte modo:

$y_j = 1$, se o serviço j é instalado, 0 caso não seja; $j \in J = \{1, \dots, m\}$ sendo m o total de potenciais serviços a instalar.

$x_{ij} = 1$, se o cliente i é servido pelo serviço j , 0 caso não seja; $i \in I = \{1, \dots, n\}$ sendo n o total de clientes, e $j \in J = \{1, \dots, m\}$ sendo m o total de potenciais serviços a instalar.

Temos ainda as seguintes definições:

$I = \{1, \dots, n\}$, conjunto dos índices dos clientes, sendo n o total de clientes.

$J = \{1, \dots, m\}$, conjunto dos índices dos serviços, sendo m o total de potenciais serviços a instalar.

a_i = peso do cliente i ; $i \in I$.

c_{ij} = distância do caminho mais curto entre o cliente i e o potencial serviço j ; $i \in I$ e $j \in J$.

d_{ij} = distância euclidiana entre o cliente i e o serviço j ; $i \in I$ e $j \in J$.

d = distância mínima do caminho mais curto entre cada serviço e todos os clientes.

D = distância máxima do caminho mais curto entre cada serviço e os clientes por ele servidos.

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxi

p = número máximo de serviços a instalar; (caso não seja explícita a restrição associada, vamos considerar $p = m$ nesta formulação, tornando redundante essa restrição).

Considerámos apenas os serviços que respeitem as restrições de distância máxima e mínima. Com esta filtragem prévia, a computação no módulo de Programação Linear fica mais rápida. Temos então a utilização implícita das restrições:

$$dy_j \leq c_{ij} \quad i \in I; j \in J \quad (\text{os serviços instalados estão dentro da distância mínima limite})$$

$$Dy_j \geq c_{ij} \quad i \in I; j \in J \quad (\text{os serviços instalados estão dentro da distância máxima limite})$$

Deste modo, todas as referências aos índices dos serviços (j) assumem a validade destas restrições.

3.3 Modelos considerados

3.3.1 Serviços semiobnóxi sem restrições de capacidade

Neste modelo assume-se que qualquer potencial serviço tem capacidade ilimitada. É assim possível afectar os clientes a um único serviço. Exemplos de aplicação deste modelo são, a localização de serviços de emergência (Central de Bombeiros ou Hospital), ou a localização de um Aeroporto.

A formulação em Programação Linear Inteira deste modelo é:

$$\min \sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} a_i \frac{1}{d_{ij}} \right) y_j \quad (\text{minimizar o efeito obnóxi total}) \quad (\text{a})$$

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_i c_{ij} x_{ij} \quad (\text{maximizar a acessibilidade média}) \quad (\text{b})$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (\text{cada cliente é servido por um único serviço})$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq p \quad (\text{não se ultrapassa o número máximo de serviços a instalar})$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad i \in I; j \in J \quad (\text{cada cliente só é servido por serviços que sejam instalados})$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i \in I; j \in J \quad (\text{variáveis binárias})$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad j \in J \quad (\text{variáveis binárias})$$

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxios

A função objectivo (a) pode ser substituída por uma em que o efeito obnócio varia com o inverso do quadrado da distância euclidiana, tornando assim mais realista a atenuação do efeito obnócio com o aumento da distância. A função objectivo (c) ficará então:

$$\min \sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} a_i \frac{1}{d_{ij}^2} \right) y_j \quad (\text{minimizar o efeito obnócio total}) \quad (c)$$

O seguinte gráfico ilustra a atenuação do efeito obnócio para as duas funções:

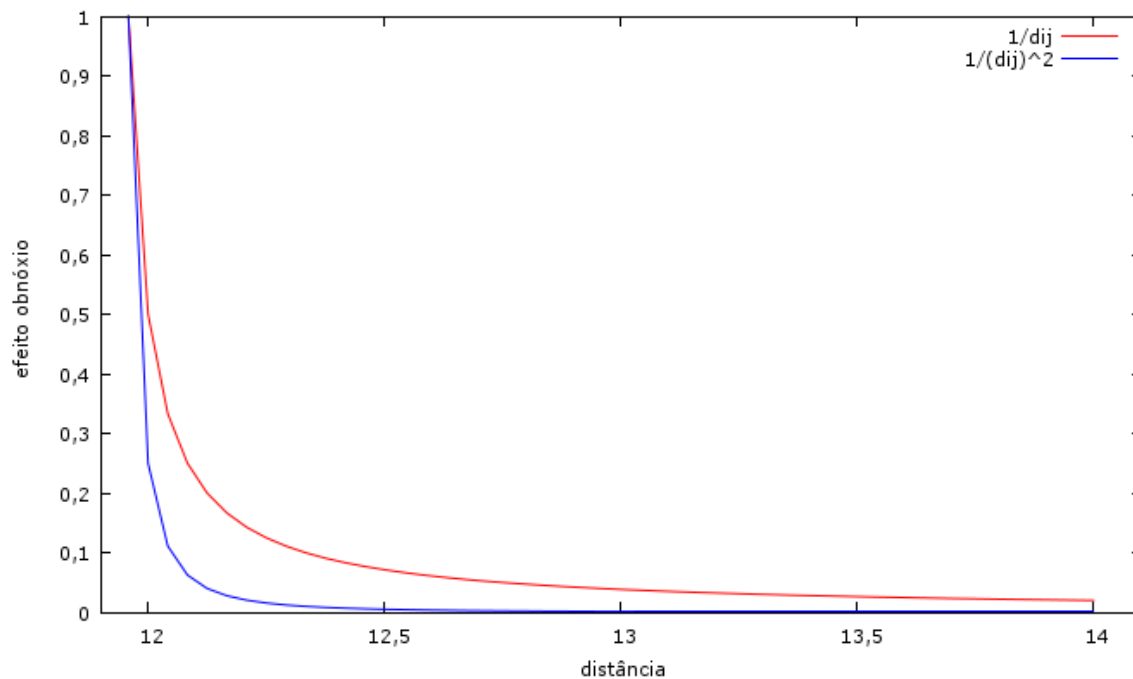


Figura 1: Gráfico das funções inversas das distâncias

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóvios

Uma outra abordagem possível, é a de minimizar o maior efeito obnóvio induzido a um cliente. Podemos então considerar as funções objectivo (d) e (e):

$$\min \max_{i \in I; j \in J} \sum_{i \in I} \frac{1}{d_{ij}} y_j \quad (\text{minimizar o pior efeito obnóvio}) \quad (d)$$

$$\min \max_{i \in I; j \in J} \sum_{i \in I} \frac{1}{d_{ij}^2} y_j \quad (\text{minimizar o pior efeito obnóvio}) \quad (e)$$

Por outro lado, a função objectivo (b), também pode ser substituída por uma em que se minimize a maior distância a um cliente servido. Tem-se assim a função objectivo (f):

$$\min \max_{i \in I; j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (\text{minimizar a pior acessibilidade}) \quad (f)$$

Ao se considerar esta função objectivo, para se garantir que os clientes sejam afectados aos serviços mais próximos, temos que acrescentar ao modelo a seguinte restrição:

$$\sum_{k \in K_{ij}} x_{ik} + y_j \leq 1 \quad i \in I; j \in J, K_{ij} = \{k \in J : c_{ik} > c_{ij}\} \quad (\text{os clientes são servidos pelos serviços mais próximos})$$

Nos modelos aqui descritos é possível considerar as diferentes combinações entre os pares de funções objectivo, mas para simplificação iremos usar apenas as da natureza de (a) e (b).

3.3.2 Serviços semiobnóvios com restrições de capacidade

Neste modelo assume-se que cada potencial serviço tem uma certa capacidade máxima. Como tal, temos em consideração as quantidades de serviço requeridas pelos clientes, que têm que ser satisfeitas por um ou mais serviços instalados. Temos como um possível exemplo de aplicação deste modelo, o da localização de centrais termo-eléctricas (sendo os clientes populações e localidades).

A formulação em Programação Linear Mista deste modelo é:

$$\min \sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} a_i \frac{1}{d_{ij}} \right) y_j \quad (\text{minimizar o efeito obnóvio total}) \quad (a)$$

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxios

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} q_i c_{ij} x_{ij} \quad (\text{maximizar a acessibilidade média}) \quad (b)$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (\text{cada cliente obtém a totalidade de serviço requerida})$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq p \quad (\text{não se ultrapassa o número máximo de serviços a instalar})$$

$$\sum_{i \in I} q_i x_{ij} \leq Q_j y_j \quad j \in J \quad (\text{não se excede a capacidade dos serviços instalados})$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i \in I; j \in J \quad (\text{variáveis não negativas})$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad j \in J \quad (\text{variáveis binárias})$$

Neste caso a variável x_{ij} deixou de ser inteira (binária), ficando definida como:

x_{ij} = fracção da quantidade de serviço requerida pelo cliente i que é realizada pelo serviço j ; $i \in I$ e $j \in J$.

Também se introduziram as constantes q_i e Q_j , definidas por:

q_i = quantidade de serviço requerida pelo cliente i ; $i \in I$.

Q_j = capacidade máxima do serviço j ; $j \in J$.

Devido ao facto da variável x_{ij} ter passado a ser uma fracção a função objectivo (f) passa a ser designada por (g) e definida por:

$$\min \max_{i \in I; j \in J} q_i c_{ij} x_{ij} \quad (\text{minimizar a pior acessibilidade}) \quad (g)$$

3.3.3 Serviços semiobnóxios com restrições de capacidade por níveis

Neste modelo assume-se que cada potencial serviço tem as suas capacidades mínima e máxima condicionadas pelas quantidades requeridas. Estas capacidades ficam repartidas por tipo ou níveis de serviço. Assume-se que os níveis de maior capacidade, permitem maiores investimentos nos sistemas que reduzem os efeitos obnóxios produzidos. Por outro lado, para cada nível de serviço, a sua instalação, pode não compensar financeiramente ou em termos de eficiência da redução do efeito obnóxio, se

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxios

não se atingir um certo nível. Assim cada nível de serviço está limitado por mínimos e máximos. Exemplos de aplicação deste modelo são, os da localização de centrais de tratamento de resíduos sólidos ou efluentes, ou estações de tratamento de águas (sendo os clientes, comunidades urbanas ou localidades).

A formulação em Programação Linear Mista deste modelo é:

$$\min \sum_{j \in J} \sum_{t \in T_j} \delta_{jt} y_{jt} \quad (\text{minimizar o efeito obnócio total}) \quad (h)$$

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} q_i c_{ij} x_{ij} \quad (\text{maximizar a acessibilidade média}) \quad (b)$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (\text{cada cliente obtém a totalidade de serviço requerida})$$

$$\sum_{t \in T_j} y_{jt} \leq 1 \quad (\text{no máximo um serviço instalado por cada local potencial})$$

$b_{jt} y_{jt} \leq w_{jt} \leq B_{jt} y_{jt} \quad j \in J; t \in T_j$ (as quantidades de serviço produzidas respeitam capacidades mínimas e máximas)

$$\sum_{i \in I} q_i x_{ij} = \sum_{t \in T_j} w_{jt} \quad j \in J \quad (\text{a quantidade de serviço fornecida é efectivamente produzida})$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i \in I; j \in J \quad (\text{variáveis não negativas})$$

$$y_{jt} \in \{0, 1\} \quad j \in J; t \in T_j \quad (\text{variáveis binárias})$$

Neste modelo adaptou-se a variável y_{jt} de modo a incluir o nível de serviço a que corresponde. Assim define-se como:

$y_{jt} = 1$, se o serviço do nível t é instalado em j (0 caso não seja); $t \in T_j$ sendo T_j o conjunto dos possíveis níveis de serviço a instalar em j , e $j \in J = \{1, \dots, m\}$ sendo m o total de potenciais serviços a instalar.

Também se introduziu a variável w_{jt} , definida por:

w_{jt} = quantidade de serviço fornecida pelo serviço do nível t instalado em j ; $t \in T_j$ sendo T_j o conjunto dos possíveis níveis de serviço a instalar em j , e $j \in J = \{1, \dots, m\}$ sendo m o total de potenciais serviços a instalar.

Usamos as definições adicionais:

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxios

$t \in T_j$ sendo T_j o conjunto dos possíveis tipos ou níveis de serviço a instalar em j , ou seja, $T_j = \{1, \dots, p_j\}$.

$b_{jt}, B_{jt} \quad j \in J; t \in T_j$ que são respectivamente as quantidades mínimas e máximas dos serviços j do tipo ou nível t . Para fazer sentido a divisão por níveis, assume-se que se verifica esta relação, $b_{jt} \geq B_{j,t-1} + 1$.

$\beta_{jt} \quad j \in J; t \in T_j$ que é um factor que mede o impacto do tipo ou nível de serviço t quando instalado em j .

$\delta_{jt} = \beta_{jt} \sum_{i \in I} a_i \frac{1}{d_{ij}} \quad j \in J; t \in T_j$ que é o efeito obnóxio exercido sobre todos os clientes, para o nível de serviço t do potencial serviço j .

3.3.4 Introdução de uma restrição ao investimento

Nos modelos anteriores não se considerou a influência dos custos de construção, manutenção e utilização dos serviços, na decisão da instalação desses serviços. Estes custos são relevantes no que diz respeito a problemas de localização de serviços. Embora não se tenha considerado minimizar esses custos, optámos por acrescentar aos modelos estudados, restrições ao montante máximo disponível para investir na construção, manutenção e utilização dos serviços a instalar. Conforme se deseje ou não condicionar pelos custos de utilização, temos as restrições adicionais:

$$\sum_{j \in J} (f_j + m_j) y_j \leq Inv_{max} \quad (\text{custos fixos e manutenção})$$

ou

$$\sum_{j \in J} (f_j + m_j) y_j + \sum_{j \in J} vm_j \left(\sum_{i \in I} a_i x_{ij} \right) \leq Inv_{max} \quad (\text{custos fixos, manutenção e utilização})$$

Onde:

$f_j \quad j \in J$ é o custo fixo de construir no local j .

$m_j \quad j \in J$ é o custo fixo de manter um serviço em funcionamento no local j .

$vm_j \quad j \in J$ é o custo por unidade de serviço fornecida pelo serviço instalado em j .

Inv_{max} é o investimento máximo admissível.

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxios

3.4 Síntese

Neste capítulo apresentámos os modelos que vamos utilizar no Sistema de Apoio à Decisão. Os critérios abordados foram os de minimizar o efeito obnócio total e o de maximizar a acessibilidade média. Também se consideraram variantes aos critérios, em que se minimiza o pior efeito obnócio sobre os clientes, e o em que se maximiza a pior acessibilidade dos clientes. O primeiro modelo considera a afectação de um único serviço a cada cliente. O segundo modelo aplica restrições sobre a capacidade dos serviços, e procura por parte dos clientes. O terceiro modelo, considera diferentes níveis de serviço, para os instalar de acordo com a procura por parte dos clientes e com os limites de nível de serviço. Para estes três modelos pode-se aplicar uma restrição ao investimento máximo considerando os custos de instalação, manutenção e utilização dos serviços.

3 Modelos matemáticos aplicados aos problemas de localização de serviços semiobnóxios

4 Medidas de equidade

4 Medidas de equidade

4.1 Introdução

A equidade serve usualmente como indicador da distribuição mais ou menos igualitária de serviços de utilidade pública. No caso de serviços que tenham efeitos obnóxios a medida de equidade poderá servir como medida de desempate para soluções com efeitos obnóxios semelhantes. Nesta dissertação optámos por implementar o coeficiente de Gini¹ para os critérios Acessibilidade e Efeito Obnóxico. Em (Fonseca, 2006) para além do coeficiente de Gini também é estudado o coeficiente de concentração de Hoover.

4.2 Coeficiente de Gini no modelo Serviços semiobnóxios sem restrições de capacidade e critério Efeito Obnóxico

As fórmulas são:

$$E_i = a_i \sum_{j \in S} \frac{1}{d_{ij}} = \text{medida do efeito obnóxico sobre o cliente } i. \text{ Sendo } S \text{ o conjunto de}$$

serviços instalados.

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i \in I} E_i}{N} = \text{efeito médio sobre os clientes, onde } N \text{ é o total de clientes.}$$

Coeficiente de Gini:

$$\frac{\sum_{i \in I} \sum_{h \in I} |E_i - E_h|}{2N^2 \bar{E}} \text{ que é uma medida de desvio, variando no intervalo } [0,1] \text{ e invariante}$$

com a escala. Quanto mais perto de zero for o coeficiente de Gini, melhor equidade se observa (os clientes são prejudicados pelo efeito obnóxico de modo semelhante).

Temos ainda as seguintes definições:

$$I = \{1, \dots, n\}, \text{ conjunto dos índices dos clientes, sendo } n \text{ o total de clientes.}$$

¹Gini também é referido como Ginni.

4 Medidas de equidade

$S = \{1, \dots, m\}$, conjunto dos índices dos serviços instalados, sendo m o total de serviços instalados.

a_i = peso do cliente i ; $i \in I$.

d_{ij} = distância euclidiana entre o cliente i e o serviço j ; $i \in I$ e $j \in S$.

4.3 Coeficiente de Gini no modelo Serviços semiobnóxios sem restrições de capacidade e critério Acessibilidade

As fórmulas são:

$A_i = \sum_{j \in T_i} a_i c_{ij}$ = medida da acessibilidade do cliente i . Sendo T_i o conjunto de serviços a que cada cliente está afecto.

$\bar{A} = \frac{\sum_{i \in I} a_i}{N}$ = peso médio dos clientes, onde N é o total de clientes.

Coeficiente de Gini:

$\frac{\sum_{i \in I} \sum_{h \in I} |A_i - A_h|}{2N^2 \bar{A}}$ que é uma medida de desvio, variando no intervalo $[0, 1]$ e invariante

com a escala. Quanto mais perto de zero for o coeficiente de Gini, melhor equidade na acessibilidade se observa.

Temos ainda as seguintes definições:

$I = \{1, \dots, n\}$, conjunto dos índices dos clientes, sendo n o total de clientes.

$T_i = \{1, \dots, m\}$, conjunto dos índices dos serviços afectos ao cliente i , sendo m o total de serviços instalados.

a_i = peso do cliente i ; $i \in I$.

c_{ij} = distância do caminho mais curto entre o cliente i e o serviço afecto j ; $i \in I$ e $j \in T_i$.

O coeficiente de Gini terá que ser adaptado para as funções objectivo que usam o inverso do quadrado das distâncias (equações (c) e (e)).

4 Medidas de equidade

4.4 Síntese

O uso de uma medida de equidade pode ajudar o agente de decisão na escolha de uma solução quando os critérios são semelhantes. Escolheu-se o coeficiente de Gini, por ser bastante conhecido e pelas suas características de invariância de escala e normalização no intervalo $[0,1]$ (que permite comparabilidade). O agente de decisão tem assim um indicador da qualidade das soluções no que diz respeito à distribuição em igualdade dos benefícios (ou prejuízo pelo efeito obnóxió).

4 Medidas de equidade

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.1 Introdução

O sistema de apoio à decisão para o problema da localização de serviços semiobnóvios destina-se a ser utilizado por agentes de decisão com diversos níveis de conhecimentos ou áreas científicas. Para além da complexidade por ser um problema de localização bicritério, essa também é uma razão motivadora para desenvolvimento do SAD.

Proporciona-se assim, a transferência de conhecimento do campo da Investigação Operacional, para o “público em geral”, facilitando a tomada de decisões apoiadas por métodos científicos em vez de se apoiar na “intuição” do agente de decisão. Esta generalização dos potenciais utilizadores motiva o desenho de um sistema que tanto seja fácil de usar e eficaz, como possa permitir uma utilização mais avançada.

Para o desenvolvimento do SAD, seguiu-se uma metodologia *Agile*, que permite ter pronto em curtos períodos de tempo os módulos básicos do sistema que servem de partida para evoluir para componentes mais complexas ou com novas funcionalidades. O método de desenvolvimento utilizado seguiu, embora não-formalmente, o *Extreme Programming* (XP). Uma breve introdução, em Inglês, ao método XP pode ser consultada em <http://www.extremeprogramming.org/>.

Na primeira fase de desenvolvimento do SAD o objectivo foi o de implementar o sistema básico, com a implementação do modelo de localização sem restrições de capacidade, e todas as funcionalidades básicas de interacção, visualização gráfica e tabular.

5.2 Modelização em UML

A Linguagem Unificada de Modelização, ou *Unified Modeling Language* (UML), permite representar sistemas, ideias, e interacções numa forma compreensiva e estandardizada.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

Actualmente é considerada uma ferramenta essencial no processo de desenvolvimento de software. Para mais informação sobre UML pode-se consultar o sítio da Internet do *Object Management Group* em <http://www.uml.org/>.

Apresenta-se adiante o diagrama ilustrativo da interacção entre o utilizador e as diferentes componentes do SAD.

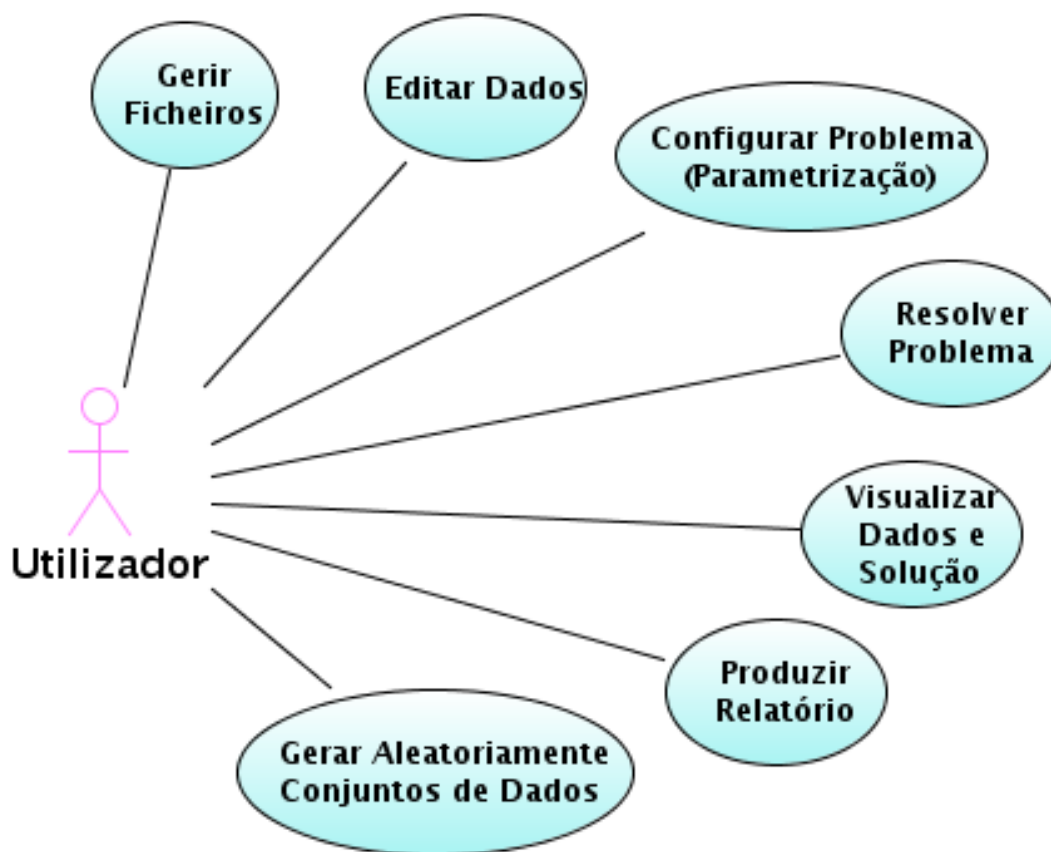


Figura 2: Diagrama de Casos de Uso

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.3 O ambiente e linguagem de desenvolvimento

Para conseguir a compatibilidade do SAD entre os diferentes sistemas operativos, optou-se por desenvolver o programa na linguagem Java². Aproveitou-se o facto de existirem diversas ferramentas e bibliotecas de utilização gratuita para essa linguagem. O próprio ambiente de desenvolvimento, Netbeans³ 6.5.1, é de utilização livre. Este ambiente integrado de desenvolvimento (IDE), permite efectuar a modelização em UML e gerar o código a partir desses modelos. Acelera-se assim o desenvolvimento do software, e controla-se ao pormenor a conformidade do código gerado.

Em particular, teve-se o cuidado de garantir que a aplicação externa de cálculo em Programação Linear (normalmente designada em Inglês por “*solver*”), LPSolve⁴, tivesse bibliotecas de código disponíveis para a linguagem Java e para os diversos sistemas operativos. De igual modo, assegurou-se que esse uso livre respeita o licenciamento a que está sujeito. Também se admite a possibilidade do uso de outros solvers comerciais ou não, mas o código tem que ser adaptado para tal.

Todas as bibliotecas de código incorporadas no programa, são de licenciamento de uso livre, mas permitem uso comercial do software sem obrigar a disponibilizar o código fonte. Mais detalhes sobre as diferentes licenças estão nos ficheiros do SAD e no glossário.

²Java™ é uma linguagem de programação desenvolvida na empresa Sun Microsystems. É uma linguagem baseada nas linguagens C e C++. Para mais informação, visite

▶<http://www.sun.com/java/>.

³O IDE NetBeans e a Plataforma NetBeans são baseados em software de netbeans.org, que foi licenciado de acordo com a *Common Development and Distribution License* (CDDL) e a *GNU General Public License version 2* com a excepção *Classpath*. Para mais informação, visite

▶<http://www.netbeans.org/>.

⁴LPSolve, ou *lp_solve*, é uma biblioteca de software feito em linguagem C mas com possibilidade de usar a partir de outras linguagens, como é neste caso em Java. Para mais informações, visite

▶<http://lpsolve.sourceforge.net/>.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

O software desenvolvido foi designado de “SADLoKZ” e foi testado nos sistemas operativos Microsoft® Windows® XP Home⁵ para processadores a 32 bit, e no GNU⁶/Linux® OpenSUSE⁷ 11.2 para processadores a 32 bit e a 64bit.

Tendo em vista a eventual internacionalização deste software usou-se a língua Inglesa tanto para a interacção com o utilizador, como na documentação do próprio código. O IDE utilizado tem um sistema que facilita a tradução para qualquer língua.

5.4 O algoritmo interactivo para apoio à decisão da escolha da solução de localização

O objectivo deste SAD é o de orientar um agente de decisão na escolha da “melhor” localização de serviços semiobnóxios. Como é um problema com dois critérios contraditórios, a “melhor” localização não se pode designar por solução óptima mas sim por solução não-dominada, óptima de Pareto, ou solução eficiente. Esta caracterização vem do facto de, necessariamente, em pelo menos num dos critérios não existir nenhuma outra solução com melhores valores.

Para reduzir o esforço do agente de decisão, na selecção de uma solução eficiente, o SAD, apresenta em cada interacção uma solução eficiente. Este processo repete-se até que o agente de decisão esteja satisfeito com as soluções obtidas, ou tenham sido encontradas todas as possíveis soluções eficientes.

Apresenta-se a seguir um diagrama geral do método interactivo, adaptado de (Fonseca, 2006).

⁵O Microsoft® Windows® XP Home é um sistema operativo desenvolvido pela Microsoft. Para mais informações, visite ►<http://www.microsoft.com/>.

⁶GNU/Linux® é uma designação para um sistema operativo. Para mais informações, visite ►<http://www.gnu.org/> e ►<http://www.linux-foundation.org/>.

⁷OpenSUSE é uma distribuição de GNU/Linux® patrocinada pela Novell. Para mais informações, visite ►<http://www.opensuse.org/>.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

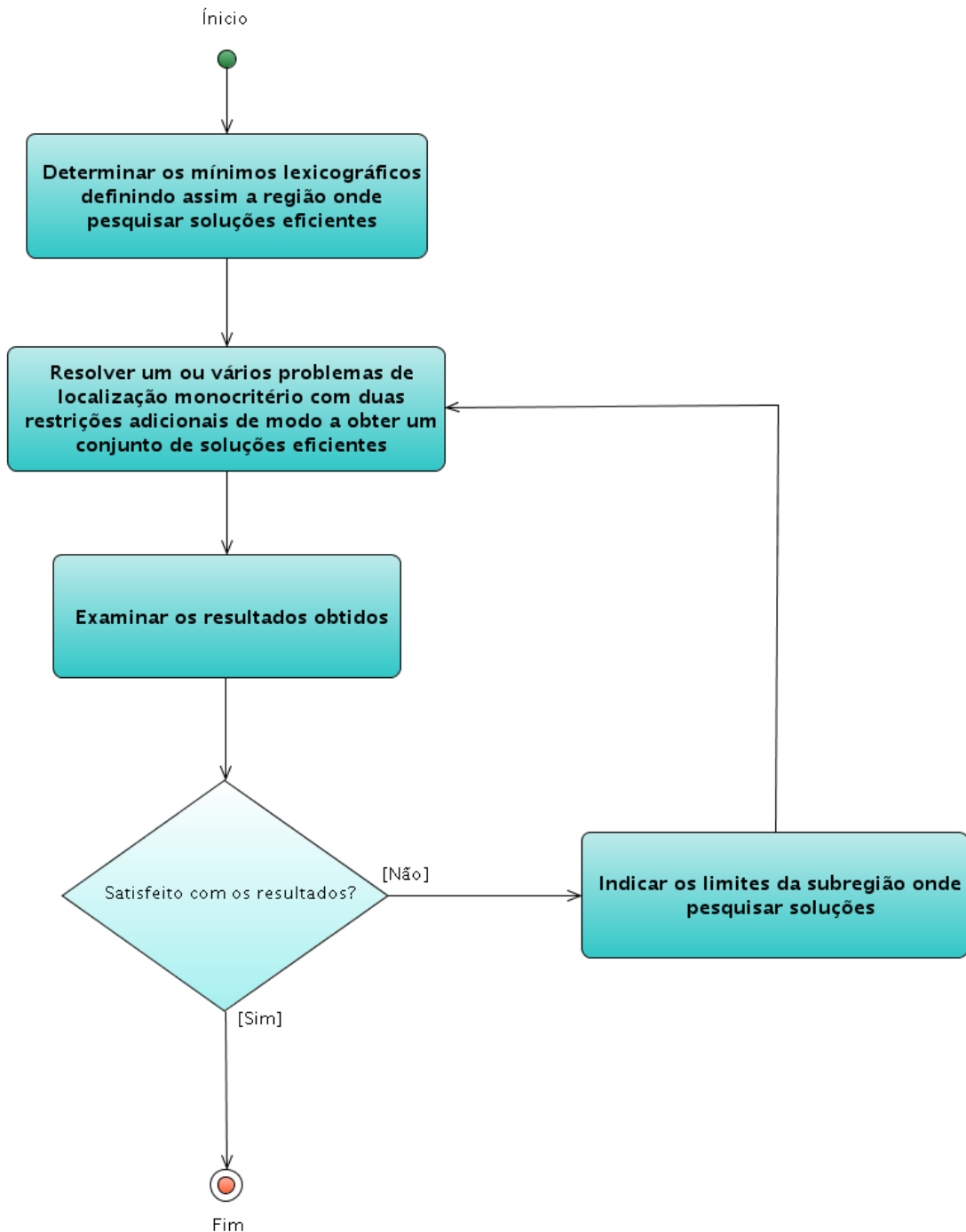


Figura 3: Diagrama que ilustra um método interativo

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

Este método interactivo é descrito com detalhe na secção 2.2 Obtenção de soluções óptimas de Pareto em (Fonseca, 2006). Mas dada a importância deste método no SAD, apresentamos-lo aqui numa forma simplificada e integrada com as acções do utilizador no uso do SADLoKZ. Para simplificação, vamos usar os critérios definidos em Serviços semiobnóxios sem restrições de capacidade, ou seja, usando as funções objectivo em (a) e (b).

5.4.1 Definição e construção da tabela de *pay-off*

A tabela de *pay-off* é inicialmente construída ao se otimizar as funções objectivo isoladamente, obtendo-se assim os mínimos lexicográficos (primeiro passo do algoritmo).

Definimos então dois problemas de Programação Linear:

$$Z_1^{(1)} = \min \sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} a_i \frac{1}{d_{ij}} \right) y_j \quad (\text{minimizar o efeito obnócio total})$$

ou

$$Z_2^{(2)} = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_i c_{ij} x_{ij} \quad (\text{maximizar a acessibilidade média})$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (\text{cada cliente é servido por um único serviço})$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq p \quad (\text{não se ultrapassa o número máximo de serviços a instalar})$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad i \in I; j \in J \quad (\text{cada cliente só é servido por serviços que sejam instalados})$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i \in I; j \in J \quad (\text{variáveis binárias})$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad j \in J \quad (\text{variáveis binárias})$$

Após se terem obtido os dois mínimos lexicográficos resolvem-se os mesmos problemas, mas agora condicionados aos mínimos encontrados e cruzando os critérios. Tem-se assim:

$$Z_2^{(1)} = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_i c_{ij} x_{ij} \quad (\text{maximizar a acessibilidade média})$$

sujeito a:

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (\text{cada cliente é servido por um único serviço})$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq p \quad (\text{não se ultrapassa o número máximo de serviços a instalar})$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad i \in I; j \in J \quad (\text{cada cliente só é servido por serviços que sejam instalados})$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i \in I; j \in J \quad (\text{variáveis binárias})$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad j \in J \quad (\text{variáveis binárias})$$

$$\sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} a_i \frac{1}{d_{ij}} \right) y_j \leq Z_1^{(1)} \quad (\text{efeito obnócio total não ultrapassa o efeito obnócio total óptimo})$$

e

$$Z_1^{(2)} = \min \sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} a_i \frac{1}{d_{ij}} \right) y_j \quad (\text{minimizar o efeito obnócio total})$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (\text{cada cliente é servido por um único serviço})$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq p \quad (\text{não se ultrapassa o número máximo de serviços a instalar})$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad i \in I; j \in J \quad (\text{cada cliente só é servido por serviços que sejam instalados})$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i \in I; j \in J \quad (\text{variáveis binárias})$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad j \in J \quad (\text{variáveis binárias})$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_i c_{ij} x_{ij} \leq Z_2^{(2)} \quad (\text{acessibilidade média não ultrapassa a acessibilidade média óptima})$$

Podemos assim construir a tabela de *pay-off*:

	$Z_2^{(1)}$	$Z_2^{(2)}$
$Z_1^{(1)}$	(óptimo, pior)	ponto ideal
$Z_1^{(2)}$	ponto pior	(pior, óptimo)

Tabela 2: Tabela de pay-off

No exemplo que apresentamos adiante, temos:

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

	$Z_2^{(1)}$ 24885031,47	$Z_2^{(2)}$ 8366110,25
$Z_1^{(1)}$ 26691,52	(26691,52; 24885031,47)	(26691,52; 8366110,25)
$Z_1^{(2)}$ 164849,48	(164849,48; 24885031,47)	(164849,48; 8366110,25)

Tabela 3: Tabela de pay-off do problema usado no exemplo

Está assim definida a região de pesquisa de soluções eficientes. No software é nesta fase que se apresenta o gráfico interactivo. Prossegue-se para construção da função composta (ou agregada).

5.4.2 A função composta

Esta função é uma combinação linear convexa das duas funções objectivo iniciais condicionada pelos valores de pesquisa (que na primeira iteração, são os maiores valores encontrados). Portanto temos:

$$\min \lambda \times \sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} a_i \frac{1}{d_{ij}} \right) y_j + (1 - \lambda) \times \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_i c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a:

$$\sum_{j \in J} \left(\sum_{i \in I} a_i \frac{1}{d_{ij}} \right) y_j \leq B_1$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_i c_{ij} x_{ij} \leq B_2$$

onde

$B_1 = \max(Z_1^{(1)}, Z_1^{(2)})$ Na primeira iteração, depois é o valor fornecido pelo utilizador

$B_2 = \max(Z_2^{(1)}, Z_2^{(2)})$ Na primeira iteração, depois é o valor fornecido pelo utilizador

$\lambda \in [0, 1]$ Lambda é um valor fixo *a priori*

E ainda as restantes variáveis e constantes anteriormente definidas.

Por um resultado referido em (Fonseca, 2006), a solução óptima desta função composta se for admissível para o problema inicial então é uma solução não dominada (ou eficiente). No SAD, apresenta-se o ponto assim obtido no gráfico, e aguarda-se novos limites de pesquisa ou a conclusão do ciclo interactivo de pesquisa.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.5 Os módulos do Sistema de Apoio à Decisão

5.5.1 Gestão de Ficheiros

Para guardar os dados, parâmetros e soluções do SAD, decidiu-se usar o formato XML. Esta formatação, apesar de dispendiosa em termos de espaço em memória, permite manter a informação estruturada de modo a que possa facilmente ser lida por diferentes aplicações. Um uso básico, é abertura de um ficheiro em formato XML num simples editor de texto. No Anexo B.1. encontra-se um exemplo de ficheiro de dados do SAD. Esses dados foram produzidos a partir de um software de folha-de-cálculo após edição e formatação adequada.

Neste módulo existirá, numa fase de desenvolvimento mais avançada, um “Assistente” que aconselhará ao agente de decisão, o modelo mais recomendado para o conjunto de dados e problema em questão.

5.5.2 Problema: Criação, Parametrização, Resolução, Geração de Problema Aleatório

A criação de um conjunto de dados é feita a partir do Editor de Dados. Basta iniciar a introdução de dados linha a linha, em cada grupo dos Clientes e dos Serviços. Note-se que os campos ID são incrementados a partir do maior valor existente. Esse campo não permitirá valores repetidos.

Neste grupo de módulos, existe também o Gerador de Problema Aleatório, que cria um conjunto de dados de acordo com os parâmetros definidos. O agente de decisão tem a possibilidade de gerar as coordenadas em diferentes representações; Cartesiana, Graus Decimais ou Coordenadas Geográficas (Graus:Minutos:Segundos) e Latitude.

Os diferentes parâmetros que modelam o problema podem ser alterados pelo agente de decisão. No entanto, existem algumas protecções contra erros de operação em alguns deles. Por exemplo, não é possível ter um problema sem critério (por absurdo que isso fosse), nem ter distâncias limites sem se activar essas restrições.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

A resolução do problema inicia-se, executando o algoritmo interactivo já descrito. O agente de decisão terá duas alternativas de selecção de subregiões de pesquisa de soluções. Explicitamente indicando os valores limite para as funções objectivo, ou seleccionando no gráfico os respectivos intervalos de variação.

5.5.3 Resultados: Visualização, Soluções e Produção de Relatórios

A partir do momento em que existem dados na memória, o agente de decisão pode visualizar os Clientes e Serviços. Para melhor visualização, quando já foram pesquisadas soluções, os serviços instalados aparecem em cor diferente. Todos os objectos podem ser movidos no plano para melhor visualização. Estas operações não alteram os dados.

A janela da tabela das soluções é apresentada quando se termina o processo interactivo, ou por via desta opção do Menu. Para além dos valores das funções objectivo, tem-se o número de serviços instalados, os coeficientes de Gini e a possibilidade de tornar activa uma qualquer solução, visualizá-la ou guardar em ficheiro.

Quando se selecciona a Produção de Relatórios, o SAD grava de imediato num ficheiro XHTML os resultados, apresentando-o no *browser*. O relatório apresenta todas as soluções eficientes encontradas, os respectivos valores das funções objectivo, os coeficientes de Gini para os dois critérios e as afectações Cliente – Serviço.

5.6 Fluxo de acções por parte do utilizador

Nesta secção descreve-se o fluxo de acções usual.

O utilizador inicia a introdução de dados pelo Editor de Dados, ou abrindo um ficheiro já existente. Poderá visualizar o grafo dos Clientes e Serviços que ajuda a confirmar a correcção dos dados. A definição do modelo, constantes e restrições é feita acedendo aos Parâmetros. Procede à Resolução do problema, clicando com o rato nas áreas de pesquisa. Essas áreas vão sendo reduzidas à medida que se encontram soluções não-dominadas, claramente limitadas por rectângulos coloridos. Também pode, se o desejar,

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

introduzir valores de pesquisa para as duas funções objectivo. Após terminar a pesquisa, o utilizador pode produzir um Relatório. Também pode seleccionar uma solução e visualizar o grafo correspondente, assim como guardar essa solução num ficheiro XML juntamente com os dados e parâmetros.

5.7 Exemplo de utilização

Apresenta-se adiante um exemplo de utilização do SAD, onde se simulou um problema de localização de serviços obnóxios sem restrições de capacidade. Para representar os clientes usaram-se coordenadas correspondentes às localidades sede de Concelho do Distrito de Aveiro. Os valores da Procura (*Demand*) correspondem à população residente por Concelho (dados obtidos a partir da página da Associação Nacional de Municípios, em <http://www.anmp.pt>). Os cinco potenciais locais de instalação de serviços são fictícios. A listagem desse ficheiro de dados encontra-se no Anexo B.1.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.7.1 A imagem seguinte apresenta o programa após se ter aberto o ficheiro de dados.

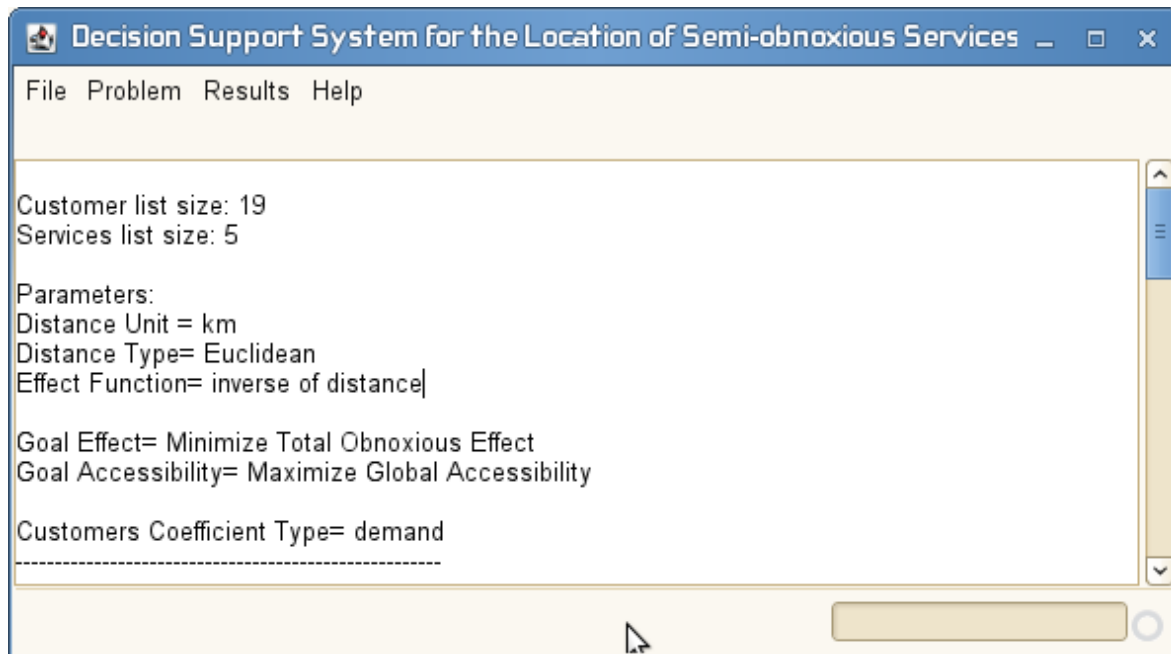
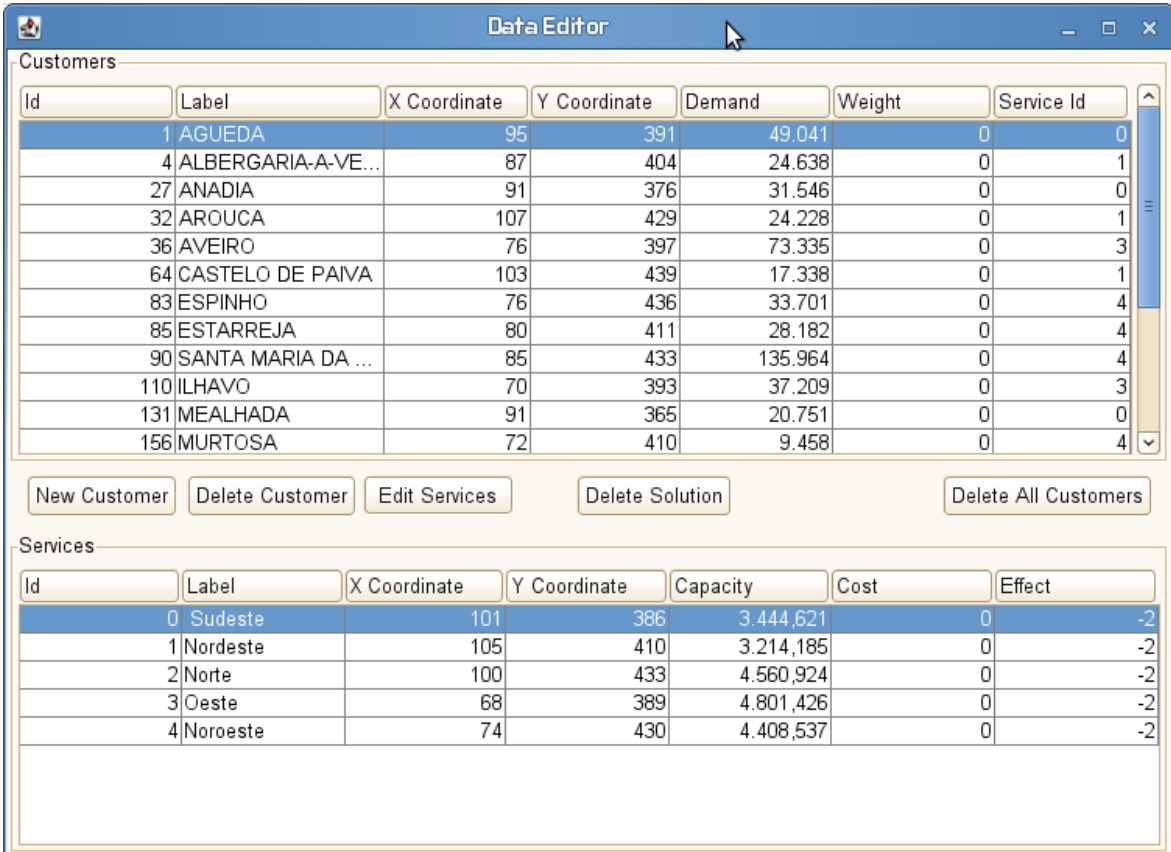


Figura 4: A janela principal do SADLoKZ

São apresentados os parâmetros interpretados a partir do ficheiro XML. Este relatório também é exibido após se aceder à janela de diálogo *Parameters*.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.7.2 Em qualquer momento se pode aceder à tabela de dados, para criar, editar ou apagar, Clientes ou Serviços.



The screenshot shows the 'Data Editor' application window. It contains two data tables. The 'Customers' table has columns: Id, Label, X Coordinate, Y Coordinate, Demand, Weight, and Service Id. The 'Services' table has columns: Id, Label, X Coordinate, Y Coordinate, Capacity, Cost, and Effect. Below the tables are several buttons: 'New Customer', 'Delete Customer', 'Edit Services', 'Delete Solution', and 'Delete All Customers'.

Id	Label	X Coordinate	Y Coordinate	Demand	Weight	Service Id
1	AGUEDA	95	391	49.041	0	0
4	ALBERGARIA-A-VE...	87	404	24.638	0	1
27	ANADIA	91	376	31.546	0	0
32	AROUCA	107	429	24.228	0	1
36	AVEIRO	76	397	73.335	0	3
64	CASTELO DE PAIVA	103	439	17.338	0	1
83	ESPINHO	76	436	33.701	0	4
85	ESTARREJA	80	411	28.182	0	4
90	SANTA MARIA DA ...	85	433	135.964	0	4
110	ILHAVO	70	393	37.209	0	3
131	MEALHADA	91	365	20.751	0	0
156	MURTOSA	72	410	9.458	0	4

Id	Label	X Coordinate	Y Coordinate	Capacity	Cost	Effect
0	Sudeste	101	386	3.444,621	0	-2
1	Nordeste	105	410	3.214,185	0	-2
2	Norte	100	433	4.560,924	0	-2
3	Oeste	68	389	4.801,426	0	-2
4	Noroeste	74	430	4.408,537	0	-2

Figura 5: O Editor de Dados

Pode-se alternar a activação dos dados dos Serviços ou dos Clientes, usando o botão *Edit Services* ou *Edit Customers*, ou simplesmente clicando numa célula correspondente. Todas as colunas permitem ordenar os dados, alternando entre ordem ascendente ou decrescente. Basta clicar no título da coluna desejada.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.7.3 Antes de resolver o problema pode-se ajustar os parâmetros disponíveis.

Separador das Constantes:

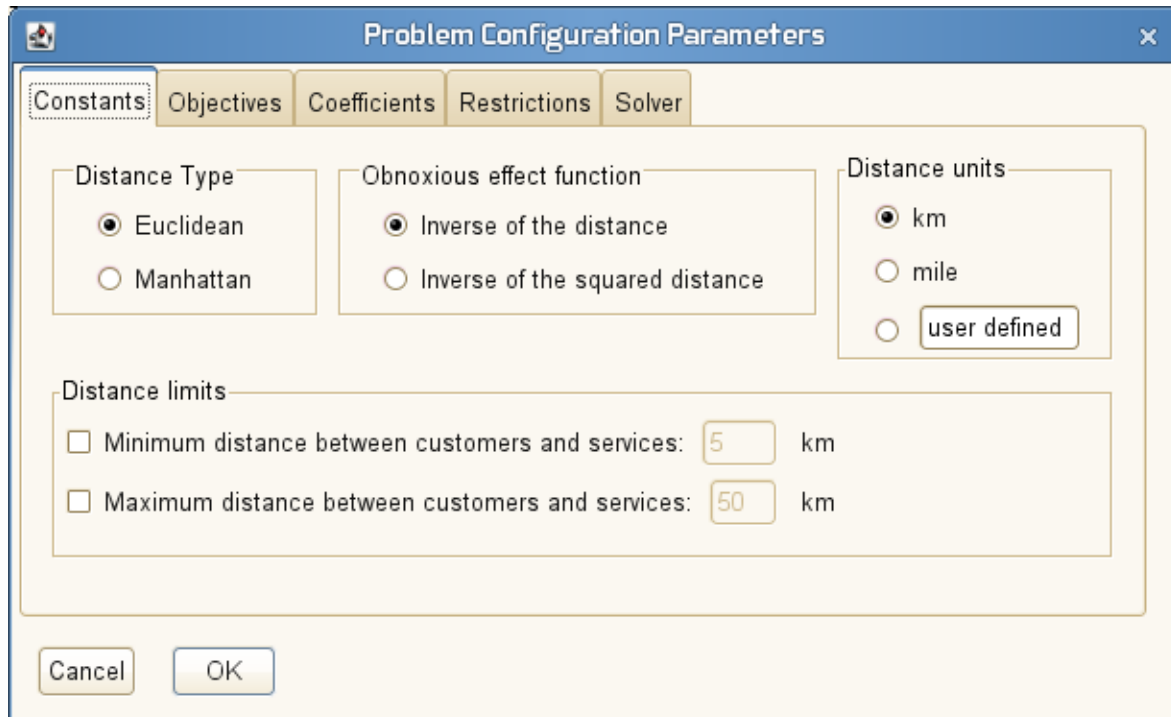


Figura 6: A janela dos Parâmetros no separador das Constantes

Pequenas caixas de texto com informação adicional, aparecem quando se deixa o ponteiro durante alguns segundos sobre os diferentes parâmetros.

Repare-se que neste exemplo, não se está a condicionar o problema com limites sobre as distâncias.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

Separador dos Objectivos:

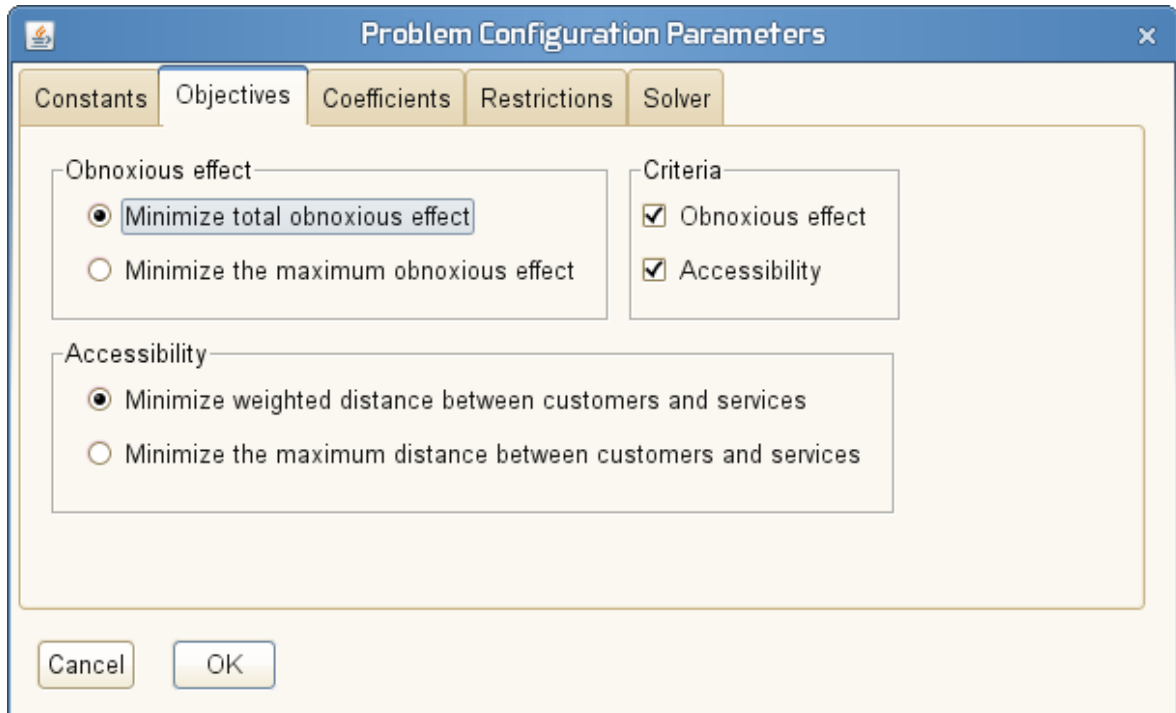


Figura 7: A janela dos Parâmetros no separador dos Objectivos

Na definição dos Objectivos existe um método de validação que não permite desactivar a função objectivo; tem que estar definida pelo menos uma. É pois possível resolver um problema monocritério (que pode servir para validar o modelo).

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

Separador dos Coeficientes:

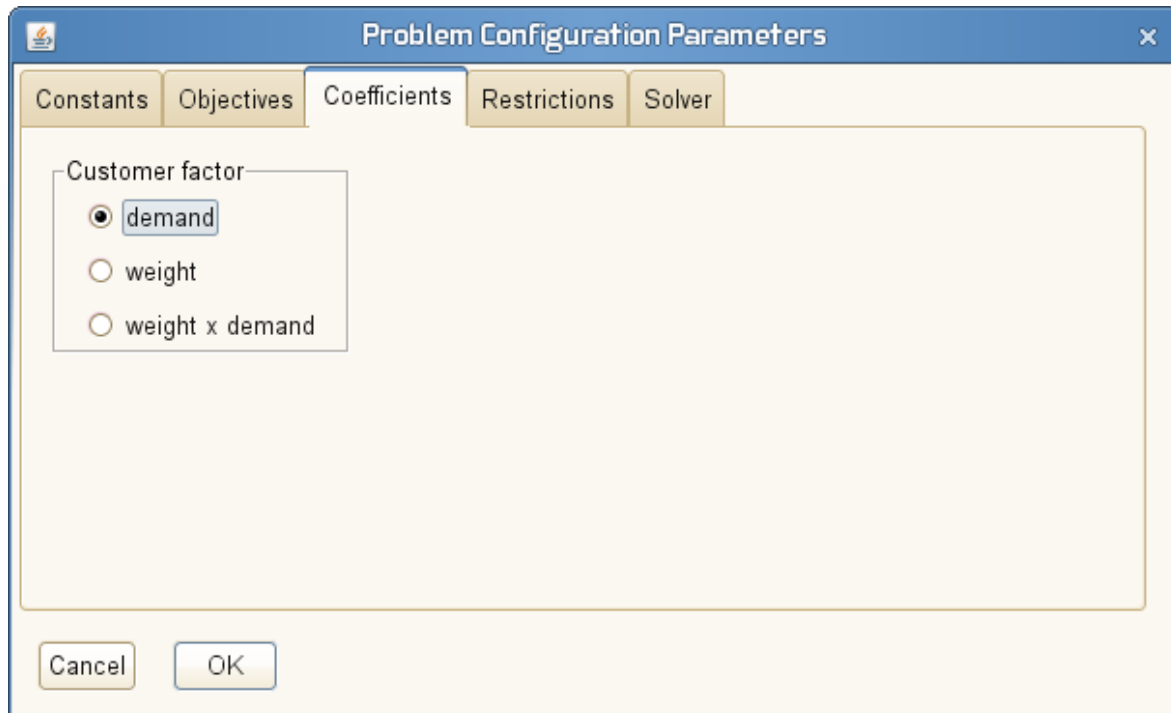


Figura 8: A janela dos Parâmetros no separador dos Coeficientes

Nos dados deste exemplo, todos os pesos são nulos, portanto não faz sentido usar as outras opções. No entanto, é possível usar pesos para temporariamente condicionar a influência de um Cliente, positiva ou negativamente. Por exemplo, tendo todos os pesos unitários, excepto o do Cliente em que se queira anular a influência, colocando este a zero, e usando o coeficiente *weight x demand*. O contrário tem-se, usando um valor consideravelmente grande no peso desse Cliente e mantendo os restantes com pesos unitários.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

Separador das Restrições:

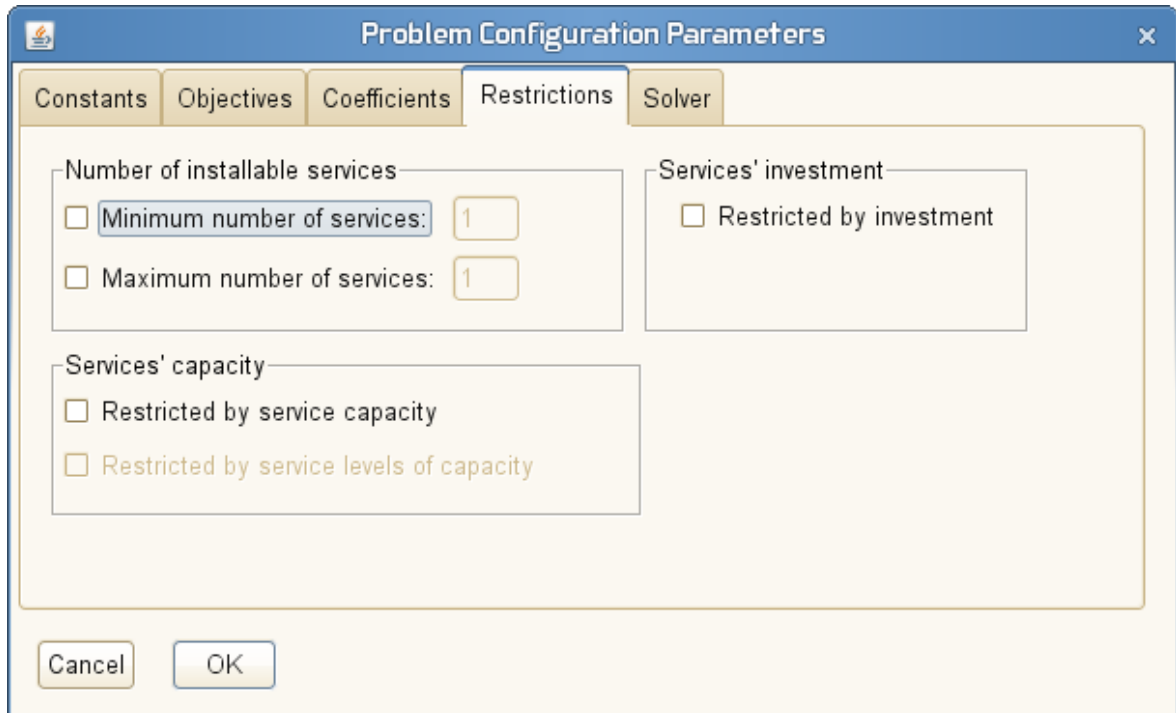


Figura 9: A janela dos Parâmetros no separador das Restrições

Neste separador pode-se activar restrições adicionais sobre os Serviços. Note-se que a entrada de dados para as restrições por investimento e por capacidade, terá que ser feita por edição do ficheiro de dados XML. Estas restrições e funcionalidade não estão ainda implementadas no SADLoKZ.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

Separador do Solver:

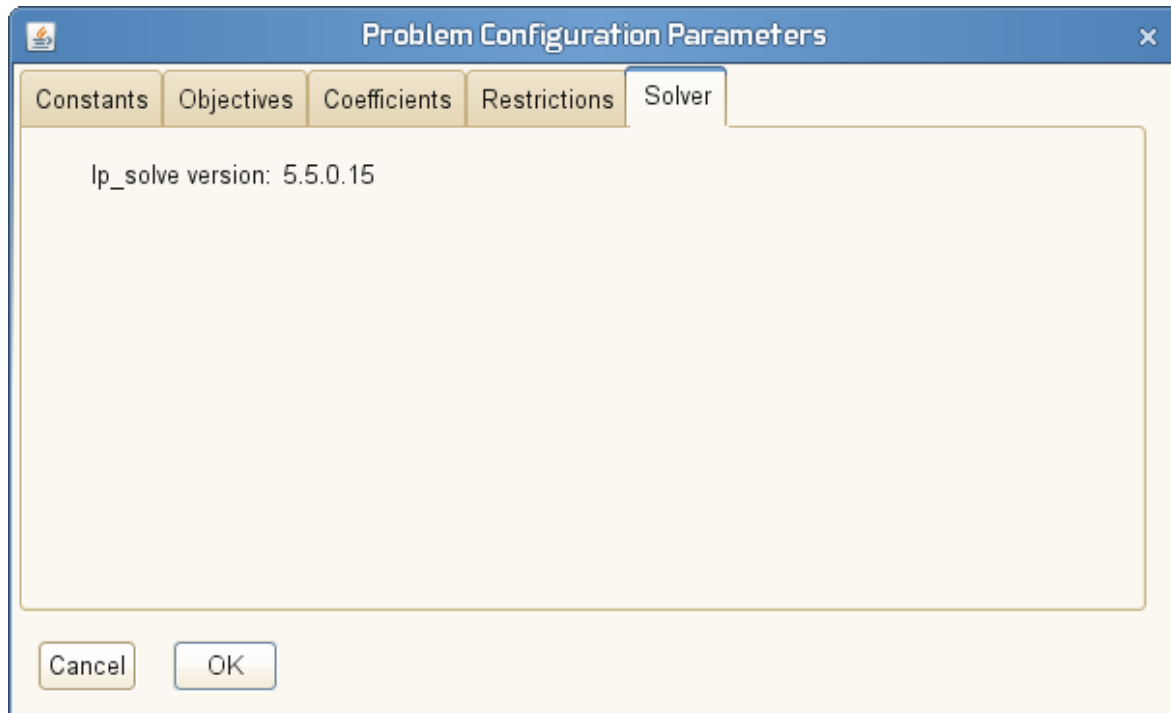


Figura 10: A janela dos Parâmetros no separador do Solver

Este separador apresenta apenas a versão da biblioteca de software do LP_Solve. Presentemente serve para confirmar que o SAD encontrou a biblioteca de software, condição necessária para o software funcionar. Aqui poderá ser futuramente implementado o uso de outras bibliotecas de software seleccionáveis pelo utilizador.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.7.4 Segue-se a resolução do problema.

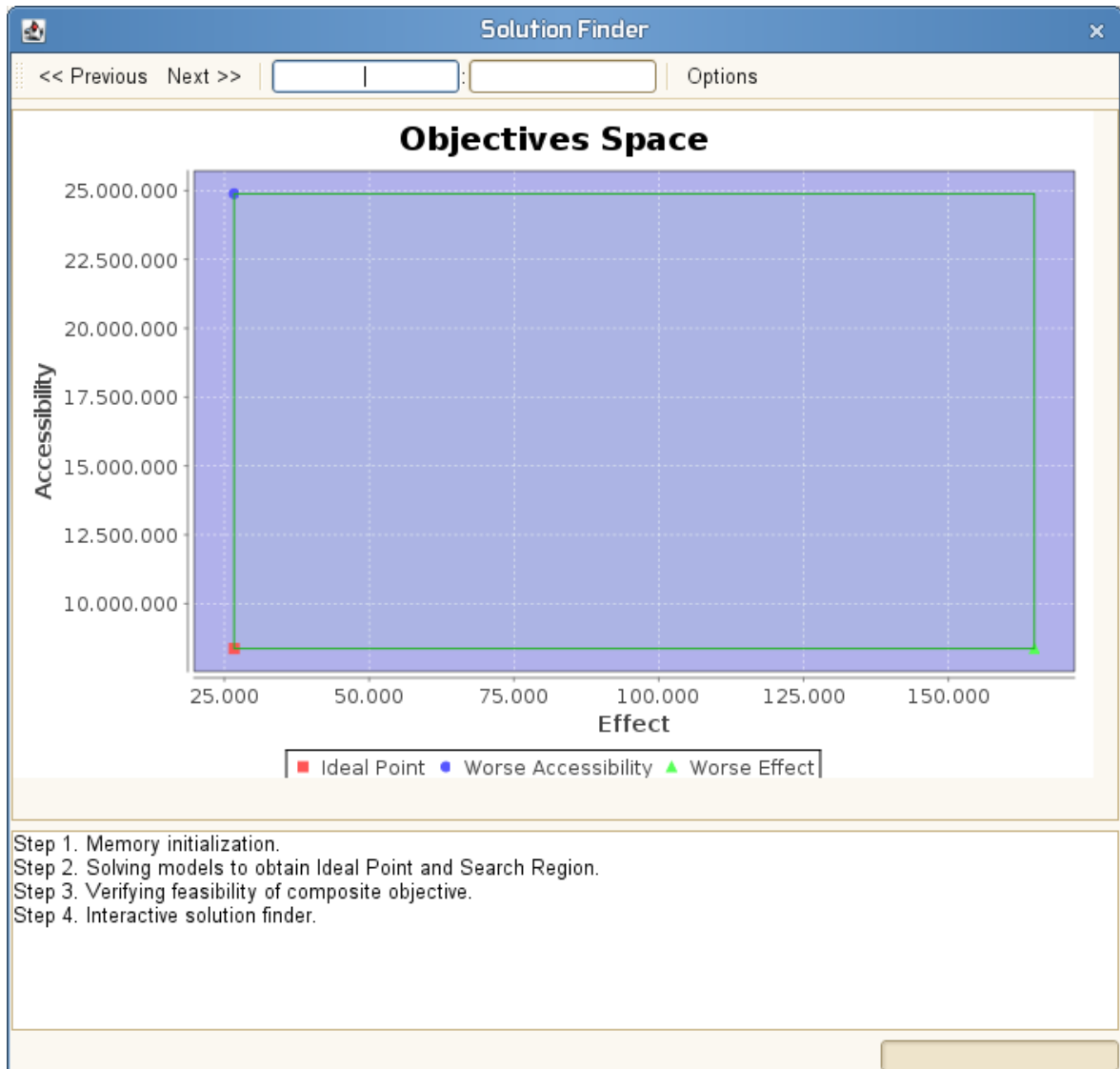


Figura 11: A janela da Resolução interactiva do problema. Antes de se iniciar a pesquisa de soluções eficientes.

Nesta fase da execução, o método interactivo já foi inicializado, e o sistema aguarda que o utilizador indique um ponto que limita a região de pesquisa de soluções eficientes.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.7.5 Janela com as soluções eficientes encontradas.

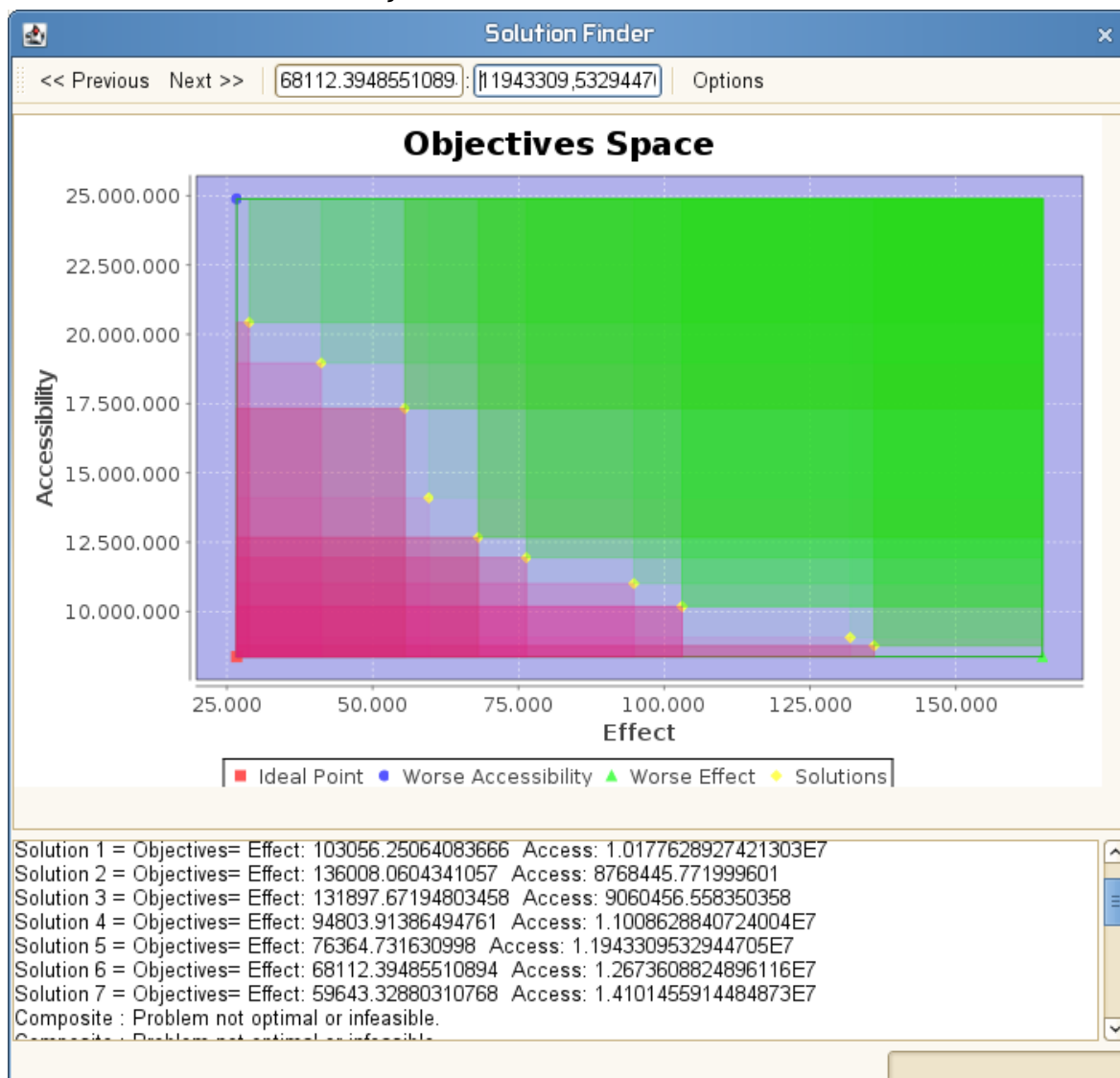
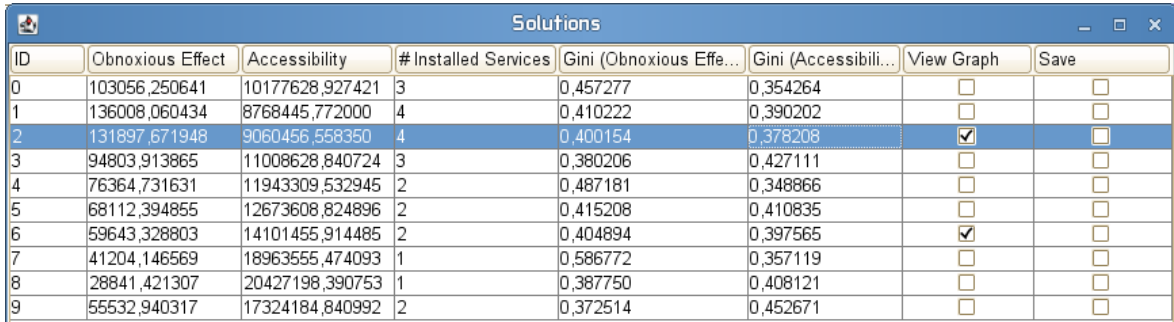


Figura 12: A janela da Resolução interactiva do problema. Término da pesquisa de soluções eficientes.

Neste momento da execução do programa, clicando em *Next >>* é apresentada a janela com a tabela das soluções eficientes encontradas. Note-se que, pelo menos em uma vez, foi feita uma pesquisa numa região onde não se encontrou solução admissível ou ótima para o problema com a função composta e pesada com pesos de soma unitária.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.7.6 A qualquer momento pode-se visualizar a tabela das soluções.



ID	Obnoxious Effect	Accessibility	# Installed Services	Gini (Obnoxious Effe...	Gini (Accessibili...	View Graph	Save
0	103056,250641	10177628,927421	3	0,457277	0,354264	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	136008,060434	8768445,772000	4	0,410222	0,390202	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	131897,671948	9060456,558350	4	0,400154	0,378208	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	94803,913865	11008628,840724	3	0,380206	0,427111	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	76364,731631	11943309,532945	2	0,487181	0,348866	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	68112,394855	12673608,824896	2	0,415208	0,410835	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	59643,328803	14101455,914485	2	0,404894	0,397565	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	41204,146569	18963555,474093	1	0,586772	0,357119	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	28841,421307	20427198,390753	1	0,387750	0,408121	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	55532,940317	17324184,840992	2	0,372514	0,452671	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 13: A janela da tabela das soluções.

Todas as colunas permitem ordenar os dados, alternando entre ordem ascendente ou decrescente. Basta clicar no título da coluna desejada.

Ao se marcar uma solução com *Save*, esta passa a ser a solução activa no editor de dados e surge a janela de diálogo para gravar os dados e parâmetros em ficheiro.

Activando *View Graph* é apresentado o grafo correspondente à solução.

Note-se que foram visualizadas as soluções 2 e 6, que se apresentam a seguir.

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.7.7 A qualquer momento pode-se visualizar a representação gráfica dos Clientes, Serviços e respectivas afectações.

Solução 2:

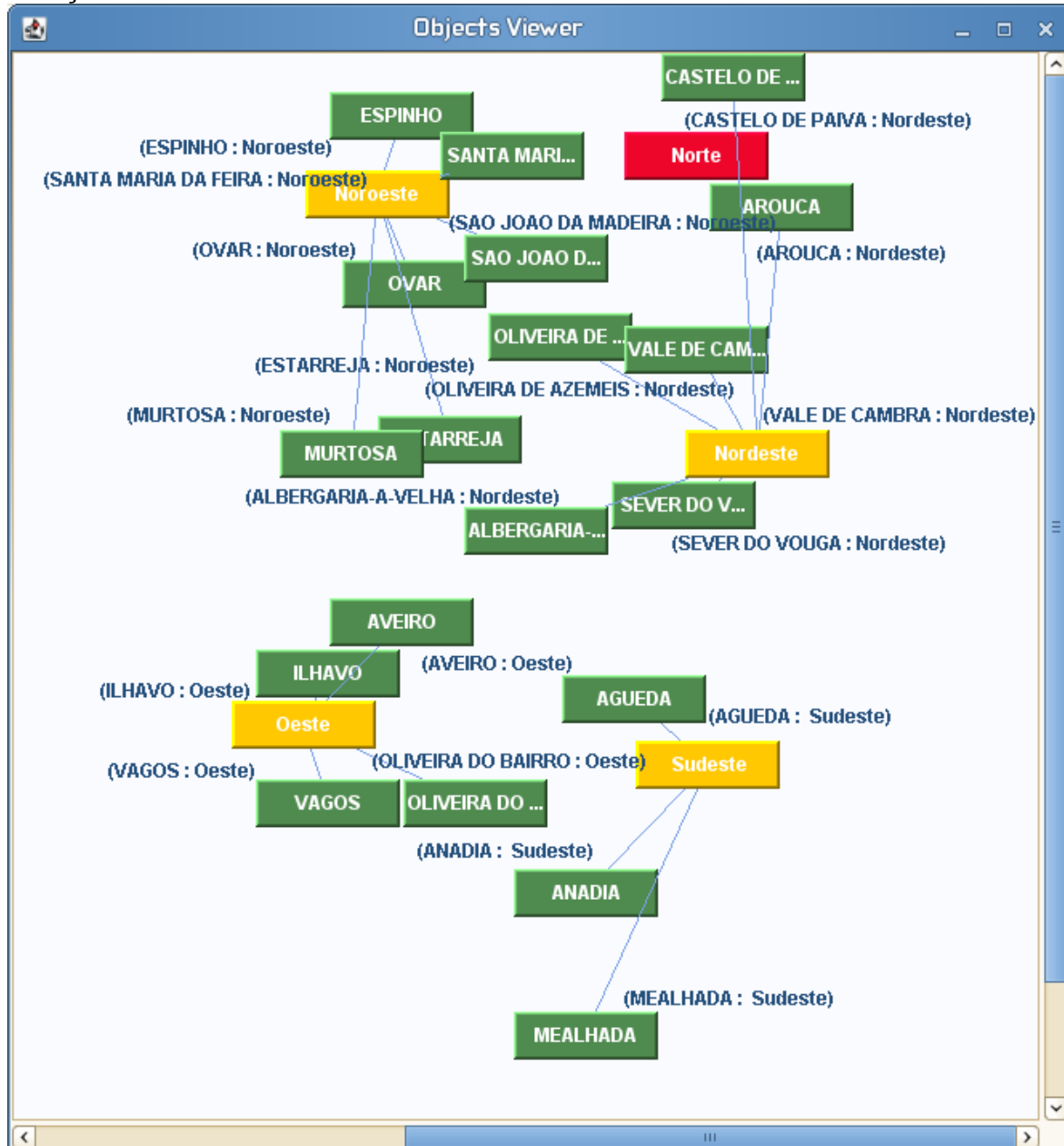


Figura 14: A janela de Visualização de objectos (solução 2)

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

Solução 6:

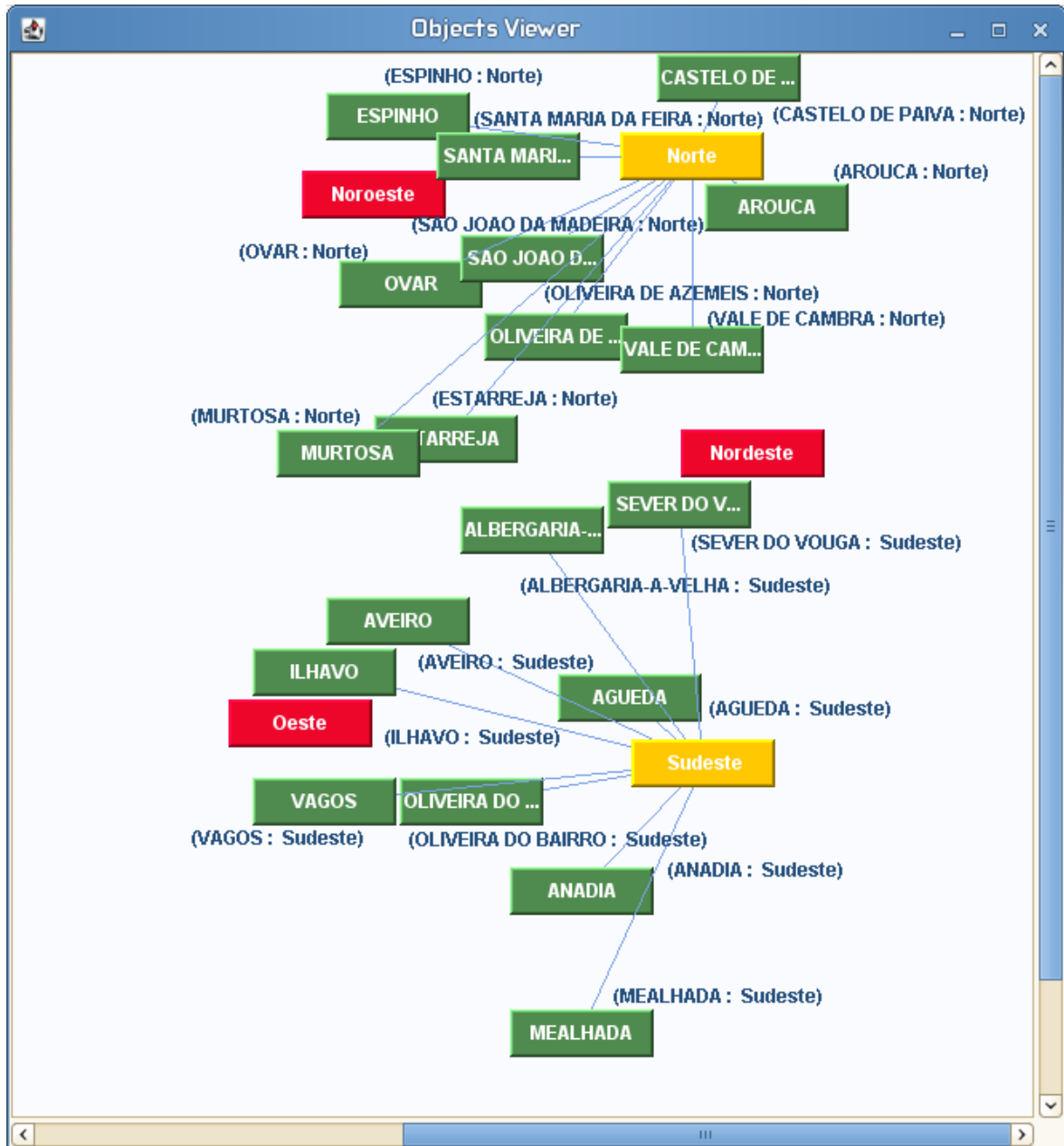


Figura 15: A janela de Visualização de objectos (solução 6)

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

5.7.8 Para melhor análise produz-se um Relatório (apenas se mostra parte).
SADLoKZ Report

Problem Information:

Number of Customers: 19

Number of Services: 5

Solutions:

Solution Number	Effect	Accessibility	Equitability (Ginni Coefficient)		No. Services	Allocation
			Effect	Accessibility		
0	103056,250641	10177628,927421	0,457277	0,354264	3	AGUEDA : Sudeste ALBERGARIA-A-VELHA : Sudeste ANADIA : Sudeste AROUCA : Noroeste AVEIRO : Oeste CASTELO DE PAIVA : Noroeste ESPINHO : Noroeste ESTARREJA : Noroeste SANTA MARIA DA FEIRA : Noroeste ILHAVO : Oeste MEALHADA : Sudeste MURTOSA : Noroeste OLIVEIRA DE AZEMEIS : Noroeste OLIVEIRA DO BAIRRO : Oeste OVAR : Noroeste SAO JOAO DA MADEIRA : Noroeste SEVER DO VOUGA : Sudeste VAGOS : Oeste

5 Desenvolvimento e caracterização do Sistema de Apoio à Decisão

Solution Number	Effect	Accessibility	Equitability (Ginni Coefficient)		No. Services	Allocation
			Effect	Accessibility		
						VALE DE CAMBRA : Noroeste

5.8 Síntese

Neste capítulo apresentou-se o protótipo do Sistema de Apoio à Decisão (SAD).

Abordaram-se detalhes do seu desenvolvimento e modelização, assim como pormenores dos seus módulos.

Destacou-se o algoritmo interactivo de selecção de soluções eficientes, por este ser a funcionalidade central do SAD, e por haver poucos casos de utilização desse método noutros softwares.

Finalizou-se com a apresentação de um exemplo de utilização do SAD, com dados simulados e para o modelo de localização de serviços semiobnóxios sem restrições de capacidade. Dos resultados obtidos escolheram-se duas soluções eficientes, uma com quatro Serviços instalados e outra com dois Serviços instalados. A que tem dois Serviços instalados tem um valor para a Acessibilidade cerca de duas vezes inferior ao da outra solução. No entanto tem um valor superior em cerca de 50000 unidades à outra solução. Nestas duas soluções os coeficientes de Gini para os dois critérios são muito semelhantes não servindo muito para ajudar ao decisor. Assim é o objectivo de um SAD, deixar a palavra final para o agente de decisão. Espera-se que melhor informado sobre o problema de Localização de Serviços Semiobnóxios que terá em mãos para resolver.

6 Conclusões

6 Conclusões

Nesta dissertação apresentou-se o problema da Localização de Serviços Semiobnóxios (LSS), em que existem dois objectivos contraditórios. Um que se caracteriza por força de atracção, que tem a componente desejável e outro que tem uma força de repulsão pois tem uma componente indesejável ou obnóxio.

Apresentou-se resumos de artigos sobre o problema LSS, mostrando como é variada a problemática, assim como as diferentes abordagens para os resolver. Os agentes de decisão não dispõem de muitas ferramentas informáticas para apoio a este tipo de problemas. Um processo frequente, é o de agregar os diferentes critérios numa função utilidade que é fácil de resolver pelos processos convencionais. Mas que pode ser uma simplificação muito grande do problema real.

Os problemas estudados com vista em criar o protótipo de Sistema de Apoio à Decisão (SAD) foram apresentados na tese de doutoramento da Professora Maria da Conceição Fonseca, mas não se implementava um software de uso generalizado e interactivo. Assim, desenhou-se o SAD de modo a ser intuitivo e eficiente em apresentar soluções não dominadas de acordo com as escolhas das regiões de pesquisa do agente de decisão. O SAD proposto aborda os problemas da localização de serviços semiobnóxios, sem e com limitações de capacidade, com limitações de capacidade por níveis e com restrições no investimento. Deste estudo resultou a apresentação de uma proposta para um Sistema de Apoio à Decisão, que usa métodos interactivos para guiar os agentes de decisão na escolha de soluções eficientes.

O protótipo do SAD permite reduzir o número de soluções a pesquisar, ou pelo contrário encontrar todas as soluções eficientes, se o agente de decisão assim o entender.

6 Conclusões

6.1 Limitações do protótipo do Sistema de Apoio à Decisão

Como o protótipo do SAD foi desenvolvido não recorrendo a software comercial, a interligação com um solver externo, como por exemplo o CPLEX, não foi efectuada.

Problemas de escala nas funções objectivo, ou casos de grande dimensão, vão falhar por causa da instabilidade numérica do solver *Open Source* utilizado. Apesar de serem conhecidos esses problemas e como os contornar, não foram feitos, por agora, esforços nesse sentido.

A parte de visualização de dados não permite a colocação de mapas como fundo dos objectos gráficos, nem de exportar os resultados para formatos gráficos como por exemplo, PNG ou SVG.

O protótipo não contempla a execução de módulos externos, que possam por exemplo abordar os modelos de localização contínua em Rede e no espaço Euclidiano. Também é limitativa a simplificação dos custos dos caminhos mais curtos.

O programa foi desenhado para a língua Inglesa e ainda não está adaptado ao Português.

6.2 Desenvolvimento futuro

O desenvolvimento futuro do SAD passa necessariamente por reduzir ou eliminar as limitações atrás referidas. Num futuro mais próximo, será resolvida a melhoria da parte da visualização.

Como os problemas de localização estão normalmente ligados aos de traçamento de rotas, mas não no caso de serviços semiobnóxios, parece interessante adaptar o algoritmo interactivo a aplicações de localização-afecção de rotas.

6 Conclusões

6.3 Avaliação dos objectivos conseguidos

Os agentes de decisão podem agora contar com mais um SAD, apesar de ainda em protótipo, para os auxiliar a escolher soluções eficientes no problema da localização de serviços semiobnóxios.

O SAD foi desenhado a pensar na simplicidade de utilização, e apesar disso, pelos métodos que usa, é eficaz pois permite encontrar todas as soluções eficientes nos problemas em questão.

Pensamos ter conseguido apresentar, ainda que numa forma resumida, o estado actual do conhecimento sobre o problema da localização de serviços semiobnóxios.

Glossário de termos e abreviaturas

A Glossário de termos e abreviaturas

AF

Aggregating Function.

BAGAL

Método gráfico de pesquisa de soluções. Do Inglês, *Best AGAINst the Least*.

BSL

Bicriterion Semi-obnoxious Location.

BSSS

Big Square Small Square.

CCA

Crómio, Cobre e Arsénio no tratamento de madeiras.

CPLEX

Software de otimização em programação matemática. O nome completo é “*IBM ILOG CPLEX Optimizer*”.

Diagrama de Voronoi

É um diagrama em que um conjunto de pontos finitos e distintos estão limitados por polígonos de modo a que estejam mais perto uns dos outros, em termos de distâncias Euclidianas. Ver em (Ohsawa, et al 2005) e (Gomes, 2004).

DSS

Decision Support System, ou Sistema de Apoio à Decisão (SAD), ver em <http://www.informationbuilders.com/decision-support-systems-dss.html>.

EU

Environmental Utility.

GPL

GNU General Public License version 2 – Licença de *software* que permite o uso livre do código fonte e programas. Ver em <http://www.gnu.org/licenses/gpl-2.0.html>.

ID

Identificação.

IDE

Integrated Development Environment, ver por exemplo em <http://www.netbeans.org/>.

Glossário de termos e abreviaturas

IO

Investigação Operational.

LSS

Localização de Serviços Semiobnoxios ou Semi-desejáveis.

MSNLP

Multicriteria Semi-Obnoxious Network Location Problems.

OR

Operations Research.

PLSB

Problema de Localização Simples Bicritério.

PNG

Portable Network Graphics.

PPLB

Problema de p-Localização Bicritério.

PSO

Particle Swarm Optimization.

SAD

Sistema de Apoio Decisão, ver DSS.

SADLoKZ

Nome do Sistema de Apoio à Decisão estudado nesta dissertação.

SIG

Sistema de Informação Geográfica.

SOM

Self-Organizing Maps.

SVG

Scalable Vectorial Graphics.

TC

Transportation Costs.

UML

Unified Modeling Language, ver em ► <http://www.uml.org/>.

Glossário de termos e abreviaturas

XHTML

eXtensible Hypertext Markup Language.

XML

Extensible Markup Language, ver em ► <http://www.w3.org/XML/>.

XP

Extreme Programming, ver em ► <http://www.extremeprogramming.org/>.

Listagens

B Listagens

Este anexo contém listagens de código e de ficheiros de dados.

B.1 O ficheiro de dados: distrito_Aveiro.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!-- This is a SADLoKZ application file.
      By Hélio Guilherme in March 2008.
      There are three possible sections:
          Parameters - Which contains the problem definitions,
          Customers  - Which contains the customers data,
          Services   - Which contains the services data.

      The last solved state is preserved together with the data. -->
<SADLoKZ>

<!-- Parameters section START -->
<Parameters>
  <Constants>
    <distType>e</distType>
    <distUnit>km</distUnit>
    <minD>>null</minD>
    <maxD>>null</maxD>
    <effectFunction>l</effectFunction>
  </Constants>
  <Objectives>
    <goalEffect>t</goalEffect>
    <goalAccess>t</goalAccess>
  </Objectives>
  <Coefficients>
    <!-- demand = d, weight = w, weight*demand=wd -->
    <customerFactor>d</customerFactor>
  </Coefficients>
  <Restrictions>
    <minNumServices>>null</minNumServices>
    <maxNumServices>>null</maxNumServices>
    <byCapacity>>false</byCapacity>
    <byInvestment>>false</byInvestment>
    <!-- If true, Services data must include <level>, minservice[level]
    and maxservice[level] -->
    <byLevel>>false</byLevel>
  </Restrictions>
  <Solver>
    <!-- lp_solve 5.5.0.15 version was used. --> <!--
    http://lpsolve.sourceforge.net --> </Solver>
  </Parameters>
<!-- Parameters section END -->

<!-- Customers section START -->
```

Listagens

```
<Customers>
  <customer id="1" label="AGUEDA">
    <coordinates>
      <xcoord>95.0</xcoord>
      <ycoord>391.0</ycoord>
    </coordinates>
    <demand>49041.0</demand>
    <weight>1.0</weight>
    <serviceid>3</serviceid>
  </customer>
  <customer id="4" label="ALBERGARIA-A-VELHA">
    <coordinates>
      <xcoord>87.0</xcoord>
      <ycoord>404.0</ycoord>
    </coordinates>
    <demand>24638.0</demand>
    <weight>1.0</weight>
    <serviceid>4</serviceid>
  </customer>
  <customer id="27" label="ANADIA">
    <coordinates>
      <xcoord>91.0</xcoord>
      <ycoord>376.0</ycoord>
    </coordinates>
    <demand>31546.0</demand>
    <weight>1.0</weight>
    <serviceid>3</serviceid>
  </customer>
  <customer id="32" label="AROUCA">
    <coordinates>
      <xcoord>107.0</xcoord>
      <ycoord>429.0</ycoord>
    </coordinates>
    <demand>24228.0</demand>
    <weight>1.0</weight>
    <serviceid>1</serviceid>
  </customer>
  <customer id="36" label="AVEIRO">
    <coordinates>
      <xcoord>76.0</xcoord>
      <ycoord>397.0</ycoord>
    </coordinates>
    <demand>73335.0</demand>
    <weight>1.0</weight>
    <serviceid>0</serviceid>
  </customer>
  <customer id="64" label="CASTELO DE PAIVA">
    <coordinates>
      <xcoord>103.0</xcoord>
      <ycoord>439.0</ycoord>
    </coordinates>
    <demand>17338.0</demand>
```

Listagens

```
<weight>1.0</weight>
<serviceid>4</serviceid>
</customer>
<customer id="83" label="ESPINHO">
  <coordinates>
    <xcoord>76.0</xcoord>
    <ycoord>436.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>33701.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>4</serviceid>
</customer>
<customer id="85" label="ESTARREJA">
  <coordinates>
    <xcoord>80.0</xcoord>
    <ycoord>411.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>28182.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>0</serviceid>
</customer>
<customer id="90" label="SANTA MARIA DA FEIRA">
  <coordinates>
    <xcoord>85.0</xcoord>
    <ycoord>433.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>135964.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>4</serviceid>
</customer>
<customer id="110" label="ILHAVO">
  <coordinates>
    <xcoord>70.0</xcoord>
    <ycoord>393.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>37209.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>3</serviceid>
</customer>
<customer id="131" label="MEALHADA">
  <coordinates>
    <xcoord>91.0</xcoord>
    <ycoord>365.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>20751.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>3</serviceid>
</customer>
<customer id="156" label="MURTOSA">
  <coordinates>
    <xcoord>72.0</xcoord>
    <ycoord>410.0</ycoord>
```

Listagens

```
</coordinates>
<demand>9458.0</demand>
<weight>1.0</weight>
<serviceid>3</serviceid>
</customer>
<customer id="166" label="OLIVEIRA DE AZEMEIS">
  <coordinates>
    <xcoord>89.0</xcoord>
    <ycoord>419.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>70722.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>3</serviceid>
</customer>
<customer id="168" label="OLIVEIRA DO BAIRRO">
  <coordinates>
    <xcoord>82.0</xcoord>
    <ycoord>383.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>21164.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>4</serviceid>
</customer>
<customer id="171" label="OVAR">
  <coordinates>
    <xcoord>77.0</xcoord>
    <ycoord>423.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>55198.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>0</serviceid>
</customer>
<customer id="213" label="SAO JOAO DA MADEIRA">
  <coordinates>
    <xcoord>87.0</xcoord>
    <ycoord>425.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>21102.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>2</serviceid>
</customer>
<customer id="225" label="SEVER DO VOUGA">
  <coordinates>
    <xcoord>99.0</xcoord>
    <ycoord>406.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>13186.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>2</serviceid>
</customer>
<customer id="244" label="VAGOS">
  <coordinates>
```

Listagens

```
    <xcoord>70.0</xcoord>
    <ycoord>383.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>22017.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>0</serviceid>
</customer>
<customer id="245" label="VALE DE CAMBRA">
  <coordinates>
    <xcoord>100.0</xcoord>
    <ycoord>418.0</ycoord>
  </coordinates>
  <demand>24798.0</demand>
  <weight>1.0</weight>
  <serviceid>1</serviceid>
</customer>
</Customers>
<!-- Customers section END -->

<!-- Services section START -->
<Services>
  <service id="0" label="Sudeste">
    <coordinates>
      <xcoord>101.0</xcoord>
      <ycoord>386.0</ycoord>
    </coordinates>
    <capacity>3444.6210907628865</capacity>
    <cost>0.0</cost>
    <effect>0.0</effect>
  </service>
  <service id="1" label="Nordeste">
    <coordinates>
      <xcoord>105.0</xcoord>
      <ycoord>410.0</ycoord>
    </coordinates>
    <capacity>3214.1851695334162</capacity>
    <cost>0.0</cost>
    <effect>0.0</effect>
  </service>
  <service id="2" label="Norte">
    <coordinates>
      <xcoord>100.0</xcoord>
      <ycoord>433.0</ycoord>
    </coordinates>
    <capacity>4560.923805452581</capacity>
    <cost>0.0</cost>
    <effect>0.0</effect>
  </service>
  <service id="3" label="Oeste">
    <coordinates>
      <xcoord>68.0</xcoord>
      <ycoord>389.0</ycoord>
```

Listagens

```
</coordinates>
<capacity>4801.425782149529</capacity>
<cost>0.0</cost>
<effect>0.0</effect>
</service>
<service id="4" label="Noroeste">
  <coordinates>
    <xcoord>74.0</xcoord>
    <ycoord>430.0</ycoord>
  </coordinates>
  <capacity>4408.536530978901</capacity>
  <cost>0.0</cost>
  <effect>0.0</effect>
</service>
</Services>
<!-- Services section END -->
</SADLoKZ>
```


Listagens

Bibliografia

Bibliografia

(Ahluwalia, et al 2006) Poonam K. Ahluwalia, Arvind K. Nema. *Multi-objective reverse logistics model for integrated computer waste management*. Waste Management Research (2006) 24: 514. [acedido em 21-Jul-2007]

(Berman, et al 2006) Oded Berman, Qian Wang. *Locating a semi-obnoxious facility with expropriation*. Computers & Operations Research (2006) 35: 392 - 403. [acedido em 21-Jul-2007]

(Brimberg, et al 1998) Jack Brimberg, Henrik Juel. *A minisum model with forbidden regions for locating a semi-desirable facility in the plane*. Location Science (1998) 6: 109 - 120. [acedido em 21-Jul-2007]

(Carrizosa, et al 2002) Emilio Carrizosa, Eduardo Conde . *A fractional model for locating semi-desirable facilities on networks*. European Journal of Operational Research (2002) 136: 67-80. [acedido em 21-Jul-2007]

(Clímaco, et al 2003) João Namorado Clímaco, Carlos Henggeler Antunes, Maria João Gomes Alves. *Programação Linear Multiobjectivo*. (2003) : 6, 121.

(Coutinho-Rodrigues, et al 2004) João Coutinho-Rodrigues, João Clímaco, John Current. *Um Sistema de Apoio à Decisão Espacial Multiobjectivo para Problemas de Transporte de Resíduos Perigosos e Localização de Centrais de Tratamento*. (2004) 1: . [acedido em 21-Jul-2007]

(Fathali, 2006) Jafar Fathali. *A genetic algorithm for the p-median problem with pos/neg weights*. Applied Mathematics and Computation (2006) 183: 1071–1083. [acedido em 21-Jul-2007]

(Fernandes, et al 2005) Sérgio Fernandes, Maria Eugénia Captivo, João Clímaco. *Um Sistema de Apoio à Decisão para Análise de Problemas de Localização Bicritério*. (2005) 2: . [acedido em 21-Jul-2007]

(Fonseca, 2006) Fonseca, Maria da Conceição. *Modelos para o Problema de Localização de Serviços Semiobnoxios*. (2006) : . Tese de Doutoramento











Bibliografia

- (Gomes, 2004)** Helena Gomes. *Location Model for CCA-Treated Wood Waste Remediation Units*. (2004) : . [acedido em 21-Jul-2007] Dissertação de Mestrado
- (Hamacher, et al 2002)** Horst W. Hamacher, Martine Labbé, Stedan Nickel, Anders J. V. Skriver. *Multicriteria Semi-Obnoxious Network Location Problems (MSNLP) with Sum and Center Objectives*. *Annals of Operations Research* (2002) 110 1-4: 33-53. [acedido em 10-Abr-2007]
- (Melachrinoudis, 1999)** E. Melachrinoudis. *Bicriteria location of a semi-obnoxious facility*. *Computers & Industrial Engineering* (1999) 37: 581-593. [acedido em 21-Jul-2007]
- (Melachrinoudis, et al 2003)** Emanuel Melachrinoudis, Zaharias Xanthopoulos. *Semi-obnoxious single facility location in Euclidean space*. *Computers & Operations Research* (2003) 30: 2191–2209. [acedido em 21-Jul-2007]
- (Ohsawa, et al 2005)** Yoshiaki Ohsawa, Frank Plastria, Kazuki Tamura. *Push-Pull Partial Covering Problems*. (2005) : . [acedido em 19-Abr-2007]
- (Ohsawa, et al 2006)** Yoshiaki Ohsawa, Frank Plastria, Kazuki Tamura. *Euclidean Push-Pull Partial Covering Problems*. *Computers & Operations Research* (2006) 33 : 3566 – 3582. [acedido em 21-Jul-2007]
- (Skriver, et al 2002)** Anders J.V. Skriver, Kim Allan Andersen. *The bicriterion semi-obnoxious location (BSL) problem solved by an E-approximation*. *European Journal of Operational Research* (2002) 146: 517–528. [acedido em 21-Jul-2007]
- (Yapicioglu, et al 2007)** Yapicioglu, Haluk. *Solving the semi-desirable facility location problem using bi-objective particle swarm*. *European Journal of Operational Research* (2007) 1 : 733–749. [acedido em 21-Jul-2007]

Ficheiros anexados

Ficheiros anexados

Descrição dos ficheiros e pastas anexados

 cv_Hélio_Guilherme.pdf	Currículo Vitae de Hélio Guilherme
 Dissertação_Hélio_Guilherme.pdf	Esta Dissertação
 software	Pasta onde se encontra o SAD
 Exemplos	Ficheiros de exemplos e de apoio
 Linux	Preparado para os S.O. Linux
 SADLoKZ_32.zip	Programa e bibliotecas para 32bit
 SADLoKZ_64.zip	Programa e bibliotecas para 64bit
 Windows	Preparado para o S.O. Windows 32bit
 SADLoKZ.zip	Programa e bibliotecas
 SADLoKZ_src.zip	Arquivo com o código fonte

Acesso à informação anexada

A versão em papel desta dissertação deve conter uma bolsa com um CD-ROM nesta página.

A versão digital desta dissertação não contém esses anexos por causa do tamanho grande. Os ficheiros estarão disponíveis no sítio da Internet desta dissertação, ou apenas por solicitação ao autor.

