



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE SERVIÇO SOB UM ENFOQUE
MULTICRITÉRIO: PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DO MÉTODO
SMARTER**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO
POR**

YURI GAMA LOPES

Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida, PhD

RECIFE, DEZEMBRO / 2007



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

LOCALIZAÇÃO DE UNIDADES DE SERVIÇO SOB UM ENFOQUE MULTICRITÉRIO: PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DO MÉTODO SMARTER

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – como requisito parcial para obtenção de Grau em Engenharia de Produção.

RECIFE, DEZEMBRO / 2007

L86I

Lopes, Yuri Gama.

Localização de unidades de serviços sob um enfoque multicritério: proposta de utilização do método SMARTER / Yuri Gama Lopes. - Recife: O Autor, 2007.

ix, 55 folhas, il : figs., tabs.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Curso de Engenharia da Produção, 2007.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia da Produção. 2. Método SMARTER. 3. Aplicação Numérica. 5. Unidades de Serviços. I. Título.

UFPE

658.5

CDD (22. ed.)

BCTG/2008-005

“Um país se faz com homens e livros.”

Monteiro Lobato

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, por sua dedicação na educação de seus filhos. Esse foi o alicerce para construção de minhas atividades acadêmicas. Se há alguém responsável pela minha conclusão da graduação, o primeiro ciclo na minha formação profissional, são eles. Em nome deles, agradeço todos meus familiares. Obrigado.

Desde já, peço desculpas àqueles que não forem citados; são tantas pessoas que seria praticamente impossível deixar de cometer injustiças. Gostaria de registrar meus agradecimentos a quem, diretamente ou indiretamente, me ajudou nessa caminhada:

- Agradeço ao Prof. Adiel, por sua orientação neste trabalho e por todo convívio ao longo do curso, sempre contribuindo para minha formação profissional;
- À Profa. Ana Paula Cabral, por sua orientação durante a iniciação científica, por suas intervenções sempre pertinentes e pelo nosso ótimo convívio ao longo do curso;
- Aos demais professores, funcionários e alunos do DEP e da UFPE, que me ajudaram durante essa caminhada;
- Aos integrantes do GPSID, pelas amizades e experiências vividas, que tornaram nosso convívio sempre harmonioso;
- Aos meus amigos e amigas, que estiveram ao meu lado durante esse período, contribuindo de todas as formas.

RESUMO

Dentre os diversos tipos de decisão presentes durante o processo de planejamento e gestão empresarial, a decisão de localização de instalações é fator crítico para o desempenho da organização tanto em suas próprias atividades de negócio como no desempenho da empresa na cadeia de suprimentos na qual está inserida, o que envolve vários atributos: a satisfação/insatisfação de seus clientes, os custos logísticos e os ganhos/perdas operacionais advindos de instalações bem/mal localizadas. Particularmente, a localização de varejos/serviços envolve uma maior quantidade de fatores subjetivos, dificultando o uso de modelos de decisão tradicionais para o tratamento do problema de localização. Tais modelos, em sua maioria, apresentam problemas metodológicos em seus procedimentos de análise e cálculo; sobretudo na estruturação de preferências do decisor e nas etapas de agregação multiobjetivo. Este trabalho procura, portanto, estruturar metodologicamente a tomada de decisão multicritério quanto a localização de unidades de serviço. Para isso, propõe a utilização do método SMARTER (Simple Multi-Attribute Rating Technique using Exploiting Rankings) para resolução da questão e descreve uma aplicação numérica e análise de sensibilidade de modo a aumentar a robustez da decisão indicada pelo método.

Palavras-chave: *localização de instalações, apoio multicritério a decisão, SMARTER.*

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Justificativa.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo geral	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
1.3	Estrutura do trabalho	2
2	Base Conceitual do problema de localização de instalações	4
2.1	Visão tradicional da localização de instalações.....	4
2.1.1	Ponderação Qualitativa.....	6
2.1.2	Análise Dimensional	7
2.1.3	Centro de gravidade.....	7
2.1.4	Modelo de Ardalan	8
2.1.5	Análise da visão tradicional.....	10
2.2	Apoio Multicritério a Decisão	11
2.2.1	Considerações metodológicas.....	12
2.2.1.1	Modelagem de preferências.....	12
2.2.1.2	Agregação Multicritério de preferências	16
2.2.2	Outros métodos de Pesquisa Operacional	19
2.3	Visão especializada da localização de instalações	20
2.4	Localização de unidades de serviço.....	27
2.4.1	Área médica.....	27
2.4.2	Área educacional	28
2.4.3	As áreas energética e ambiental.....	29
2.4.4	Análise Crítica	29
2.5	Oportunidades de estudo sobre localização de instalações	30
3	Modelo proposto	31
3.1	Descrição do modelo proposto	31
3.1.1	Agregação de preferências em Localização	31
3.1.2	O SMARTS e SMARTER no Problema de Localização	33
4	Aplicação Numérica.....	38
4.1	Análise de sensibilidade	40
4.1.1	Variação na ordenação e na quantidade dos atributos.....	40

4.1.2	Variação na <i>performance</i> das alternativas	42
5	Conclusão e sugestões para trabalhos futuros	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Fatores importantes na localização de serviços/varejo.....	9
Tabela 2.2 Dados para aplicação do Modelo de Ardalan.....	10
Tabela 2.3 Sistema básico de preferências ao comparar duas ações/alternativas potenciais ...	13
Tabela 2.4 Situações consolidadas de preferência.....	14
Tabela 2.5 Estruturas básicas de Sistemas de Relações de Preferências.....	14
Tabela 2.6 Áreas de Aplicação	20
Tabela 2.7 Uma taxonomia para problemas de localização	21
Tabela 4.1 Matriz $n \times m$	38
Tabela 4.2 Matriz $n \times m$ com alternativas não dominadas	39
Tabela 4.3 Matriz $n \times m$ com alternativas não dominadas e utilidades unidimensionais.....	39
Tabela 4.4 Ordenação dos atributos	39
Tabela 4.5 Pesos dos critérios.....	39
Tabela 4.6 Utilidades multiatributo	40
Tabela 4.7 Cenário X_1 - $U(a)$ com $w_a \geq w_e$	41
Tabela 4.8 Cenário X_2 - $U(a)$ com $w_p \geq w_a$	41
Tabela 4.9 Cenário X_3 - $U(a)$ com $w_p \geq w_e$	41
Tabela 4.10 Cenário X_4 - $U(a)$ com $w_e \geq w_a \geq w_p \geq w_c$, e ausência do critério d	42
Tabela 4.11 Cenário X_5 - $U(a)$ com $w_a \geq w_e \geq w_p \geq w_c$, e ausência do critério d	42
Tabela 4.12 Utilidades multiatributo com cenário Z.....	43
Tabela 4.13 Cenário Z_1 - $U(a)$ com $w_a \geq w_e$	43
Tabela 4.14 Cenário Z_2 - $U(a)$ com $w_p \geq w_a$	43
Tabela 4.15 Cenário Z_3 - $U(a)$ com $w_p \geq w_e$	44
Tabela 4.16 Cenário Z_4 - $U(a)$ com $w_e \geq w_a \geq w_p \geq w_c$, e ausência do critério (d)	44
Tabela 4.17 Cenário Z_5 - $U(a)$ com $w_a \geq w_e \geq w_p \geq w_c$, e ausência do critério (d)	44
Tabela 4.18 Utilidades multiatributo com cenário W.....	45
Tabela 4.19 Cenário W_1 - $U(a)$ com $w_a \geq w_e$	45
Tabela 4.20 Cenário W_2 - $U(a)$ com $w_p \geq w_a$	45
Tabela 4.21 Cenário W_3 - $U(a)$ com $w_p \geq w_e$	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Tipos de função utilidade	35
--	----

1 Introdução

As organizações estão inseridas num ambiente de mercado dinâmico e globalizado, que requer delas a capacidade de tomar decisões de forma eficaz, trazendo vantagem competitiva. Dentre os diversos tipos de decisão presentes durante o processo de planejamento e gestão empresarial, a decisão de localização da(s) instalação(ões) é fator crítico para o desempenho da organização tanto em suas próprias atividades de negócio como no desempenho da empresa na cadeia de suprimentos na qual está inserida, o que envolve a satisfação/insatisfação de seus clientes, os custos logísticos e os ganhos/perdas operacionais advindos de instalações bem/mal localizadas. A problemática da localização é um tema vastamente difundido na literatura e se encontra inserido em diversas áreas do conhecimento: está presente de forma consolidada tanto na literatura tradicional de gerência da produção como em publicações mais especializadas.

Decisões sobre localização de instalações são elementos críticos no planejamento estratégico para uma extensa faixa de empresas públicas e privadas. Altos custos associados à aquisição de propriedades e à construção da instalação caracteriza o problema como de investimento a longo prazo (OWEN & DASKIN, 1998).

Segundo Ballou (2006), decisões sobre localização envolvem a determinação do número, local e proporções das instalações a serem usadas; essas instalações incluem pontos nodais da rede, como fábricas, portos, vendedores, armazéns, pontos de varejo e pontos centrais de serviços na rede da cadeia de suprimentos em que os produtos páram temporariamente a caminho dos consumidores finais.

Ao contrários das operações de manufatura, na qual os custos de produção são uma importante consideração na seleção de uma locação, os serviços devem focar primordialmente fatores relacionados ao cliente (DAVIS *et al*, 2001). A análise de desempenho das atividades de serviço está diretamente ligada ao nível de satisfação do consumidor; a empresa deve não só satisfazê-lo, mas procurar superar suas expectativas. Dessa forma, a subjetividade da análise aumenta e torna a decisão sobre localização de unidades de serviço ainda mais complexa.

1.1 Justificativa

O setor de serviços tem importância fundamental na economia mundial, envolvendo grande parte mão de obra e dos Produtos Internos Brutos (PIB) de vários países. No Brasil, particularmente, o setor de serviços vêm se mantendo acima de 50% em sua participação no PIB nacional e empregando mais de 80% da força de trabalho do país (SANTOS, 2006).

Definir a localização de instalações de serviço/varejo é uma decisão de longo prazo (CORRÊA, 2006), que tem grande influência na capacidade de nível de serviço prestado pela organização. Particularmente, a localização de varejos/serviços envolve uma maior quantidade de fatores subjetivos, dificultando o uso de modelos de decisão tradicionais para o tratamento do problema de localização. Tais modelos, em sua maioria, apresentam problemas metodológicos em seus procedimentos de análise e cálculo; sobretudo, ao tentarem incorporar vários critérios na análise. Este trabalho procura, portanto, estruturar metodologicamente a tomada de decisão multicritério quanto a localização de unidades de serviço.

1.2 Objetivos

Nesta seção, são apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

- Estruturar metodologicamente a tomada de decisão multicritério quanto a localização de unidades de serviço.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar a localização de instalações, mostrando sua importância e os aspectos que influenciam seu estudo e resoluções de problemas;
- Realizar uma revisão bibliográfica dos diversos tipos de problemas de localização encontrados na literatura, suas diferentes classificações e metodologias utilizadas para abordar a questão;
- Discutir os problemas metodológicos encontrados nos modelos da literatura tradicional de gerência da produção e logística, segundo a estrutura de preferências e a forma de agregação multiobjetivo adotadas;
- Propor a estruturação da tomada de decisão e a aplicação de um método metodologicamente adequado.
- Propor a utilização de um método multicritério de Apoio a Decisão, realizar uma aplicação numérica e uma análise de sensibilidade para solução de problemas de localização de unidades de serviço.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos:

- O capítulo 1 apresenta uma visão inicial do problema de localização de instalações, particularmente de unidades de serviço, define a justificativa e seus objetivos.
- O capítulo 2 estrutura uma base conceitual do problema de localização, revisa as diferentes visões existentes na literatura, assim como os modelos matemáticos utilizados, e lista oportunidades de trabalhos no tema. Ainda no capítulo 2, é revisada a literatura específica da localização de unidades de serviço.
- No capítulo 3, é proposta a utilização de um método multicritério, o SMARTER, para o problema. Neste capítulo, discute-se alguns elementos teóricos importantes para aplicação da metodologia multicritério e são analisadas as incoerências metodológicas encontradas nos modelos tradicionais da literatura de gestão.
- O capítulo 4 realiza uma aplicação numérica do método proposto e uma análise de sensibilidade baseada na obtenção de cenários.
- Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, assim como lista sugestões para futuros trabalhos no tema abordado.

2 Base Conceitual do problema de localização de instalações

Devido à sua importância e ao desenvolvimento de diversas técnicas de resolução, o problema de localização é bastante difundido em várias comunidades e áreas do conhecimento: administração da produção, pesquisa operacional, engenharia, logística, etc. Nesta seção, algumas dessas abordagens mais difundidas serão descritas de acordo com sua importância e utilização na solução de problemas. O item 2.1 apresenta uma visão geral com base na literatura de gestão da produção. O item 2.2 apresenta uma breve descrição de alguns métodos de pesquisa operacional usados em problemas de localização e o item 2.3 aborda uma visão da literatura mais especializada na modelagem desses problemas. Há ainda o item 2.4, que descreve estudos realizados no contexto foco deste trabalho: a localização de unidades de serviço. Ao final, tem-se o item 2.5 que lista oportunidades de estudos futuros na área de localização de instalações.

2.1 Visão tradicional da localização de instalações

Conforme Slack *et al* (2002), depois de decidir sua rede de operações por meio de decisões de integração vertical, uma organização deve escolher a localização de cada operação. Para isso, deve ter como objetivo um equilíbrio adequado entre três subobjetivos relacionados: os custos que se alteram com a localização geográfica, o serviço que a operação é capaz de prestar a seus clientes e a receita potencial da operação.

Localizar instalações fixas ao longo da rede da cadeia de suprimentos é um importante problema de decisão que dá forma, estrutura e contornos ao conjunto completo dessa cadeia (BALLOU, 2006). Localizar significa determinar o local onde será a base de operações, onde serão fabricados os produtos ou prestados os serviços, e/ou onde se fará a administração do empreendimento. Em matéria de localização, nada pode ser negligenciado – às vezes, detalhes aparentemente pequenos, quando não levados em conta, podem trazer desvantagens sérias (MOREIRA, 2002).

De acordo com Bowersox & Closs (2001), a definição da localização de uma fábrica ou de um centro de distribuição é uma tarefa geralmente delegada aos encarregados de logística, e nos últimos anos esses estudos têm abrangido também projetos de canais logísticos, como resultado da globalização de fontes de suprimento e de considerações de marketing. A decisão de localização de cada operação da empresa é integrada à definição da rede e estruturação das integrações logísticas verticais e horizontais.

Segundo Ballou (1993) a localização de instalações envolve o uso de muito julgamento, arte e intuição. O autor reuniu, a partir de publicações sobre o assunto, alguns fatores importantes em tal escolha:

- Leis de zoneamento locais;
- Atitude da comunidade e do governo local com relação ao empreendimento;
- Custo para desenvolver e conformar o terreno;
- Custos de construção;
- Disponibilidade e acesso a serviços de transportes;
- Potencial para expansão;
- Disponibilidade, salários, ambiente, e produtividade da mão de obra local;
- Taxas relativas ao local e à operação do empreendimento;
- Segurança do local (fogo, furto, inundação, etc.);
- Valor promocional do local;
- Taxas de seguro e disponibilidade de financiamento;
- Congestionamento de tráfego e redondezas do local.

Conforme Gaither *et al* (2006), surgem como boas opções diversos locais possíveis, cada um com suas potencialidades e fragilidades, e a decisão quanto à localização torna-se uma decisão meio-termo (*trade-off*): pode-se ganhar um tipo de benefício somente abrindo mão de outro. Essas decisões meio-termo relativas à escolha de pontos estratégicos podem ser aflitivas, e normalmente são resolvidas somente depois de uma longa e cuidadosa ponderação dos prós e contras de cada localização.

Ballou (2006) apresenta cinco formas diferentes de classificar os problemas de localização:

- a) por força direcionadora ou fator fundamental de influência;
- b) número de instalações;
- c) descontinuidade das escolhas;
- d) grau de agragação de dados;
- e) horizonte de tempo.

Na maioria das vezes, além da quantidade de fatores envolvidos, existem diferentes opções para localizar o empreendimento; e o que se quer é escolher aquela(s) que maximize(m) o(s) objetivo(s) do decisor, da organização. Para isso existem uma infinidade de modelos descritos na literatura, disponível nos principais livros de administração da produção, logística e marketing. A concepção destes modelos difere em relação ao tipo de atividade a ser realizada pela organização: atividades fabris ou de serviço e varejo. É importante frisar a

necessidade de uso de um modelo como apoio à(s) decisão(ões) que se pretende tomar, respeitadas as imperfeições naturais inerentes ao processo de modelagem.

Definir o posicionamento de empreendimentos industriais, em geral, envolve o uso de uma massa de dados mais estruturada, um número maior de aspectos quantificáveis em detrimento de avaliações subjetivas, presentes na realidade dos serviços/varejo. A complexidade da decisão tratada neste trabalho requer, em grande parte dos problemas reais, um tratamento cuidadoso e o uso de modelos complexos para uma resolução adequada. A bibliografia da área gerencial relata a existência de ferramentas avançadas de modelagem matemática para solução de problemas de localização diversos, como programação matemática, teoria das filas e técnicas de simulação, além de heurísticas e algoritmos genéticos para solução de problemas; porém focaliza a apresentação de técnicas mais simples, em sua teoria e prática, e que por sua simplicidade só devem ser aplicadas com cuidado e atenção à estrutura do problema. A facilidade de uso de tais modelos traz consigo o risco de uma definição de local de instalação inadequada, seja pelo cunho simplista do método ou por sua inadequação ao problema tratado.

A seguir, serão discutidos modelos tradicionais apresentados na literatura gerencial: ponderação qualitativa, análise dimensional, centro de gravidade e o modelo de Ardalan. (BALLOU *et al*, 2006; GAITHER *et al*, 2006; BOWERSOX & CLOSS, 2001; MOREIRA, 2002; SLACK *et al*, 2002).

2.1.1 Ponderação Qualitativa

A ponderação qualitativa pode ser usada quando não se conseguir apropriar uma estrutura de custos a cada localidade considerada (MOREIRA, 2002). Deve-se elencar uma lista de fatores considerados importantes para a decisão, sendo cada possível localidade avaliada de acordo com os aspectos colocados, numa escala arbitrária. Aos fatores são atribuídos “pesos”, indicando sua importância relativa, e escolhida a localidade que obtiver a maior pontuação final, a maior soma ponderada das notas pelos pesos dos fatores.

Para k fatores, existe uma avaliação F_{ij} que representa a avaliação da alternativa i segundo o critério j . Chama-se p_j , o peso relativo do fator j , e obtém-se a ponderação final para cada localidade i :

$$N_i = \sum_{j=1}^k F_{ij} p_j \quad (2.1)$$

Essa abordagem apresenta problemas metodológicos ao passo que, pretende avaliar o problema de forma multicritério, porém sem a estruturação teórica da abordagem multiobjetivo e a análise da estrutura de preferências do decisor. Uma definição errada das

escalas e dos “pesos” causa problemas para avaliação das alternativas e tratamento dos *trade-offs* existentes entre os aspectos levantados. O método define a localização a partir de um critério único de síntese (o resultado da soma ponderada), mas não apresenta mecanismos de adequação aos requisitos teóricos para aplicação da abordagem multicritério utilizada.

2.1.2 Análise Dimensional

Utilizada quando, na análise do problema, coexistem fatores quantificáveis (custos, em sua maioria) e fatores qualitativos. É realizada uma comparação par a par de alternativas, com a definição prévia dos fatores importantes, seus pesos relativos e desempenho das localidades quanto aos fatores de análise. Obtém-se o chamado coeficiente de mérito $CM_{A,B}$, da localidade A em relação à localidade B, a partir da fórmula 2.2:

$$CM_{A,B} = \prod_{j=1}^n \left(\frac{F_{A,j}}{F_{B,j}} \right)^{p_j} \quad (2.2)$$

para:

- n = número de fatores analisados;
- j = fator em análise;
- $F_{A,j}$ = valor do fator j na localidade A
- p_j = peso relativo do fator j

São atribuídos valores para $F_{A,j}$: quanto pior o desempenho da localidade A, maior o valor atribuído. Caso CM resulte num valor menor que um, a alternativa A é preferida, indicando custos menos significativos. A agregação dos fatores é feita através de uma multiplicação, recaindo nos mesmo problemas do método anteriormente discutido: a escassez de informação a respeito da estrutura de preferências e a análise da agregação entre critérios, requerida por um problema de decisão multicritério. As escalas dos diferentes fatores podem ser bastante diversificadas, prejudicando a avaliação em um critério único de síntese: o CM.

2.1.3 Centro de gravidade

O método do centro de gravidade utiliza o conceito de centróide, presente na Física Clássica, e é utilizado quando se quer localizar uma nova instalação dentro de uma rede já existente de instalações ou mercados. Mediante essa técnica, é possível localizar a instalação no centro de gravidade, podendo esse ser o centro de peso, o centro de distância, o centro combinado de peso-distância, ou ainda o centro combinado de peso-tempo-distância em uma dada região de atuação, para selecionar a alternativa de menor custo. De acordo com Ballou (2006), o objetivo é minimizar o custo total de transporte: a soma do volume em um ponto

multiplicado pela tarifa de transporte do embarque ao ponto e pela distância até o ponto. Por exemplo, para o centro combinado peso-distância tem-se as fórmulas (MOREIRA, 2002):

$$G_x = \frac{\sum d_{ix} p_i C_i}{\sum p_i C_i} \quad (2.3)$$

$$G_y = \frac{\sum d_{iy} p_i C_i}{\sum p_i C_i} \quad (2.4)$$

onde:

- d_{ix} e d_{iy} são as coordenadas horizontal e vertical da instalação ou mercado i ;
- p_i é o custo do transporte na direção da instalação ou do mercado i ;
- C_i é o volume transportado de/para a instalação ou mercado i ;

O método agrega apenas características representativas dos custos de movimentação, colocando os demais possíveis aspectos do problema em segundo plano. Pode ser bastante interessante em problemas de microlocalização, de layout de fábrica, porém perde aplicabilidade em muitas situações típicas que, mesmo não tão complexas, envolvam uma diversidade maior de aspectos a serem tratados por um modelo de decisão.

2.1.4 Modelo de Ardalan

O modelo de Ardalan é utilizado no contexto de localização de unidades serviço e varejo. A análise da localização desses pontos deve permanecer extremamente atenta a fatores como receita e acesso fácil, em lugar de se ater aos fatores de custo, tão importantes na localização de fábricas e armazéns. A tabela 2.1 foi adaptada de Ghosth & McLafferty (1987) *apud* Ballou (2006), e lista fatores importantes na seleção de locais de serviços ou varejo.

Gaither *et al* (2006) descreve cinco passos para analisar as decisões quanto à localização de instalações de serviços:

- a) pesquisa do comportamento do cliente: por que os clientes comprem nossos produtos e serviços?
- b) pesquisa de mercado: quem são nossos clientes e quais são suas características?
- c) coleta de dados para cada alternativa de localização: onde estão as concentrações de clientes visados? Quais são seus padrões de gastos? Quais são as tendências de crescimento e o grau de competição atual e projetado?
- d) projeções das receitas para cada alternativa de localização: quais são as projeções econômicas relevantes, as projeções de dispêndios discricionários, a atividade da competição e a receita da localização programada no tempo?

e) projeções de lucros para cada alternativa de localização: quais são as receitas projetadas menos os custos operacionais programados no tempo?

Tabela 2.1 Fatores importantes na localização de serviços/varejo

Fatores demográficos	- base populacional da área; - potencial de renda da área;
Características do lugar	- número de pontos de estacionamento; - distância entre estacionamento/local; - visibilidade do local a partir da rua; - tamanho e forma do terreno; - condições dos prédios existentes; - qualidade de ganhos e gastos;
Fluxo de tráfego e facilidade de acesso	- número de veículos; - tipo dos veículos; - número de pedestres; - tipo de pedestres; - disponibilidade de transporte coletivo; - acesso a estradas principais; - nível do congestionamento de trânsito; - qualidade das vias de acesso;
Fatores de custos e legais	- tipo de zoneamento; - duração do arrendamento; - impostos locais; - operações e manutenção; - cláusulas restritivas do arrendamento; - restrições voluntárias do comércio local;
Estrutura do varejo	- número de concorrentes na área; - número e tipo de lojas na área; - complementaridade de lojas vizinhas; - proximidade com áreas comerciais; - promoções conjuntas dos comerciantes locais.

Fonte: Ghosth & McLafferty (1987) apud Ballou (2006)

A partir de um conjunto de comunidades (grupos de clientes potenciais), dos quais se conhecem as populações, o modelo de Ardalan procura distribuir as unidades de serviço em ordem de prioridade, considerando, quando necessário, a influência de escolhas anteriormente

realizadas. Na definição da ordem de prioridade, são levados em conta a distância das potenciais instalações com o mercados que se deseja atingir, o tamanho da população e a importância (em forma de pesos) da população, da comunidade atendida pela instalação; esses três fatores são multiplicados entre si e o resultado usado como elemento de comparação entre as alternativas: para cada coluna (B_1 , B_2 , B_3 , B_4) soma-se os resultados dessa multiplicação e escolhe-se a menor soma com a melhor alternativa.

Tabela 2.2 Dados para aplicação do Modelo de Ardalan

Do bairro	Distância (km) para a escola localizada no bairro				População	Peso relativo da população
	B_1	B_2	B_3	B_4		
B_1	0	6	3,5	3	30.000	0,8
B_2	6	0	3,5	3	20.000	1,0
B_3	3,5	3,5	0	2	25.000	1,2
B_4	3	3	2	0	10.000	1,4

Fonte: Moreira(2002)

A multiplicação realizada e a avaliação de importância relativa, por meio de pesos, do mercado atendido pela instalação aumentam a subjetividade do modelo. Também não leva em consideração uma quantidade, quase sempre grande, de outros critérios relacionados com a prestação de serviços e atividades de varejo.

2.1.5 Análise da visão tradicional

Ao tratar o problema de forma mais geral, a literatura de gestão pode perder na precisão dos resultados e prejudicar a aplicabilidade e implementação das ações indicadas pelo modelo utilizado. Não obstante, tal abordagem é comumente praticada no corpo gerencial das empresas, que na maioria das vezes não está preparado para lidar com decisões de localização de instalações: seja pela especificidade do problema ou pelos requisitos técnicos necessários para um tratamento mais especializado da questão.

Devido à importância da decisão e de suas implicações nas atividades internas e externas da organização, é necessária a existência de uma análise formal para tomada de decisão quanto à localização das instalações, baseada em técnicas que tratem o problema de forma mais estruturada e que consiga envolver grande parte dos aspectos inseridos no problema.

A seguir são descritas de forma sucinta algumas técnicas para modelagem matemática de problemas, utilizadas na resolução de problemas de localização.

2.2 Apoio Multicritério a Decisão

Recentemente, modelos de decisão multicritério, modelos de decisão em grupo e negociação têm atingido grande desenvolvimento, abordando questões relevantes em vários processos decisórios. O escolha do modelo multicritério depende do tipo de agregação das preferências do decisor, não restrito à combinação num critério único de síntese (CLÍMACO, 2004).

De acordo com Zeleny (1998), a tomada de decisão multicritério está firmemente baseada no conceito de otimalidade onde múltiplos critérios caracterizam a noção de “melhor”, com prevalência nas áreas de economia, engenharia, gestão e negócios. Esses são, frequentemente, problemas onde a procura pela solução ótima requer alguma forma de avaliação da compensação (*trade-offs*) entre os critérios. O AMD não visa apresentar ao agente de decisão solução definitiva para seu problema, elegendo uma única verdade representada pela alternativa selecionada. Essa abordagem visa, sim, apoiar o processo decisório com a recomendação de ações que estejam em sintonia com as preferências expressas pelo agente de decisão (GOMES *et al*, 2006).

Conforme Bouyssou (1990) apud Mello *et al* (2005), uma abordagem multicritério apresenta as seguintes vantagens:

- torna viável a construção de uma base para o diálogo entre analistas e decisores, que fazem uso de diversos pontos de vista comuns;
- provê facilidade em incorporar incertezas aos dados sobre cada ponto de vista;
- permite encarar cada alternativa como um compromisso entre objetivos em conflito. Este argumento destaca o fato de que raramente será encontrada uma situação em que exista uma alternativa superior às restantes sobre todos os pontos de vista.

No AMD, existem quatro principais tipos de problemáticas de referência. Dada a natureza do problema, existem técnicas próprias para cada problemática. Gomes *et al* (2006) descreve:

- Problemática de escolha ($P\alpha$) – tem como objetivo esclarecer a decisão pela escolha de um subconjunto do espaço de ações;
- Problemática de classificação ($P\beta$) – tem o objetivo de alocar uma ação em cada classe. As diferentes categorias são definidas a partir de normas aplicáveis ao conjunto de ações;

- Problemática de ordenação ($P\gamma$) – tem o objetivo de ordenar as ações;
- Problemática de descrição ($P\delta$) – tem como objetivo apoiar a decisão através de uma descrição das ações e suas conseqüências. É uma problemática qualitativa, bastante útil para explicitar as alternativas e seus respectivos efeitos para as pessoas que não estão diretamente ligadas à resolução do problema.

2.2.1 Considerações metodológicas

Neste tópico, são apresentados alguns conceitos preliminares sobre modelagem de preferências, a fim de deixar claro o que é pretendido por este trabalho em contrapartida aos métodos tradicionais considerados, que não explicitam ou não consideram essas etapas da modelagem.

2.2.1.1 Modelagem de preferências

De acordo com Gomes *et al* (2006), com o objetivo de apoiar o processo decisório, torna-se necessário estabelecer certas condições que possam expressar as preferências do agente de decisão quando da comparação entre duas ações potenciais pertençam ao conjunto A de ações/alternativas. Essas condições são definidas por relações binárias (H), que podem apresentar as seguintes propriedades clássicas:

- reflexividade - $\forall a \in A, aHa$;
- irreflexividade - $\forall a \in A, \text{não } aHa$;
- simetria - $\forall a, b \in A, aHb \Rightarrow bHa$;
- assimetria - $\forall a, b \in A, aHb \Rightarrow \text{não } bHa$;
- transitividade - $\forall a, b, c \in A, [aHb \text{ e } bHc] \Rightarrow aHc$.

Roy (1996) apresenta, para a análise de um decisor diante de duas alternativas, quatro possíveis relações de preferência entre elas, que formam o Sistema Básico de Preferências (BSPR) descritos na tabela 2.3.

A Escola Americana do AMD só considera como sendo básicas as relações de preferência estrita e indiferença. Roy (1996) *apud* Alencar (2003) coloca que esta visão não incorpora a existência de situações nas quais o decisor ou o analista não é capaz de decidir por existência de dados subjetivos ou mal coletados, não sabe como decidir ou não deseja decidir.

Tabela 2.3 Sistema básico de preferências ao comparar duas ações/alternativas potenciais

Situação	Definição	Relações Binárias (propriedades)
Indiferença	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem a equivalência entre as duas ações.	<i>I</i> : relação reflexiva e simétrica
Preferência Estrita	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justifiquem a preferência significativa em favor de uma (identificada) das duas ações.	<i>P</i> : relação assimétrica (não reflexiva)
Preferência Fraca	Corresponde à existência de razões claras e positivas que invalidem a preferência estrita em favor de uma (identificada) dentre as duas ações mas que são insuficientes para deduzir uma estrita preferência em favor da outra ou a indiferença entre as duas ações, não permitindo diferenciar nenhuma das duas situações supracitadas.	<i>Q</i> : relação assimétrica (não reflexiva)
Incomparabilidade	Corresponde a uma ausência de razões claras e positivas que justifiquem qualquer uma das três relações precedentes.	<i>R</i> : relação simétrica (não reflexiva)

Fonte: Adaptado de Roy (1996)

Há ainda situações conhecidas como situações consolidadas de preferência (tabela 2.4) caracterizadas pelo agrupamento das relações básicas (ROY, 1996).

Tabela 2.4 Situações consolidadas de preferência

Situação	Definição	Propriedades
Não – Preferência ($\sim$)	Corresponde a uma ausência de situações claras e positivas para justificar a preferência estrita ou preferência fraca em favor de uma das ações e, portanto, consolida as situações de indiferença ou de incomparabilidade, sem ser capaz de diferenciá-las.	$\sim: a \sim b \leftrightarrow aIb \text{ ou } aRb$
Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam a preferência estrita ou a preferência fraca em favor de uma (bem identificada) das duas ações e, portanto, consolida as situações de preferências estrita e preferência fraca, sem no entanto possibilitar a diferenciação entre elas.	$\succ: a \succ b \leftrightarrow aPb \text{ ou } aQb$
J-Preferência (presunção de preferência)	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam a preferência fraca, sem se preocupar o quão fraca ela é, em favor de uma (bem identificada) das duas ações, ou no limite, a indiferença entre elas, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência fraca e indiferença.	$J: a J b \Rightarrow aQb \text{ ou } aRb$
K-Preferência	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam a preferência estrita em favor de uma (bem identificada) das duas ações, ou a incomparabilidade entre elas, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita e incomparabilidade.	$K: a K b \Rightarrow aPb \text{ ou } aRb$
Sobreclassificação	Corresponde à existência de razões claras e positivas que justificam tanto a preferência ou a J-Preferência em favor de uma (bem identificada) das duas ações, embora não exista nenhuma divisão significativa estabelecida entre as situações de preferência estrita, preferência fraca e indiferença. Uma ação a sobreclassifica b (aSb) se a é considerada ao menos tão boa quanto b .	$S: aSb \Rightarrow aPb \text{ ou } aQb \text{ ou } aIb$

Fonte: Adaptado de Alencar (2003)

De acordo com Costa (2003), os sistemas de relações de preferência definem estruturas de Preferência. A partir das quatro relações básicas de preferências, Alencar (2003) apresenta as estruturas de preferência mais comuns, que aceitam ou não a relação de incomparabilidade (ver Tabela 2.5).

Tabela 2.5 Estruturas básicas de Sistemas de Relações de Preferências

Estrutura	Representação Funional (g definida em A, $\forall a, b \in A$)	Propriedades das Relações	Observações
Classes de equivalência	Não forma uma ordem; as ações são equivalentes.	I: Simétrica e Transitiva; ~: Simétrica e Transitiva;	Sistemas de relação com apenas uma relação simétrica.
Pré-ordem completa	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b)$ $a I b \Leftrightarrow g(a) = g(b)$	P: Transitiva e Assimétrica I: Reflexiva, Simétrica e Transitiva; R = 0; Ausência de Incomparabilidade.	Noção intuitiva de classificação com possibilidade de empate por similaridade.
Ordem completa	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b)$	P: Transitiva e Assimétrica; I: Reflexiva, Simétrica e Transitiva; R = 0	Noção intuitiva de classificação sem possibilidade de empate por similaridade.
Quase-Ordem	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q$ $a I b \Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q$ $q = \text{limiar de indiferença}$	P: Transitiva e Assimétrica; I: Reflexiva e Simétrica; R = 0	Existência de um limiar, abaixo do qual o decisor não consegue explicitar a diferença ou se recusa a declarar a preferência.
Ordem de Intervalo (Limiar de Indiferença Variável)	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b))$ $a I b \Leftrightarrow g(a) \leq g(b) + q(g(b)),$ $g(b) \leq g(a) + q(g(a))$	P: Transitiva e Assimétrica; I: Reflexiva e Simétrica; R = 0 $a P b, b I c, c P d \Rightarrow a P d$	Limiar que varia ao longo da escala de valores.
Pseudo-Ordem	$a P b \Leftrightarrow g(a) > g(b) + q(g(b))$ $a Q b \Leftrightarrow q < g(a) - g(b) \leq p(g(b))$ $a I b \Leftrightarrow g(a) - g(b) \leq q$	P e Q: Transitiva e Assimétrica; I: Reflexiva e Simétrica; R = 0	Limiar de indiferença (q): abaixo do qual é clara a indiferença Limiar de Preferência (p): acima do qual não há dúvida da preferência.
Pré-Ordem Parcial	$a P b \Rightarrow g(a) > g(b)$ $a I b \Rightarrow g(a) = g(b)$	P: Assimétrica e transitiva; I: Simétrica, transitiva e reflexiva R: Simétrica e não-reflexiva	Noção intuitiva de classificação com possibilidade de empate por similaridade. R $\neq$ 0

Ordem Parcial	$a P b \Rightarrow g(a) > g(b)$	P: Assimétrica e transitiva; I: Simétrica, transitiva e reflexiva R: Simétrica e não-reflexiva	Noção intuitiva de classificação sem possibilidade de empate por similaridade. $R \neq 0$
------------------	---------------------------------	--	--

Fonte: Alencar (2003)

As estruturas de preferências permitem que o analista ou decisor estabeleça suas prioridades e as utilize de forma analítica durante o processo de tomada de decisão. Os métodos vistos na literatura gerencial tradicional determinam Pré-Ordem completa, ao passo que baseiam-se em valores encontrados a partir de médias ponderadas ou multiplicações para avaliação e valoração das alternativas, mas omitem ou não realizam a avaliação desta estrutura de preferência. Tais considerações não explicitadas, mas imprescindíveis na etapa de concepção do método, podem ocasionar tomadas de decisão inapropriadas ao contexto do problema e das prioridades do decisor: para assegurar a adequação do método, o decisor deve estar de acordo com a estrutura de preferências inerente ao modelo de decisão utilizado.

É necessário que, antes da aplicação de qualquer que seja o método multicritério, haja uma análise das preferências e das relações que possam ser utilizadas pelo decisor, de modo a definir sua estrutura de preferências.

2.2.1.2 Agregação Multicritério de preferências

De acordo com Gomes (2006), um Procedimento de Agregação Multicritério (PAMC) é uma regra que permite estabelecer, com base em uma matriz de *performances* (matriz de decisão; ações X critérios) e de informações intercritérios, um ou mais sistemas relacionais de preferência sobre um conjunto de ações potenciais.

Caso o sistema relacional de preferências não admita a incomparabilidade entre ações, e satisfaça à propriedade transitiva, considera-se que o PAMC visa obter um critério único de síntese e dão origem aos métodos que constituem a Escola Americana do AMD. Caso contrário, quando permite-se a incomparabilidade e não necessariamente a satisfação da propriedade transitiva, o PAMC busca obter relações de superação ou sobreclassificação, dando origem aos métodos que fazem parte da chamada Escola Européia do AMD.

Os métodos tradicionais analisados neste trabalho baseiam-se no critério único de síntese. A partir de ponderações e operações algébricas, os modelos estabelecem valores para cada ação ou alternativa, que indicam o seu grau de desempenho global. Os métodos da Escola Americana baseiam-se na análise de um critério único de síntese (v), cujo valor é obtido através de uma função V que agrega todos os critérios inseridos no problema:

$$v(a) = V(v_1(a), v_2(a), \dots, v_n(a)) \quad (2.5)$$

A função V depende dos valores da ação nos critérios e das informações intercritérios tais como pesos, taxas de conversão e formas de valoração do desempenho das alternativas nos critérios, considerados individualmente e sinergicamente. Faz-se, então, a comparação entre alternativas, de forma global, com base nos valores de v . Quanto maior o valor de v , melhor será considerada a alternativa.

Para cada critério n tem-se uma função de valor ou utilidade $v_n(a)$ que determina os valores da alternativa em análise para o critério. A partir dos valores naturais (físicos ou não físicos) dos desempenhos das alternativas no critério, faz-se necessário um procedimento de educação ou elicitación de preferências do decisor para determinar a função de valor ou utilidade dos desempenhos neste critério. Keeney & Raiffa (1976) e Campello de Souza (2005) apresentam formas de educação da função utilidade.

As medidas que expressam a importância relativa entre os critérios (w_j) são denominadas pesos dos critérios, e têm papel fundamental na resultante do conflito entre critérios ao influenciar de maneira decisiva os resultados obtidos (GOMES *et al*, 2006). Deve-se, portanto, ter bastante cuidado na obtenção destes valores subjetivos.

Particularmente, os métodos que buscam utilizar um critério único de síntese, possuem um diferencial na obtenção dos pesos. Segundo Vincke (1992), a escolha da utilização de um método de agregação dos critérios é equivalente a escolher um tipo de “compensação entre os critérios” (*trade-offs*), de forma a intuir sobre a quantidade que contrabalance a vantagem em um critério em detrimento de uma desvantagem noutro. Essa visão é ainda mais evidente ao utilizar-se modelos aditivos (ver fórmula 3.2): uma relação entre w_j/w_{j+1} indica a quantidade que deve ser incorporada à alternativa em questão, segundo um critério $j+1$, para compensar a perda de uma unidade no desempenho desta mesma alternativa, segundo o critério j .

$$V(a) = \sum_j w_j g_j(a) \quad (2.6)$$

Bana e Costa (1988) relata que dadas as diferenças de significação teórica do conceito de ponderação inerente aos diversos métodos de análise multicritério, não tem qualquer sentido querer explicitar os valores dos coeficientes de ponderação de forma independente em relação a seleção do método de agregação mais adequado ao problema em estudo e ao tipo de sistemas de preferência dos atores envolvidos no processo de decisão. Salienta-se que, o processo de explicitação de preferências é uma parte do processo de modelagem multicritério.

A utilização de funções lineares para representar a função V torna a análise mais fácil tanto intuitivamente como matematicamente. No entanto, devem ser obedecidos alguns pressupostos: a independência de preferência e a comparabilidade intercritérios, nem sempre possíveis de serem considerados. A dificuldade em usar modelos não lineares, que se

adequem melhor à forma de agregação em questão, está na dificuldade de construção de uma função utilidade e a progressiva composição de elementos de incerteza ao longo dos cálculos (GOMES *et al*, 2006). Keeney (1992) afirma:

“Se a independência aditiva é violada, você provavelmente não possui o conjunto apropriado de objetivos fundamentais. O contrário é tão importante como correto. Se você tem um conjunto apropriado de objetivos fundamentais para o contexto de uma decisão, a independência aditiva é provavelmente uma consideração razoável”.

Edwards *et al* (1994) descreve um procedimento chamado de “aproximação heróica”, partindo do princípio que a chave para uma seleção apropriada de métodos diz respeito ao *trade-off* entre o erro de modelagem e o erro de elicitación. De acordo com os autores, o processo de elicitación produz erros mais facilmente, o que justifica a adoção de técnicas mais simples de mensurar a utilidade multiatributo: os métodos SMARTS e SMARTER. Ambos usam uma aproximação linear para função utilidade unidimensional e um modelo de agregação multiobjetivo aditivo: o erro de modelagem é considerado menor; contudo, deve ser previamente checado o potencial de erro dessas considerações, além de incluir procedimentos de análise de sensibilidade para testar a robustez dos resultados. A aproximação linear da função utilidade unidimensional para cada critério é defendida devido à dificuldade e inconstância, segundo os autores, dos julgamentos de indiferença preferencial entre alternativas hipotéticas, presentes em Keeney & Raiffa (1976). Em seu artigo, Edwards *et al* (1994) declaram: “...nós acreditamos que avaliações mais diretas das quantidades desejadas são mais fáceis e menos prováveis de produzirem erros de elicitación”. Já em relação a adoção do modelo aditivo, considera-se a propriedade de independência aditiva.

Shepetukha & Olson (2001) apresentam, além de considerações sobre análise de sensibilidade, uma técnica para explorar sistematicamente a região estabelecida pela definição das faixas de valores dos pesos, baseada numa entrada de dados de caráter ordinal.

A natureza subjetiva da compensação entre critérios traz problemas à sua aplicação. Podinovski (1999) *apud* Shepetukha & Olson (2001) cita quatro razões para a dificuldade de uma avaliação precisa dos *trade-offs*:

- insuficiência da informação sobre a importância relativa entre critérios;
- *trade-offs* tendem a ser diferentes para faixa de valores diferentes nos critérios;
- o problema deve ser analisado sob perspectivas diferentes;
- especialistas ou decisores diferentes devem especificar *trade-offs* diferentes.

Para desenvolver de forma mais detalhada a questão subjetiva de agregação multiobjetivo num critério único de síntese, foram desenvolvidas algumas teorias e métodos,

tais como: MAUT – Teoria da Utilidade Multiatributo (Keeney & Raiffa, 1976; Gomes *et al*, 2006), SMARTS e SMARTER – Simple Multi-Attribute Rating Techniques (Edwards *et al*, 1994), AHP – Processo de Análise Hierárquica (SAATY, 1987). Tais métodos estão inseridos no contexto do Apoio Multicritério a Decisão, no intuito de fornecer procedimentos metodologicamente corretos e que agreguem valor ao processo de tomada de decisão.

2.2.2 Outros métodos de Pesquisa Operacional

A Programação Matemática é um modelo matemático bastante popular para resolução de problemas. Este tipo de modelo apresenta as seguintes características:

- a) uma expressão matemática (contendo as variáveis de decisão) chamada função objetivo, que se quer maximizar ou minimizar;
- b) um conjunto de restrições, expressas por equações ou inequações matemáticas, que devem ser obrigatoriamente obedecidas, ao mesmo tempo em que se maximiza ou minimiza a função objetivo.

Numa forma geral, o problema de programação matemática é encontrar $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ de modo a

$$\text{Maximizar } f(x),$$

sujeito a

$$g_i(x) \leq b_i, \text{ para } i = 1, 2, 3, \dots, m,$$

$$x \geq 0,$$

onde $f(x)$ e os $g_i(x)$ são funções dadas das n variáveis de decisão. Quando as funções $f(x)$ e $g_i(x)$ podem assumir apenas formas lineares, temos a Programação linear, um dos modelos mais populares de pesquisa operacional. A programação linear faz o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que alcance a melhor meta especificada (de acordo com o modelo matemático) entre as alternativas viáveis. Existem ainda, muitas variações da programação matemática, tais como programação não linear, programação inteira, programação quadrática e programação dinâmica (WAGNER, 1985 ; HILLIER *et al*, 1988).

Dentre as ferramentas da PO mais utilizadas na resolução de problemas, além da programação matemática e do AMD, merecem destaque:

- a) Teoria das filas – envolve o estudo matemático das “filas” ou filas de espera, e fornece um grande número de modelos matemáticos alternativos, com resultados frequentemente disponíveis, para descrever uma situação de fila de espera e prever algumas de suas características (HILLIER *et al*, 1988);

b) Teoria da Decisão – um conjunto de modelos, aplicáveis a problemas de decisão com variados graus de estruturação, segundo as informações disponíveis ao decisor (CAMPELLO DE SOUZA, 2005);

c) Teoria dos Jogos – teoria matemática que trata os aspectos gerais de situações competitivas de maneira formal, abstrata e com ênfase especial ao processo de tomada de decisão dos adversários (FIANI, 2004);

d) Análise Envoltória de Dados (DEA – Data Envelopment Analysis) utiliza-se da programação linear para avaliar a eficiência de unidades, chamadas unidades tomadoras de decisão, e vêm sendo tratada em muitas publicações internacionais e nacionais, com grande aplicabilidade nos mais diversos ambientes (BANKER *et al*, 1984; CHARNES *et al*, 1978).

e) Simulação – envolve a construção de um modelo e o seu teste, ou seja, a sua operação e o seu comportamento sob variadas condições (WAGNER, 1985 ; HILLIER *et al*, 1988).

2.3 Visão especializada da localização de instalações

No item 2.1, o problema de localização foi descrito segundo a literatura clássica de gerência da produção. Foram apresentados conceitos e visões que abordam o problema de forma ampla e genérica, mas que apresentam problemas tanto em sua concepção teórica como em sua aplicação prática. A literatura mais especializada sobre localização de instalações é bastante diversificada, apresenta várias formas de tratar o problema e suas variações: inúmeros modelos estão descritos nas principais revistas, periódicos e congressos científicos nacionais e internacionais, de variadas áreas do conhecimento.

Tabela 2.6 Áreas de Aplicação

Setor privado	Localização de centro de produção/distribuição; Localização de fábricas; Veículos de serviço (ambulâncias, rebocadores, etc.); Localização de centro de serviços; Centros de transportes, etc.
Setor público	Instalações/veículos de serviços de emergência; Centros de serviços públicos (tratamento de lixo, centros médicos, etc.); Projeto de redes de serviço público (rede de distribuição de água); Instalações de defesa, etc.

Fonte: Adaptada de Brandeau & Chiu (1989)

Brandeau & Chiu (1989) apresentam uma abrangente pesquisa sobre os mais importantes problemas de localização e métodos envolvidos em sua resolução (técnicas de

solução exatas, heurísticas e avaliação de heurísticas); o trabalho descreve mais de cinquenta modelos de localização e indica áreas de aplicação nos setores privado e público (ver Tabela 2.6).

Segundo Brandeau & Chiu (1989), um modelo de qualquer que seja o problema deve conter: objetivo, variáveis de decisão e parâmetros. Para distinguir os diferentes modelos de localização, os autores afirmam que a partir de uma lista com opções para cada uma desses elementos (ver Tabela 2.7), seleciona-se uma entrada para cada categoria, e qualquer problema de localização pode ser especificado.

Tabela 2.7 Uma taxonomia para problemas de localização

Objetivos	Otimizar: - Minimizar tempo(custo) médio de movimentação; - Maximizar o rendimento da rede; - Minimizar tempo médio de resposta; - Minimizar máximo tempo/custo médio de movimentação; - Maximizar mínimo tempo/custo médio de movimentação; - Minimizar custo de serviço sujeito a uma restrição de serviço mínimo; - Outros; Não-otimizar;
Variáveis de decisão	Localização da instalação (facilidade ou servidor; localização contínua ou discreta); Área do serviço e prioridades de expedição; Número de servidores e/ou instalações de serviço; Volume/capacidade do servidor; Tipos de produtos produzidos por cada servidor; Rota/fluxo de servidores ou produtos para os pontos de demanda; Outros;
Parâmetros	Demanda (contínua ou discreta, dependente ou independente, determinística ou probabilística); Tempo/custo de movimentação; Métrica de movimentação; Número/localização/capacidade de servidores; Capacidade do servidor; Outros.

Fonte: Adaptada de Brandeau & Chiu (1989)

Hamacher & Nickel (1998) apresentam um esquema de classificação para os problemas de localização, no intuito de contribuir para uma maior transparência e eliminar os desentendimentos – quase sempre ambiguidades – presentes em descrições verbais dos modelos. O esquema de classificação proposto tem cinco posições (Pos1/Pos2/Pos3/Pos4/Pos5) cujos significados podem ser descritos como:

- Pos 1: informação sobre o número e o tipo das instalações;
- Pos 2: tipo do modelo em relação ao espaço de decisão;
- Pos 3: descrição de particularidades sobre o modelo, como informação sobre soluções viáveis, restrições de capacidade, etc.;
- Pos 4: relações entre instalações novas e as existentes (custos, distâncias, etc);
- Pos 5: descrição da função objetivo.

O uso de modelagem matemática amplia a capacidade de resolução dos problemas e a confiabilidade dos resultados. O desenvolvimento da modelagem, no entanto, pode esbarrar nas limitações computacionais de resolução: a quantidade de variáveis e complexidade das relações entre elas são capazes de inviabilizar a aplicação do modelo para a situação em análise. Para problemas de maior porte, torna-se praticamente imprescindível a utilização de softwares especializados no tipo de modelo abordado, e de artifícios que ajudem na busca da solução, tais como heurísticas e algoritmos genéticos (SARTORI JUNIOR *et al*, 2006; O'KELLY *et al*, 1995; GOLDBERG, 1997; HAUPT & HAUPT, 2004).

A seguir, são relatadas aplicações de modelagem matemática no tratamento de problemas clássicos de localização de instalações.

- Programação matemática

Primeiramente desenvolvido na área industrial, o problema de localização de instalações ganhou importância e aumentou sua aplicabilidade ao mesmo tempo que foram desenvolvidos modelos matemáticos avançados para seu tratamento. A programação matemática vem sendo utilizada, sobretudo, em problemas de localização de facilidades únicas ou múltiplas de capacidade restrita ou irrestrita, maximização de cobertura e localização de *hubs* numa rede.

A partir do modelo tradicional de transporte (WAGNER, 1985 ; HILLIER *et al*, 1988), desenvolvido por estudiosos em pesquisa operacional, sobretudo a partir da segunda guerra mundial, vários modelos de programação linear foram e continuam sendo desenvolvidos, realizando adaptações de modo a adequar os modelos às particularidade dos problemas. O que se deseja é maximizar (ou minimizar) uma função objetivo linear sujeita a

restrições lineares de capacidade, recursos financeiros, entre outras. Tal abordagem está presente numa grande quantidade de *papers* nacionais e internacionais, e é utilizada em problemas tradicionais ou que necessitem de uma análise mais individualizada (PACHECO *et al*, 2006; ALAMO *et al*, 2006; WU & LIN, 2003; RODRÍGUEZ *et al*, 2007; JAYARAMAN *et al*, 2003; SKORIN-KAPOV *et al*, 1996; PIRKUL *et al*, 1991; CARDILLO & FORTUNA, 2000; LOPES *et al*, 2000; BARCELOS *et al*, 2004; PIZZOLATO *et al*, 2004; CORREIA *et al*, 2003).

Galvão (2004) descreve alguns modelos e algoritmos para resolução, dentre eles um modelo genérico para minimização de custos na localização estática de instalações de capacidade irrestrita. O modelo é definido como:

$$\min \left\{ \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \right\} \quad (2.7)$$

s.a.:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, j \in J \quad (2.8)$$

$$\sum_{i \in I} y_i \leq p \quad (2.9)$$

$$x_{ij} \leq y_i, i \in I, j \in J \quad (2.10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i \in I, j \in J \quad (2.11)$$

$$y_i \in \{0,1\}, i \in I \quad (2.11)$$

Onde $I = \{1, \dots, n\}$ é o conjunto de localizações possíveis para se estabelecer a instalação, $J = \{1, \dots, m\}$ é o conjunto de pontos de demanda, f_i é o custo fixo de se estabelecer uma instalação em $i \in I$, c_{ij} é o custo total de abastecer a demanda $j \in J$ a partir de instalação localizada em $i \in I$ e p é o número de máximo de instalações. A variável de decisão $x_{ij} = 1$ se a demanda de $j \in J$ for suprida por $i \in I$ e 0 caso contrário; $y_i = 1$ se a instalação for localizada em $i \in I$, $y_i = 0$ caso contrário.

Adaptações deste modelo base podem incorporar aspectos relevantes, como restrições de capacidade e contabilização de custos adicionais, e estão presentes na literatura nas mais variadas formas. A localização de *hubs* é alvo de diversos estudos, e apresenta-se numa forma ampla de problemas: alocação única, alocação múltipla, *hubs* hierárquicos, *hub covering*, etc (ALAMO *et al*, 2006).

Ainda na linha de utilização da programação matemática, existem trabalhos que não utilizam, em sua função objetivo, os fatores de custos financeiros. A minimização da distância

ou do tempo de deslocamento entre os nós de uma rede (BOFFEY & SAEIDI, 2004) e a maximização do fluxo atendido (WU & LIN, 2003) podem conferir ao problema uma solução mais realista, a depender das particularidades da situação.

Além do uso da programação linear, alguns trabalhos utilizam-se de funções objetivos ou de restrições de natureza não linear para solução de problemas de localização. Esta mudança pode conferir ao modelo um tratamento mais próximo à realidade, ao mesmo tempo que necessita de formas de resolução mais apuradas (LOIOLA *et al*, 2004; ABOOLIAN *et al*, 2007; BROTCORNE *et al*, 2003).

- Apoio multicritério a decisão (AMD)

Devido a sua natureza estratégica, o problema de localização é alvo de pesquisas dentre os estudiosos do AMD, com o desenvolvimento de modelos que tratem dos *trade-offs* presentes nesta tomada de decisão através da estruturação e agregação de preferências do decisor e do tratamento dos fatores quantitativos e subjetivos envolvidos.

Muitos destes trabalhos seguem a linha da programação linear multiobjetivo (ERKUT *et al*, 2007; FERNÁNDEZ *et al*, 2003; DOERNER *et al*, 2007; TYAGI *et al*, 1997). O que se deseja é maximizar ou minimizar mais de uma função objetivo, de acordo com uma região de soluções chamadas admissíveis determinada pelas restrições do problema. Quando existe um único ponto que otimize a totalidade das funções objetivos, o problema está terminado; porém é comum existirem critérios conflitantes, que conduzem a formação de alternativas não dominadas, isto é, que apresentam melhor desempenho em pelo menos um dos critérios, mas perdem noutros, quando comparadas às demais opções de decisão. Clímaco *et al* (2003) formula e descreve métodos iterativos de resolução com destaque para o TRIMAP, proposto para problemas programação linear multicritério com três funções objetivo.

Costa *et al* (2004) utilizam um modelo bicritério para determinar a localização de um *hub* único de capacidade restrita, cuja resolução é conseguida através de métodos iterativos. O modelo se propõe a minimizar os custos totais da rede à qual pertence o *hub* e minimizar o tempo gasto processando o fluxo de materias acumulados no *hub*. Com a determinação das alternativas não dominadas, os autores modificam iterativamente os valores para cada uma das funções objetivos, trabalhando os *trade-offs* entre elas. A formulação do problema é:

$$\min \sum_i \sum_k d_{ik} Z_{ik} (\alpha O_i + \delta D_i) + \sum_i \sum_k \sum_m \alpha d_{km} Y_{km}^i + \sum_k F_k Z_{kk} \quad (2.12)$$

$$\min \sum_i \sum_k O_i T_k Z_{ik} + \sum_{ki} P_k Z_{kk} \quad (2.13)$$

s.a.:

$$\sum_k Z_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (2.14)$$

$$Z_{ik} \leq Z_{kk} \quad \forall i, k \quad (2.15)$$

$$\sum_m Y_{km}^i - \sum_m Y_{mk}^i = O_i Z_{ik} - \sum_j W_{ij} Z_{jk} \quad \forall i, k \quad (2.16)$$

$$Z_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, k \quad (2.17)$$

$$Y_{km}^i \geq 0 \quad \forall i, k, m \quad (2.18)$$

A definição das variáveis: Y_{km}^i é o fluxo total da localidade i (origem) que transportados via *hubs* k e m ; $Z_{ik} = 1$ se o nó i é alocado para o *hub* localizado no nó k e 0 caso contrário (em particular, $Z_{kk} = 1$ implica que o nó k é selecionado para ser um *hub*). Os dados de entrada são: n , o número de nós, W_{ij} , o fluxo da localidade i para a j ; $O_i = \sum_j W_{ij}$ e $D_i = \sum_j W_{ji}$; d_{ik} , distância entre o nó i e o nó j ; χ , o coeficiente do custo de coleta (por unidade transportada) de qualquer nó que não seja um *hub* até um nó que seja *hub*; δ , o coeficiente do custo de distribuição de qualquer nó que seja um *hub* até um que não seja *hub*; α ($0 \leq \alpha \leq 1$), o coeficiente do custo de transferência entre dois *hubs*; F_k , representa o custo fixo de estabelecer um *hub* no nó k ; T_k , o tempo que o *hub* k leva para processar uma unidade; P_k , o tempo para iniciar a operação do *hub* k .

Dias *et al* (2003) desenvolveram um problema bicritério, com os objetivos de minimização dos custos e minimização de riscos. O algoritmo utilizado gera soluções não dominadas e questiona o decisor a respeito de suas preferências para solução do problema.

Existem, na literatura, aplicações de outros métodos multicritério na localização de instalações tais como: PROMETHEE (MLADINEOA *et al*, 1987), VIP analysis (CAMPOS; ALMEIDA, 2006). Lourenço & Costa (2004) utilizam, de forma agregada, a programação linear inteira multiobjetivo e o método ELECTRE TRI: soluções não dominadas encontradas são classificadas em categorias de acordo com as preferências estabelecidas pelo decisor na definição dos parâmetros do ELECTRE TRI.

Em muitos casos, existe grande dificuldade no tratamento, por parte do decisor, dos *trade-offs* presentes no problema. Um método multicritério bastante “famoso” é o de Análise Hierárquica (AHP – Analytic Hierarchy Process), que é baseado na divisão do problema de decisão em níveis hierárquicos para melhor compreensão e avaliação. Mesmo bastante utilizado (SELLITTO & MENDES, 2006; SANTOS DA ROSA *et al*, 2006; SALMERON & HERRERO, 2005), inclusive em problemas de localização (SINUANY-STERN *et al*, 1996; ZAMBOM *et al*, 2005), o AHP clássico apresenta problemas, tais como: inversão de ordem e

conflito entre o princípio da função aditiva, que se adapta melhor a uma escala intervalar, e a razão de preferências numa escala de razão, obtidas através da análise par-a-par.

- Outras abordagens de Pesquisa Operacional

A utilização de teoria das filas na resolução de problemas de localização está centrada na análise dos indicadores clássicos em sistemas de filas:

- Disponibilidade de atendimento (relacionada com a taxa de ocupação do sistema de atendimento);
- Tempo de espera na fila e no atendimento.

Tal abordagem é encontrada principalmente em localização de serviços públicos de saúde e de atendimento em geral. Destaca-se o problema de localizar unidades de saúde, emergenciais ou não, através de análise dos indicadores do sistema de filas (TAKEDA & MORABITO *et al*, 2004; GALVÃO *et al*, 2003). Outra forma é a integração de conceitos e indicadores básicos de filas em problemas de programação matemática, de modo a desenvolver conceitos probabilísticos e determinísticos num mesmo problema (MARIANOV *et al*, 1996; MARIANOV *et al*, 2007).

Zhang & Rhuston (2008) desenvolvem um modelo para localizar unidades de serviço como clínicas médicas, serviços de venda de ingressos ou cadeias de restaurantes ou quaisquer organizações que prestam serviço através de um sistema competitivo de unidades múltiplas. O modelo proposto concentra-se na cobertura do serviço definida em termos da utilidade conseguida pelos usuários de acordo com uma função envolvendo as alternativas das facilidades disponíveis. A intenção é maximizar a utilidade do cliente, a qualidade da empresa avaliada no tempo de espera na fila e minimizar os custos para abrir e fechar unidades, considerando de forma integrada esses três elementos.

A Teoria dos jogos vem sendo utilizada num grande número de trabalhos, de variados ambientes. Rhim *et al* (2003) investiga como as empresas devem selecionar o número, os locais e a capacidade de suas instalações produtivas. Em seu trabalho, os autores analisam o equilíbrio de Nash do jogo de entrada e provêm soluções suficientes para estabelecimento do equilíbrio neste jogo.

Berman e Gavious (2007) estudam um jogo entre dois jogadores: uma entidade terrorista e o Estado, que demanda instalações de suporte em caso de ataque terrorista. Enquanto o terrorista procura maximizar sua utilidade atacando uma das possíveis áreas metropolitanas, o Estado procura minimizar suas perdas ao instalar suas unidades de suporte.

O artigo busca unir as relações de Teoria dos Jogos a formulações de programação matemática, para os casos de instalação única ou múltipla.

A integração entre DEA e o Apoio Multicritério a Decisão pode ser vista em Lins *et al* (2004) e Klimberg & Ratick (2008); neste último os autores tratam do problema de localização numa abordagem multicritério através da redução de objetivos de custo (das instalações e de transportes) e da maximização da eficiência das operações das instalações através de função objetivo DEA.

2.4 Localização de unidades de serviço

O processo de tomada de decisão sobre instalações de serviço possui, particularmente, maior subjetividade. Contudo, este fator não pode ser colocado como pano de fundo para uma análise superficial ou baseada unicamente no sentimento dos gerentes envolvidos. Respeitando as particularidades de cada problema, deve-se buscar estruturá-lo de forma a racionalizar a tomada de decisão; isso requer a definição das variáveis envolvidas e a construção do modelo adequado à situação e capaz de indicar soluções pertinentes.

Dentre as áreas que detêm grande parte dos trabalhos desenvolvidos, pode-se destacar as áreas médica, educacional, energética e sanitária.

2.4.1 Área médica

A aplicação de modelos de localização na área médica consiste frequentemente em problemas de localização de hospitais, rede de serviços médicos e de veículos de emergência (BROTCORNE *et al*, 2003; ALSALLOUM *et al*, 2006; JIA *et al*, 2007; CHU & CHU, 2000; RHAMAN *et al*, 2000; STUMMER *et al*, 2004; NDIAYE *et al*, 2006; MARIANOV & REVELLE, 1996; TAKEDA *et al*, 2004; REVELLE *et al*, 2007; SINUANY-STERN *et al*, 1995).

Conforme Stummer *et al* (2004), decisões de localização e tamanho de departamentos de saúde são prioridade na configuração de um sistema de saúde e, regularmente, caracterizadas por múltiplos e conflitantes objetivos. O artigo apresenta um modelo de programação combinatória multiobjetivo para encontrar soluções consideradas eficientes seguido da utilização do conceito de *clusters* para explorar o espaço de soluções de forma interativa. As funções objetivo do problema são quatro e envolviam aspectos de custos, disponibilidade de atendimento e adaptabilidade do hospital em relação a replanejamentos futuros. Ao final, uma aplicação numérica exemplifica a utilização do modelo proposto.

Rhaman & Smith (2000), discutem a utilização de modelos de localização/alocação no planejamento de serviços médicos em países em desenvolvimento. Os autores apresentam

argumentos para comprovar a importância do tema e descrevem tipos de problemas encontrados e métodos de resolução. De acordo com o estudo, os tipos de trabalhos para localização de serviços médicos em países em desenvolvimento concentram-se em: determinar um conjunto de locais ótimos, localizar locais ótimos numa nova área, medir a eficácia de localizações determinadas no passado e melhorar padrões de localizações atuais. É comum também a utilização de modelos de filas para terminar localidades de prestação de serviços médicos (MARIANOV *et al*, 1996; TAKEDA *et al*, 2004).

Uma consideração importante foi realizada em Revelle *et al* (2007): os autores propõem um modelo de localização/alocação de serviços num ambiente competitivo, onde a empresa pode perder em *market share* ou diminuir o *portfolio* de serviços prestados, de acordo com a situação do ambiente competitivo incorporada ao modelo.

Ndiaye & Alfares (2006) utilizam um modelo de programação inteira 0-1 para determinar o número e as localizações de unidades de atendimento de saúde que atendem uma população com uma característica diferente: ocupa diferentes lugares de acordo com a época do ano, verão ou inverno.

2.4.2 Área educacional

Estudos de localização na área de educação são imprescindíveis para o bom desempenho da rede de escolas/universidades públicas ou privadas.

Barcelos *et al* (2004) e Pizzolato *et al* (2004) utilizam o modelo das p-medianas (capacitado e não capacitado) para determinar a localização ou realocação de escolas. Nos modelos descritos, a localização ou realocação é influenciada pelas distâncias da população aos locais propostos e o tamanho da população que utilizar-se-ia do serviço educacional.

Pizzolato & Fraga da Silva (1997) discutem as implicações práticas dos resultados gerados a partir do modelo de localização não capacitado da p-mediana. Os autores procuram configurar a rede escolar de modo a minimizar as distâncias do conjunto de residências às unidades escolares, admitindo restrições de capacidade, e fazem comparações com o posicionamento atual dos pontos escolares da rede.

Teixeira & Antunes (2008) apresentam um modelo de localização hierárquica discreta para o planejamento de instalações de serviço público. As características do modelo são: objetivo maximização da acessibilidade, níveis (tipos diferentes) de demanda e de instalações, hierarquia na utilização das instalações (uma instalação pode servir uma demanda de nível educacional igual ou inferior) e restrições de capacidade. Uma aplicação é realizada num planejamento de uma rede de escolas na cidade de Coimbra, em Portugal.

2.4.3 As áreas energética e ambiental

Nestas áreas destacam-se a localização de usinas de energia (ZAMBON *et al*, 2005) e a localização de aterros sanitários e estações de tratamento de lixo (HAASTRUP *et al*, 1998)

Cavalcante *et al* 2004 desenvolvem um modelo multicritério para alocação de transformadores de reserva técnica, no intuito de determinar o local (a unidade operacional da Companhia Energética de Pernambuco – CELPE) onde estas reservas deveriam ser alocadas, considerando os fatores: distância, tamanho da população, grau de industrialização e serviços de saúde prestados nas regiões consideradas.

Keeney e Raiffa (1976) apud Campello de Souza (2005) listam uma série de objetivos a serem contemplados pela decisão de localização de centrais nucleares geradoras de energia elétrica:

- minimizar os efeitos danosos à saúde da população;
- minimizar a poluição;
- fornecer a potência elétrica necessária;
- maximizar os lucros da companhia geradora;
- maximizar os retornos para o estado ou país;
- melhorar o balanço de pagamentos;
- reduzir a dependência externa de combustíveis;
- maximizar os benefícios econômicos à comunidade local;
- minimizar os custos de energia.

2.4.4 Análise Crítica

A maioria dos trabalhos supracitados utiliza modelos de programação matemática (monocritério ou multicritério) e de teoria das filas. Em muitas situações, tais modelos podem se mostrar inadequados para incorporar aspectos de natureza subjetiva e que apresentem dificuldades de quantificação e mensuração (MLADINEOA *et al*, 1987; SINUANY-STERN *et al*, 1995). Tal subjetividade dificulta o uso de modelos de decisão tradicionais para o tratamento do problema de localização de unidades de serviço e requer a aplicação de modelos capazes de incorporar essas imprecisões.

Este trabalho propõe-se a desenvolver um modelo de decisão estruturado para localização de centros de serviço, envolvendo a análise dos atributos deste problema de decisão, sejam eles quantificáveis ou subjetivos, conflitantes ou não.

2.5 Oportunidades de estudo sobre localização de instalações

Apesar de ter sido alvo de inúmeros estudos em jornais, revistas e congressos de comunidades científicas, novos problemas de localização apresentam particularidades e aspectos que os distinguem dos anteriormente solucionados. A cada novo problema, uma visão particular é requerida.

Estão listadas, abaixo, algumas oportunidades de atuação para novos trabalhos sobre o problema de localizar instalações:

- Existe um grande número de artigos, na literatura especializada, centrados na obtenção de alternativas não dominadas, em modelos multicritério. Tais alternativas, porém, nem sempre recebem a devida análise. A partir destas soluções, pode-se dar sequência à análise adicionando o uso de métodos multicritério que tratem de alternativas discretas – tais como a família PROMETHEE (BRANS *et al*, 1985), a família ELECTRE (ROY, 1996), VIP analysis (DIAS *et al*, 2000), MAUT (GOMES *et al*, 2006), MACBETH (BANA E COSTA *et al*, 2006), TODIM (GOMES *et al*, 1992), dentre outros – nas diferentes problemáticas do apoio multicritério a decisão;
- Uso de metodologia multicritério a fim de analisar índices e indicadores gerados a partir de técnicas como teoria das filas, simulação, etc.;
- Desenvolvimento e aplicação de heurísticas para ajudar na resolução de problemas de grande porte;
- Utilização de DEA a fim de buscar a maximização da eficiência das unidades de serviço envolvidas. O tratamento do problema através da DEA pode envolver a função objetivo clássica desse modelo ou a agregação de mais funções objetivos, que relacionem demais fatores a serem levados em consideração;
- Comparação de resultados entre estudos já publicados e aplicações de diferentes métodos de resolução, sejam os métodos monocritério ou multiobjetivo;
- Estudo comparativo do modo de agregação e das preferências do decisor em trabalhos que abordem o problema sob o enfoque multicritério;
- Procedimentos que estruturam a análise de sensibilidade dos parâmetros incluídos no modelo utilizado.

3 Modelo proposto

Na seção 3.1 discute-se conceitos relevantes à construção do modelo de decisão multicritério, de modo a esclarecer a necessidade de inclusão de procedimentos que estejam corretos do ponto de vista metodológico e que auxiliem na tomada de decisão. Ao mesmo tempo, são descritos em maior detalhe os erros conceituais encontrados nos modelos na literatura gerencial tradicional. Em seguida, na seção 3.2, é proposta a utilização de um modelo de decisão multicritério – SMARTER – para localização de unidades de serviço.

3.1 Descrição do modelo proposto

Mesmo ao considerar a diversidade dos aspectos presentes, grande parte dos modelos descritos na literatura não especializada, sobretudo na área de Gerência da Produção, apresentam problemas metodológicos e conceituais. A inclusão dos critérios relevantes ao problema não é acompanhada do tratamento analítico necessário a uma tomada de decisão multicritério: estabelece-se um conjunto de procedimentos operacionais, possivelmente com deficiências metodológicas, que são seguidos inadvertidamente por decisores ou por analistas.

Na seção 2.1 foram descritos alguns destes modelos: Ponderação qualitativa (seção 2.1.1), Análise dimensional (seção 2.1.2), Centro de Gravidade (seção 2.1.3) e o Modelo de Ardalan (seção 2.1.4.). Em todos eles, procura-se analisar o conjunto de alternativas (possíveis localidades) em função de mais de um aspecto; tais análises, porém, não estabelecem procedimentos teóricos e metodológicos adequados quanto à estruturação e à agregação das preferências do decisor em relação aos conjuntos de alternativas e critérios envolvidos.

Na próxima seção é discutida a questão de agregação de preferências no contexto da localização de instalações, principalmente no que diz respeito aos métodos mais difundidos na literatura gerencial. Em seguida, é detalhada a proposta de utilização do método multicritério SMARTER para o problema.

3.1.1 Agregação de preferências em Localização

A agregação multiobjetivo é, por natureza, um procedimento complexo. Esta complexidade é ainda maior ao tratar-se de questões estratégicas, onde o impacto das decisões tomadas é muito maior na longevidade da organização. Para localizar instalações, alguns modelos procuram basear-se num procedimento de agregação multiobjetivo, porém não apresentam cuidados metodológicos necessários ou não explicitam as considerações feitas na concepção do método, da mesma forma que ocorrem incoerências no uso dos “pesos”.

O modelo de Ponderação qualitativa utiliza uma função linear aditiva para obtenção do critério único de síntese do modelo. Sua análise, porém, peca na obtenção dos “pesos”, pois utiliza-se unicamente da importância relativa intercritérios e exclui de seus procedimentos a questão de compensação inerente aos modelos aditivos. O procedimento ignora o fato de que devem ser levadas em conta tanto a amplitude da faixa de valores das alternativas para o critério (Edwards *et al*, 1994) como os *trade-offs* presentes. Além disso, coloca-se para medição de desempenho das alternativas os valores naturais (físicos ou não físicos), sem explicitar ou realizar a educação das utilidades destes desempenhos.

Já os modelos de Análise Dimensional e de Ardalan utilizam uma função não linear, de caráter multiplicativo. Também não abordam a educação da função utilidade individual dos desempenhos em cada critério, não relata condições para aplicação de uma função de multiplicação para representar a utilidade global e não descreve as considerações admitidas para construção dessa função. Como dito anteriormente, é bastante complicado construir uma função não linear de utilidade devido ao acúmulo de elementos de incerteza no processo de educação e ao longo dos cálculos; estes problemas metodológicos são agravados quando se leva em consideração que os modelos descritos, tradicionais na área gerencial, procuram se mostrar simples operacionalmente mas trazem com eles implicações e restrições que influenciam substancialmente o processo de tomada de decisão.

Na localização de unidades de serviço, o componente subjetivo é ainda maior na definição da importância e dos valores dos critérios colocados, assim como na tentativa de agregação desses objetivos. O modelo de Ardalan inclui três aspectos: tamanho da população cliente (ϕ_i), importância relativa da população cliente (p_i) e a distância (d_{ij}) percorrida pelos clientes até a unidade, além de considerar a uniformidade da disposição demográfica das comunidades ou populações cliente. Assume ainda que a demanda potencial pelo uso da unidade de serviços é determinada parte pela distância percorrida e parte por um “fator de importância”, um peso refletindo o grau de atratividade do público, a partir de características como da mão-de-obra, infra-estrutura de transportes e poder aquisitivo da população.

O objetivo do Modelo de Ardalan é designar a localização de uma ou mais unidades que podem servir todas as populações clientes na mínima distância ponderada percorrida. Para cada grupo de clientes j , deseja-se minimizar:

$$V_{Ardalan}^j = \sum_i d_{ij} \phi_i p_i \quad (3.1)$$

Em momento algum existe um tratamento específico para investigar, explicitamente, a relação de compensação entre os critérios colocados. Por exemplo, caso existam duas populações de mil clientes cada: será que 1000 (mil) clientes com importância relativa 2

(dois) que percorrem 10 (dez) quilômetros são equivalentes a 2000 (dois mil clientes) com importância relativa 1 (um) e que percorrem os mesmos 10 (dez) quilômetros? O decisor ou analista que utiliza o modelo de Ardalan está de acordo com isso? Pelo cálculo de $V_{Ardalan}^j$, este tipo de consideração é admitida pelo modelo. Devido à facilidade na realização dos procedimentos de cálculo, o modelo torna-se bastante atrativo aos olhos do decisor, mas utiliza, inadvertidamente, procedimentos que possivelmente não estão de acordo com a estrutura e a agregação de preferências do decisor.

Há ainda a questão de quantos e quais devem ser os critérios considerados. Como já foi exposto, existe uma infinidade de aspectos potencialmente relevantes em decisões de localização de unidades de serviço. Ao englobar apenas três destes aspectos, o modelo de Ardalan pode se mostrar inapropriado numa tomada de decisão que inclua um número maior de aspectos de grande relevância à situação problema; mesmo que o “fator de importância” busque abranger os demais aspectos, afora distância e tamanho da população, existem inúmeros casos onde necessita-se tratar separadamente tais aspectos. De forma mais grave, o modelo não indica dispositivos que concedam flexibilidade quanto ao número e o tipo de critérios abordados. Em muitos casos, é importante flexibilizar a aplicação do modelo com a característica de adaptabilidade com relação ao número de critérios.

3.1.2 O SMARTS e o SMARTER no Problema de Localização

Explanados os problemas presentes nos modelos de localização tradicionais, este trabalho tem como objetivo propor a utilização de um modelo de decisão multicritério, metodologicamente correto, para localização de instalações de serviço. O SMARTS (Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings) e o SMARTER (Simple Multi-Attribute Rating Technique using Exploiting Rankings) foram propostos por Edwards *et al* (1994) para obtenção da utilidade multiatributo. Ambos são uma simplificação do MAUT e buscam estabelecer uma Pré-Ordem Completa entre as alternativas.

O SMARTS busca corrigir um erro intelectual do SMART (Simple Multi-Attribute Rating Technique). A partir de um procedimento chamado de “swing weights” (peso das trocas), os autores incluem a questão da amplitude dos valores das alternativas nos critérios à noção de importância e compensação intercritérios. Admite que a função utilidade unidimensional é linear e que função de agregação multiobjetivo é aditiva (evita erros de elicitação, baseado na “aproximação heróica”). No SMARTER, não há o “swing weights”. Após a ordenação dos critérios, utiliza-se valores pré-determinados denominados ROC weights” (Rank Order Centroid weights) para os pesos, simplificando a obtenção das utilidades multiatributo.

SMARTER é uma melhoria extraordinária ao SMARTS em matéria de facilidade e não necessita de entrevistas na fase de elicitação de preferências (EDWARDS *et al*, 1994); consegue extrair conclusões a respeito das alternativas sem a necessidade de atribuição, por parte do decisor, dos valores de pesos ou constantes de escala. Dessa forma, é oportuna a aplicação do SMARTER, a fim de amenizar a dificuldade quanto a subjetividade do problema: o método facilita a elicitação de preferências principalmente em relação aos *trade-offs* presentes na tomada de decisões em localização de serviços. Devem ser considerados um conjunto enumerável e finito de alternativas de localização, um determinado número de critérios a serem abordados pelo decisor e, principalmente, que o decisor é capaz de explicitar suas preferências e que esteja de acordo com a natureza compensatória do método.

Para utilização dos métodos, os autores descrevem duas séries de nove passos, descritos abaixo de forma sucinta, que diferem quanto ao oitavo passo de acordo com o método: SMARTS ou SMARTER. Para maiores detalhes destas etapas, consultar Edwards *et al* (1994).

- Passo 1: Objetivos e decisores.

Identificar o objetivo da elicitação dos valores. Identificar o indivíduo, organização ou organizações cujos valores devem ser elicitados. O procedimento é dito completo quando existe uma lista explícita e exaustiva dos *elicitees* (decisores) ou especificação de procedimento para criação da lista, e a elaboração de instruções claras, especificando a natureza da estrutura e os números a serem elicitados e a forma na qual eles serão utilizados.

- Passo 2: Árvore de Valor.

Elicitar uma hierarquia dos objetivos ou árvore de valores ou elicitar uma lista de atributos potencialmente relevantes aos propósitos da elicitação dos valores de cada decisor ou grupo de decisores. Se possível todos os decisores devem concordar com a estrutura e nomes dados aos atributos relevantes. Se houver doze ou mais, tentar reduzir esse número combinando atributos relacionados, redefinindo atributos muito específicos ou omitindo atributos não muito importantes (que se mantidos receberiam pesos baixos).

- Passo 3: Objetos de avaliação.

Os objetos são alternativas e/ou suas conseqüências. Se os objetivos da elicitação não especificaram os objetos de avaliação, utilizar a estrutura de atributos definidas no passo 2 para criá-los. Espera-se como resultado desta etapa: uma lista completa de objetos de avaliação ou uma amostra real ou hipotética de tais objetos, pelo menos tão grande quanto a lista de atributos.

-Passo 4: Matriz objetos x atributos.

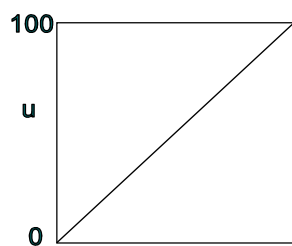
Formular uma matriz para avaliação de objetos por atributos. Os dados de entrada devem ser os *scores* relacionados com utilidades ou valores. Os *scores* não precisam ser utilidades unidimensionais numa escala cardinal, precisam apenas ser números tais que um maior número seja preferível a um menor - utilidade ordinal.

-Passo 5: Opções dominadas.

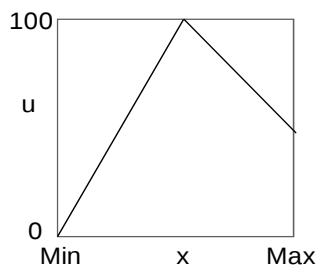
Eliminar opções ordinalmente dominadas. Dominância ordinal geralmente pode ser reconhecida por inspeção visual. As opções cardinalmente dominadas devem ser eliminadas. O número de opções será reduzido mas a escala de atributos não deve ser afetada. Se a opção dominada eliminada afetar a escala de atributos, analise se o atributo é digno de ser considerado, se não for retorna-se ao passo 2 para eliminá-lo.

- Passo 6: Utilidades unidimensionais.

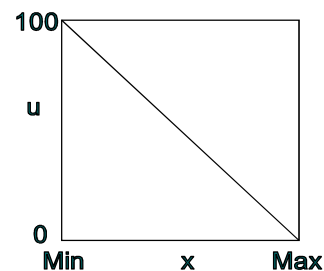
Reformular as entradas da matriz de objetos x atributos para utilidades unidimensionais. As entradas da tabela são utilidades unidimensionais numa escala cardinal. Para isso, testar inicialmente a linearidade das utilidades unidimensionais para cada dimensão nas quais *scores* físicos estão disponíveis. Edwards *et al* (1994) propõe, quatro formas diferentes para determinar a função utilidade unidimensional $u_j(a)$, conforme figura 3.1.



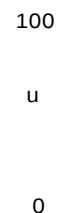
Tipo a: quanto maior o valor de x , maior é a utilidade (u)



Tipo c: Função utilidade que possui um ponto de máximo interior



Tipo b: quanto menor o valor de x , menor é a utilidade (u)



Tipo d: As utilidades são avaliadas por julgamentos sem a especificação de variáveis físicas.

Figura 3.1 Tipos de função utilidade
Fonte: Edwards *et al* (1994)

Se o uso da linearidade como uma aproximação for justificável, utilizar a escala de classificação ou uma faixa mais ampla para especificar os limites inferior e superior das funções utilidade unidimensionais. Calcule as utilidades unidimensionais utilizando equações

lineares para estas funções ou plote as funções como gráficos e verifique os pontos de interesse na curva. Se os *scores* estiverem disponíveis mas o teste de linearidade falhar, pode-se utilizar qualquer método de elicitación para utilidades unidimensionais descritos em Von Winterfeldt & Edwards (1986). No fim desta etapa tudo o que for necessário para as utilidades unidimensionais deve ser conhecido. A última tarefa desta etapa é testar a monotonicidade condicional. Se estiver presente, um modelo aditivo pode ser uma aproximação razoável. Se não, nenhum modelo aditivo explicado em Keeney & Raiffa (1976) e Von Winterfeldt & Edwards (1986) pode ser utilizado. Daqui em diante está sendo considerado que o modelo aditivo pode ser utilizado. Também será considerado a linearidade das utilidades unidimensionais ou que estas foram elicitadas de maneira direta.

- Passo 7: Ordenação de atributos.

Fazer a parte 1 do “swing weights”. Pergunta-se ao decisor: “Caso existisse uma alternativa que tivesse o pior *score* para todos os critérios analisados. Dada a oportunidade de trocar apenas a avaliação em uma das dimensões do pior valor para o melhor valor. Em qual dimensão você melhoraria?”. Continue até todas as dimensões sejam ordenadas.

- Passo 8.

Este passo torna o SMARTER mais simples que o SMARTS.

SMARTS : Fazer a parte 2 de dar pesos as trocas. O passo 8 baseia-se na ordenação obtida no passo 7. Para elicitar os pesos das trocas via estimação direta de magnitude, deve-se perguntar: “Vamos admitir para a dimensão mais importante o peso 100. Uma troca de 0 a 100 pontos é um ganho considerável. Vamos admitir para um atributo que não tenha importância, um peso 0. Uma troca de 100 pontos não é tão importante. Agora, na mesma escala, qual o peso de uma troca de 100 pontos na segunda dimensão mais importante? Qual o peso de uma troca de 0 para 100 pontos para uma dada dimensão (atributo)?”. Os resultados do julgamentos, depois de normalizados, representam os pesos. Calcular todas as utilidades multiatributos $U(a) = \sum_j w_j u_j(a)$. Uma abordagem alternativa usa

julgamentos de indiferença e está detalhada em Edwards *et al* (1994).

SMARTER: Usar tabela ou equação para calcular os pesos diretamente. Calcular todas as utilidades multiatributo. Se $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_K$, então:

$$w_1 = (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/K)/K$$

$$w_2 = (0 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/K)/K$$

$$w_3 = (0 + 0 + 1/3 + \dots + 1/K)/K$$

$$w_K = (0 + 0 + 0 + \dots + 1/K)/K$$

Mais genericamente, se K é o número de atributos, então o peso do k-ésimo atributo é:

$$w_k = \left(\frac{1}{K} \right) \sum_{i=1}^K \left(\frac{1}{i} \right)$$

Esses pesos são identificados como ROC weights. Os ROC weights conduzem a identificação da melhor opção entre 75 a 87% das vezes, dependendo dos detalhes da simulação. A perda no valor da utilidade global é abaixo de 2%. No pior caso, quando os pesos ROC não escolhem a melhor opção, eles não escolhem uma muito ruim. Para maiores detalhes deste procedimento, consultar Stillwell *et al* (1981) e Barron & Barret (1996).

- Passo 9: Decidir.

Os critérios colocados podem diferir de acordo com a situação problema. De forma geral, a proposta deste trabalho procura envolver aspectos comumente encontrados na temática de localização de unidades de serviço, qualitativos ou quantitativos, os quais podem ser adaptados de acordo com o problema. São estes os recomendados:

- *Tamanho da população (p)*: representada pelo número de clientes em potencial da área em que a alternativa está localizada. É um critério tipo *a*;
- *Distância média (d)*: média da distância (em quilômetros) d_{ij} entre as áreas *i* e *j*, para cada localidade *j*. Tomando por base os pontos específicos dentro de cada uma onde estão localizadas as *n* alternativas, sendo zero o valor de d_{jj} . É um critério tipo *b*;
- *Custo (c)*: estimacão do custo monetário total (em reais - R\$) de instalação e operação da unidade para determinado período de tempo. É um critério tipo *b*;
- *Infra-estrutura do varejo (e)*: critério qualitativo relacionado com o funcionamento das operações de varejo da área onde está localizada a alternativa, como complementaridade de lojas vizinhas, presença de áreas comerciais, etc. Inicialmente pode-se considerar um escala ordinal e depois determina-se a utilidade segundo o tipo de critério *d*;
- *Acessibilidade (a)* : critério qualitativo relativo ao fluxo de tráfego, facilidade de acesso e visibilidade da alternativa de localização. Inicialmente pode-se considerar um escala ordinal e depois determina-se a utilidade segundo o tipo de critério *d*;

A alternativa escolhida deve ser aquela que obtiver o maior valor de utilidade global *U*. Caso exista(m) outra(s) unidade(s) a ser(em) instaladada(s), deve-se retomar o passo 2 do SMARTER, e estruturar o problema em função da primeira alternativa escolhida. A alternativa já escolhida é excluída, e desconsiderada a distância desta localidade para as demais localidades restantes; isso se deve ao fato de que os clientes da área onde está a primeira unidade irão preferir encaminhar-se à unidade mais próxima.

4 Aplicação Numérica

A utilização do modelo proposto é genérica, pois busca analisar os aspectos de localização mais encontrados na literatura, sendo recomendado a sequência de passos apresentada no item anterior. Tal sequência permitirá adaptação do modelo a fim de incluir particularidades de alguns problemas, como a inclusão e exclusão de critérios e alternativas.

A aplicação apresentada a seguir não é um caso real específico, mas considera dados realísticos, baseados num determinado contexto e na estrutura de relação entre as variáveis consideradas.

Para determinar a localização de uma única unidade de serviço, espera-se obter ao final do passo 4 do SMARTER, a tabela 4.1. Considera-se:

- $n=7$ alternativas (A_n) potenciais de localização, cada uma presente numa área pré-determinada, que possui uma população (clientes em potencial). Essas áreas podem ser comunidades, bairros, cidades, regiões, etc.;
- $m = 5$ critérios (C_m) para análise das alternativas, descritos no item anterior;

Tabela 4.1 Matriz $n \times m$

	$C_1 = (p)$	$C_2 = (d)$	$C_3 = (c)$	$C_4 = (e)$	$C_5 = (a)$
A_1	50.000	6,5	1.800.000	Ótimo	Bom
A_2	35.000	8	1.300.000	Ruim	Regular
A_3	45.000	4,5	1.600.000	Péssimo	Regular
A_4	53.000	7	1.700.000	Regular	Ótimo
A_5	42.000	6	1.400.000	Péssimo	Bom
A_6	38.000	3	1.400.000	Bom	Péssimo
A_7	48.000	9	1.750.000	Regular	Bom

- o modelo determina qual bairro deve receber a instalação de serviço em função da análise global das alternativas e escolha daquela que obtiver maior utilidade global. Para isso, devem ser seguidos os passos seguintes do SMARTER.

- **Passo 5:** dominância, tem-se a tabela 4.2, sendo excluída a alternativa dominada A_7 dominada por A_4 .

Tabela 4.2 Matriz $n \times m$ com alternativas não dominadas

	$C_1 = (p)$	$C_2 = (d)$	$C_3 = (c)$	$C_4 = (e)$	$C_5 = (a)$
A_1	50.000	6,5	1.800.000	Ótimo	Bom
A_2	35.000	8	1.300.000	Ruim	Regular
A_3	45.000	4,5	1.600.000	Péssimo	Regular
A_4	53.000	7	1.700.000	Regular	Ótimo
A_5	42.000	6	1.400.000	Péssimo	Bom
A_6	38.000	3	1.400.000	Bom	Péssimo

- **Passo 6:** Utilidades Unidimensionais (ver tabela 4.3)

Tabela 4.3 Matriz $n \times m$ com alternativas não dominadas e utilidades unidimensionais

	$C_1 = (p)$	$C_2 = (d)$	$C_3 = (c)$	$C_4 = (e)$	$C_5 = (a)$
A_1	0,833	0,300	0,000	1,000	0,800
A_2	0,000	0,000	1,000	0,300	0,300
A_3	0,556	0,700	0,400	0,000	0,300
A_4	1,000	0,200	0,200	0,500	1,000
A_5	0,389	0,400	0,800	0,000	0,800
A_6	0,167	1,000	0,800	0,800	0,000

- **Passo 7:** Ordenação de Atributos. Efetua-se a parte 1 do “swing weights” e obtém-se a ordem de importância das faixas de valores dos atributos (*range*), conforme tabela 4.4. A ordem de importância “1” corresponde ao atributo mais importante.

Tabela 4.4 Ordenação dos atributos

Ordenação dos	1	2	3	4	5
Atributos	e	a	p	c	d

- **Passo 8:** Calcular os pesos diretamente, a partir da ordenação do passo 7 (ver tabela 4.5). Calcular todas as utilidades multiatributo (ver tabela 4.6)

Tabela 4.5 Pesos dos critérios - ROC weights

Pesos dos	e	a	p	c	d
critérios	0,4567	0,2567	0,1567	0,09	0,04

Tabela 4.6 Utilidades multiatributo

	$U(a) = \sum_j w_j u_j(a)$
A ₁	0,805
A ₂	0,304
A ₃	0,228
A ₄	0,668
A ₅	0,354
A ₆	0,503

- **Passo 9:** Decidir. A partir da tabela 4.6, escolhe-se a alternativa com maior valor de utilidade global U . Neste caso, recomenda-se a escolha de A₁.

4.1 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade permite ao decisor lidar com as incertezas a respeito da situação problema, de modo a compreender os efeitos de variações nos parâmetros e variáveis do sistema analisado, além de tirar conclusões a respeito de sua consistência; o decisor pode estabelecer cenários e voltar aos passos iniciais.

Nesta seção, serão descritas algumas análises de sensibilidades conduzidas a partir da aplicação numérica realizada, envolvendo cenários para mudanças na ordem preferencial dos critérios e nos valores das performances das alternativas. Problemas relacionados a sensibilidade do espaço de pesos são difíceis de encontrar na aplicação do método SMARTER; caso haja necessidade deve-se consultar Edwards et al (1994), Barron & Barret (1996) e Shepetukha & Olson (2001).

4.1.1 Variação na ordenação e na quantidade dos atributos

Para a aplicação numérica considerou-se $w_e \geq w_a \geq w_p \geq w_c \geq w_d$, e o resultado representado na tabela 4.6. Em função de mudanças na ordenação de importância dos atributos, podem ser obtidas utilidades globais diferentes para as alternativas. Tal análise é requerida devido aos erros provenientes da etapa de elicitação de preferências no passo 7 do SMARTER. As tabelas 4.7, 4.8, 4.9 contém os resultados da utilidade global das alternativas em alguns cenários com diferente ordenação de preferência dos critérios.

Tabela 4.7 Cenário X_1 - $U(a)$ com $w_a \geq w_e$

	$U(a) w_a \geq w_e \geq w_p \geq w_c \geq w_d$
A ₁	0,765
A ₂	0,304
A ₃	0,288
A ₄	0,768
A ₅	0,514
A ₆	0,343

Nos cenários X_1 e X_3 , as alternativas A_1 e A_4 obtiveram *performances* globais semelhantes, dificultando a escolha.

Tabela 4.8 Cenário X_2 - $U(a)$ com $w_p \geq w_a$

	$U(a) w_e \geq w_p \geq w_a \geq w_c \geq w_d$
A ₁	0,808
A ₂	0,274
A ₃	0,254
A ₄	0,668
A ₅	0,313
A ₆	0,520

Já no cenário X_2 , a alternativa A_1 manteve-se com grande vantagem em relação a A_4 e às demais opções.

Tabela 4.9 Cenário X_3 - $U(a)$ com $w_p \geq w_e$

	$U(a) w_p \geq w_e \geq w_a \geq w_c \geq w_d$
A ₁	0,775
A ₂	0,214
A ₃	0,365
A ₄	0,768
A ₅	0,391
A ₆	0,393

Para os cenários X_4 e X_5 , considera-se a exclusão do critério menos importante, *Distância média* (d), e os valores de $U(a)$ são recalculados (ver tabelas 4.10 e 4.11). A manutenção da ordenação de critérios utilizada na aplicação numérica acarreta, mais uma vez, um maior valor para $U(A_1)$.

Tabela 4.10 Cenário X_4 - $U(a)$ com $w_e \geq w_a \geq w_p \geq w_c$, e ausência do critério d

	$U(a) w_e \geq w_a \geq w_p \geq w_c$
A_1	0,859
A_2	0,300
A_3	0,187
A_4	0,690
A_5	0,323
A_6	0,491

Observa-se ainda que, ao considerar $w_a \geq w_e$, tem-se performances semelhantes para A_1 e A_4 . A alternativa A_1 mostra-se consistente e permanece sempre entre as opções de maior valor global, com os maiores valores ou ao menos muito próxima de $U(A_4)$.

Tabela 4.11 Cenário X_5 - $U(a)$ com $w_a \geq w_e \geq w_p \geq w_c$, e ausência do critério d

	$U(a) w_a \geq w_e \geq w_p \geq w_c$
A_1	0,809
A_2	0,300
A_3	0,262
A_4	0,815
A_5	0,523
A_6	0,291

4.1.2 Variação na performance das alternativas

Alterações na *performances* das alternativas em um ou mais critérios resultam em mudanças, possivelmente significativas, nos resultados globais do sistema. Nesta seção, serão discutidos cenários baseados em modificações na performance das alternativas. Como foi visto em 4.1.1, as opções A_1 e A_4 mostraram-se as melhores em relação às demais; com isso, os cenários a seguir estão centrados na mudança de *performance* de A_4 e de sua consequência, particularmente em relação à infra-estrutura do varejo (e).

Caso A_4 mude de *regular* para *bom* no critério (e), temos o cenário Z_i . A partir desta mudança, pode ser realizada a mesma análise do item anterior em relação à ordenação preferencial dos critérios. As tabelas 4.12 a 4.15 mostram os resultados das avaliações globais dadas as mudanças realizadas.

Tabela 4.12 Utilidades multiatributo com cenário Z

	$U(a) = \sum_j w_j u_j(a)$ com cenário Z
A ₁	0,805
A ₂	0,304
A ₃	0,228
A ₄	0,805
A ₅	0,354
A ₆	0,503

Tabela 4.13 Cenário Z₁ - U(a) com $w_a \geq w_e$

	$U(a) w_a \geq w_e \geq w_p \geq w_c \geq w_d$
A ₁	0,765
A ₂	0,304
A ₃	0,288
A ₄	0,845
A ₅	0,514
A ₆	0,343

Tabela 4.14 Cenário Z₂ - U(a) com $w_p \geq w_a$

	$U(a) w_e \geq w_p \geq w_a \geq w_c \geq w_d$
A ₁	0,808
A ₂	0,274
A ₃	0,254
A ₄	0,805
A ₅	0,313
A ₆	0,520

Tabela 4.15 Cenário Z_3 - $U(a)$ com $w_p \geq w_e$

	$U(a) w_p \geq w_e \geq w_a \geq w_c \geq w_d$
A_1	0,775
A_2	0,214
A_3	0,365
A_4	0,845
A_5	0,391
A_6	0,393

Retira-se agora o critério (d). Para a mesma ordenação dos atributos, os desempenhos são semelhantes; ao modificar essa ordem, a alternativa A_4 passa a ter melhor ou semelhante *performance* em relação a A_1 . Já para ordens preferencias diferentes, a exclusão do critério (d) também resulta numa prevalência do valor de $U(A_4)$.

Tabela 4.16 Cenário Z_4 - $U(a)$ com $w_e \geq w_a \geq w_p \geq w_c$, e ausência do critério (d)

	$U(a) w_e \geq w_a \geq w_p \geq w_c$
A_1	0,859
A_2	0,300
A_3	0,187
A_4	0,846
A_5	0,323
A_6	0,491

Tabela 4.17 Cenário Z_5 - $U(a)$ com $w_a \geq w_e \geq w_p \geq w_c$, e ausência do critério (d)

	$U(a) w_a \geq w_e \geq w_p \geq w_c$
A_1	0,809
A_2	0,300
A_3	0,262
A_4	0,896
A_5	0,523
A_6	0,291

Para um aumento ainda maior (cenário W_i) de A_4 no critério (e), igualando-se a *performance* de A_1 para o mesmo critério, são obtidos resultados ainda mais favoráveis à escolha de A_4 em detrimento de A_1 . As tabelas 4.18 a 4.21 sumarizam tais consequências

no caso das situações já trabalhadas neste capítulo. Caso haja a exclusão do critério menos importante (d), A_1 é dominada por A_4 e passa a ser desconsiderada.

Tabela 4.18 Utilidades multiatributo com cenário W

	$U(a) = \sum_j w_j u_j(a)$ com cenário W
A_1	0,805
A_2	0,304
A_3	0,228
A_4	0,896
A_5	0,354
A_6	0,503

Tabela 4.19 Cenário W_1 - $U(a)$ com $w_a \geq w_e$

	$U(a) w_a \geq w_e \geq w_p \geq w_c \geq w_d$
A_1	0,765
A_2	0,304
A_3	0,288
A_4	0,896
A_5	0,514
A_6	0,343

Tabela 4.20 Cenário W_2 - $U(a)$ com $w_p \geq w_a$

	$U(a) w_e \geq w_p \geq w_a \geq w_c \geq w_d$
A_1	0,808
A_2	0,274
A_3	0,254
A_4	0,896
A_5	0,313
A_6	0,520

Tabela 4.21 Cenário W_3 - $U(a)$ com $w_p \geq w_e$

	$U(a) w_p \geq w_e \geq w_a \geq w_c \geq w_d$
A_1	0,775
A_2	0,214
A_3	0,365
A_4	0,896
A_5	0,391
A_6	0,393

A análise de sensibilidade conduzida neste capítulo buscou a utilização de cenários para obter informações que contribuíssem para uma melhor escolha de localização. A alternativa A_1 apresenta-se mais vantajosa, como menciona o resultado da aplicação numérica, em grande parte dos testes realizados. Porém, mediante medidas de melhoria da alternativa A_4 em sua infra-estrutura (e), a escolha aconselhada passa a ser a alternativa A_4 . Esta análise é importante, pois permite ao decisor levar em conta questões de planejamento do negócio, incorporando à análise as possibilidades de ações futuras decorrentes de parceiras, ações de concorrentes ou instalações de negócios complementares.

5 Conclusão e sugestões para trabalhos futuros

Localizar instalações envolve, invariavelmente, a análise de diversos fatores. O conjunto de alternativas, seja discreto ou contínuo, possui desempenho diferente nos aspectos relevantes do problema. Muitas vezes acontece que, por desconhecimento do analista, do decisor ou por predominância de importância de determinado atributo, os modelos de decisão utilizados são tratados de forma monocritério, com apenas uma função objetivo ou critério de comparação.

Este trabalho procurou descrever o problema segundo as diferentes visões encontradas na literatura, as variantes do problema e os métodos de resolução mais difundidos. Num primeiro momento, centrou a análise nos métodos tradicionais da literatura de gerência da produção, logística, etc. Depois, foi apresentada uma revisão bibliográfica do problema sob uma ótica mais especializada, através de periódicos nacionais e internacionais.

A questão central do trabalho esteve na análise de procedimentos usuais incorretos metodologicamente, discussão dos pontos específicos que estão em desacordo com a base teórica do Apoio Multicritério à Decisão, e proposição de utilização do método SMARTER na solução de problemas de localização de unidades de serviço. A apresentação do conteúdo teórico do AMD mostrou-se necessária para o melhor entendimento das análises críticas aos métodos tradicionais.

Para exemplificar o uso do SMARTER, foi realizada uma aplicação numérica com números fictícios, porém num contexto realístico, e uma análise de sensibilidade baseada na avaliação de cenários. A análise de sensibilidade possibilitou uma melhor apreciação das alternativas e de seus desempenhos em situações diversas.

O método SMARTER mostrou-se bastante eficaz na resolução do problema pois apresenta-se de forma simples e metodologicamente correto no seu procedimento de agregação multiobjetivo. Os riscos de um tratamento incorreto da questão, relacionados à subjetividade inerente à localização de unidades de serviço, são diminuídos devido a análise de sensibilidade realizada.

Para trabalhos futuros em localização de instalações de unidades de serviço, além das oportunidades já relatadas na seção 2.5, podem ser destacadas:

- A aplicação do modelo proposto numa situação real;
- A incorporação de outros critérios ao modelo, de forma a adaptá-lo a diferentes contextos, tais como riscos atrelados aos empreendimentos potenciais;

- Descrição de procedimentos para a etapa de análise de sensibilidade, de modo a enriquecê-la e dar maior robustez ao método de decisão utilizado;
- Utilização de outros modelos que utilizem informações parciais para apoiar a tomada de decisão, tais como ELECTRE IV e VIP Analysis;
- Utilizar outros modelos multicritério que considerem um critério único de síntese, tais como MAUT, SMARTS e MACBETH;
- Abordar o problema a partir de um pensamento não compensatório, com a aplicação de modelos da Escola Francesa do Apoio Multicritério a Decisão;
- Utilização de métodos adequados à problemática de escolha ($P\alpha$) na resolução do problema.

Referências Bibliográficas

- ABOOLIAN, R.; BERMAN, O.; KRASS, D. Competitive facility location and design problem. *European Journal of Operational Research*, v.182, p. 40–62, 2007
- ALAMO, J. A.T.; BRINATI, M. A. Modelagem para localização de hubs no transporte de encomendas expressas. *Revista Produção*, v. 16, n. 3, 2006.
- ALSALLOUM, O.I. ; RAND, G.K. Extensions to emergency vehicle location models. *Computers & Operations Research*, v. 33, p.2725–2743, 2006.
- BALLOU, R.H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*. Tradução Raul Rubenich. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BALLOU, R. H. *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. São Paulo: Atlas, 1993.
- BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research* (2006), doi:10.1016/j.ejor.2006.09.022
- BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C. MACBETH — An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International Transactions in Operational Research*. v.1, p.489-500, 1994.
- BANA E COSTA, C.A. Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão. *Investigação Operacional*, v.8, n.1, p.117-139, 1988.
- BANKER, R.D.; CHARNES, A. & COOPER, W.W.. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, vol.30, n.9, p 1078-1092.
- BARRON, A.H.; BARRETT, B.E. The efficacy of SMARTER – Simple Multi-Attribute Rating Technique Extended to Ranking. *Acta Psychologica*, v.93, p.23-36, 1996.
- BARCELOS ,F. B.; PIZZOLATO, N. D.; LORENA, L. A. N. Localização de escolas do ensino fundamental com modelos capacitado e não-capacitado: caso de Vitória/ES. *Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, 2004.
- BERMAN, O.; GAVIOUS, A. Location of terror response facilities: A game between state and terrorist. *European Journal of Operational Research*, v.177, p.1113–1133, 2007.
- BOFFEY, B; SAEIDI, P. Web cache location. . *Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, 2004.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. *Logística Empresarial: O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento*. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2001.
- BRANDEAU, M.; CHIU, S. An overview of representative problems in location research. *Management Science*, v.35, n. 6, 1989.

- BRANS, J. P.; VINCKE, P.H. A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, v.31, p647-656, 1985.
- BROTCORNE, L; LAPORT, G.; SEMET, F. Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, v.147, p. 451–463, 2003.
- CAMPELLO DE SOUZA, F.M. *Decisões racionais em situações de incerteza*. 2.ed., Editora Universitária da UFPE: Recife, 2005.
- CAMPOS, V. R.; ALMEIDA, A. T.. Modelo multicritério de decisão para localização de nova Jaguaribara com VIP Analysis. *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 1, p. 91-107, 2006.
- CARDILLO, D .L.; FORTUNA, T. A DEA model for the efficiency evaluation of nondominated paths on a road network. *European Journal of Operational Research*, v.121, p.549±558, 2000.
- CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. de; FERREIRA, R. J. P.; FERREIRA, H. L.. Modelo Multicritério para alocação de transformadores de reserva técnica. In: CLAIO 2004 - The XII Latin-Iberian American Congress of Operations Research, 2004, Havana, 2004.
- CHARNES, A.; COOPER, W.W. & RHODES,E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, col.2, p.429-444.
- CHU, S.C.K ; CHU, L. A modeling framework for hospital location and service allocation. *International Transactions in Operational Research*, v. 7, p. 539-568, 2000.
- CLÍMACO, J. C. N.; ANTUNES, C. H.; ALVES, M. J. G. *Programação linear multiobjetivo*. Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2003
- CLÍMACO, J.C. N. An critical reflection on optimal decision. *European Journal of Operational Research*, v.153, p.506–516, 2004.
- CORRÊA, H.L; CAON, M.. *Gestão de serviços: lucratividade por meio de operações e de satisfação dos clientes*.-1.ed.-5.reimpr.- São Paulo: Atlas, 2006.
- CORREIA, I.; CAPTIVO, M.E. A Lagrangean Heuristic for a Modular Capacitated Location Problem. *Anais of Operations Research* , v.122, p.141–161, 2003.
- COSTA, M.G.; CAPTIVO, M. E.; CLÍMACO, J.C.N. Capacitated Single Allocation Hub Location Problems: A Bicriteria Approach. *Proceedings da Fourth International Conference on Decision Support for Telecommunications and Information Society*, Varsóvia, Setembro, 2004
- COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (CSCMP) 2007. Disponível em: <http://cscmp.org/AboutCSCMP/Definitions/Definitions.asp>
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R.B. *Fundamentos da Administração da Produção*. 3.ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001.

- DIAS, J. ; CAPTIVO, M.E.; CLÍMACO, J.C.N. An interactive procedure dedicated to a bicriteria plant location model. *Computers & Operations Research*, v.30, p.1977–2002, 2003.
- DIAS, L.C. & CLÍMACO, J.N. Additive Aggregation with variable interdependente Parameters: the VIP Analysis Software. *Journal of Operational Research Society*, v.51, n.9, p.1070-1082, 2000.
- DOERNER, K.; FOCKE, A.; GUTJAHR, W.J. Multicriteria tour planning for mobile healthcare facilities in a developing country. *European Journal of Operational Research*, v.179, p.1078–1096, 2007.
- ERKUT, E.; KARAGIANNIDIS, A.; PERKOULIDIS, G.; TJANDRA, S.A. A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. *Eur. J. Oper. Res.* (2007), doi:10.1016/j.ejor.2006.09.021
- FERNÁNDEZ, E.; PUERTO, J. Multiobjective solution of the uncapacitated plant location problem. *European Journal of Operational Research*, v.145, p.509–529, 2003.
- FIANI, R. *Teoria dos jogos: para cursos de administração e economia* . Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- GALVÃO, R.D. Uncapacitated facility location problems: contributions. *Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, 2004.
- GALVÃO, R.D.; CHIYOSHI, F.Y.; ESPEJO, L.G.A.; RIVAS, M.P.A. Solução do problema de localização de máxima disponibilidade utilizando o modelo hipercubo. *Pesquisa Operacional*, v.23, n.1, 2003.
- GOLDBERG, D. E. *Genetic Algorithms in search, optimization, and machine learning*. United States of America, Addison-Wesley Longman, 1997.
- GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S. & ALMEIDA, A.T. *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. 2.ed., Editora Atlas, Rio de Janeiro, 2006.
- GOMES, L. F. A. M. & LIMA, M. M. P. P. From Modeling Individual Preferences to Multicriteria Ranking of Discrete Alternatives: a look at Prospect Theory and the additive difference model. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, vol.17, 3, 171-184, 1992.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G.. *Administração da produção e operações*. 8.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.
- LARSON, P. D.; POIST R. F.; HALLDÓRSSON A.. Perspectives on logistics VS. SCM: a survey of SCM professionals. *Journal of Business Logistics*. n. 28, v. 1, 2007;
- LOIOLA, E.M.; MAIA DE ABREU, N.M.; BOAVENTURA NETTO, P.O. Uma revisão comentada das abordagens do problema quadrático de alocação. *Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, 2004.

- HAASTRUP, P.; MANIEZZO, V.; MATTARELLI, M.; MAZZEO RINALDI, F.; MENDES, I.; PARUCCINI, M. A decision support system for urban waste management. *European Journal of Operational Research*, V.109, p.330-341, 1998
- HAUPT, R. L. & HAUPT, S. E. *Practical genetic algorithms*. 2.ed. New Jersey, John Wiley & Sons, 2004.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.. *Introdução a pesquisa operacional*. Rio de Janeiro: Campus ; Sao Paulo : Ed. da USP, 1988.
- JAYARAMAN, V.; GUPTA, R.; PIRKUL, H.. Selecting hierarchical facilities in a service-operations environment. *European Journal of Operational Research*, v. 147, p. 613–628, 2003.
- JIA, H.; ORDÓÑEZ, F. ; DESSOUKY, M. M. Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers & Industrial Engineering*, v. 52, p. 257–276, 2007.
- KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. *Decision with Multiple Objectives: Preferences and value trade-offs*. John Wiley & Sons, 1976.
- KEENEY, R.L. *Value-focused thinking*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1992.
- KLIMBERG, R.K.; RATICK, S.J. Modeling data envelopment analysis (DEA) efficient location/allocation decisions. *Computers & Operations Research*, v. 35, p.457 – 474, 2008.
- LINS, M.P.E.; ÂNGULO-MEZA, L.; MOREIRA DA SILVA, A.C. A multi-objective approach to determine alternative targets in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, v.55, p. 1090–1101, 2004.
- LOPES, R.L. ;CAIXETA FILHO, J.V.. Suinocultura no Estado de Goiás: aplicação de um modelo de localização. *Pesquisa Operacional*, Vol. 20, No. 2, 2000.
- LOURENÇO, R. P.; COSTA, J.P. Using ELECTRE TRI outranking method to sort MOMILP nondominated solutions. *European Journal of Operational Research*, v.153, p.271–289, 2004
- MARIANOV, V.; REVELLE, C. The Queueing Maximal Availability Location Problem: A model for the siting of emergency vehicles. *European Journal of Operational Research*, v. 93, p.110-120, 1996.
- MARIANOV, V.; RÍOS, M.; ICAZA, M.J. Facility location for market capture when users rank facilities by shorter travel and waiting times. *European Journal of Operational Research* (2007), doi:10.1016/j.ejor.2007.07.025
- MELLO, J. C. C. B. S. de; GOMES, E.G.; GOMES, L. F. A. M. ; NETO, L.B.; MEZA, L.A. Avaliação do tamanho de aeroportos portugueses com relações multicritério de relação. *Pesquisa Operacional*, v.25, n.3, p.313-330, 2005

- MLADINEOA, N.; MARGETAA, J.; BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. Multicriteria ranking of alternative locations next term for small scale hydro plants. *European Journal of Operational Research*, v.31, p. 215-222, 1987.
- MOREIRA, D. A. *Administração da produção e operações*. 3 ed. São Paulo, Pioneira, 1998.
- NDIAYE, M; ALFARES, H. Modeling health care facility location for moving population groups. *Computers and Operations Research* (2006), doi: 10.1016/j.cor.2006.09.025
- O'KELLY, M.; SKORIN-KAPOV, D.; SKORIN-KAPOV, J. Lower bounds for the hub location problem. *Management Science*. v.41, n.4, 1995.
- OLSON, S.H. & DARKIN, M.S. Strategic facility location: a review. *European Journal of Operational Research*, v.111, p. 423-447, 1998.
- PACHECO, R.F.; CIRQUEIRA L.Z. Solução simultânea de problemas logísticos de localização de depósitos e centralização de estoques. *Revista Produção*, v. 16, n. 3, p. 481-492, Set./Dez. 2006.
- PIRKUL, H.; SCHILLING, D.A. The Maximal Covering Location Problem with Capacities on Tot. *Management Science*, v.37, n.2, 1991.
- PIZZOLATO, N. D.; BARROS, A.G.; BARCELOS, F.B. ; CANEN, A.G. Localização de escolas públicas: síntese de algumas linhas de experiências no Brasil. *Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, 2004.
- PODINOVSKI, V. A DSS for multiple criteria decision analysis with imprecisely specified tradeoffs. *European Journal of Operational Research*, v.113, p.261-279, 1999.
- RAHMAN, S.-u. ;SMITH, D.K.. Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations. *European Journal of Operational Research*, v.123, p.437-452, 2000.
- REVELLE, C; MURRAY,A.T.; SERRA, D. Location models for ceding market share and shrinking services. *Omega*, v. 35, p. 533 – 540, 2007
- RHIM, H.; HO, T.H.; KARMARKAR, U.S. Competitive location, production, and market selection. *European Journal of Operational Research*, v.149, p.211–228, 2003
- ROY, B. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- RODRIGUEZ, V.; ALVAREZ, M.J.; BARCOS, L. Hub location under capacity constraints. *Transportation Research Part E* 43 , p. 495–505, 2007
- SAATY, R.W. The analytical hierarchy process: What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, v.9, p.161-176, 1987.
- SAINT'ANNA, C.H.M. de. Uma abordagem sobre a utilização de indicadores e desempenho na cadeia de suprimentos em uma indústria alimentícia do Nordeste. – Recife: O Autor,

2006. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- SALMERON, J.L.; HERRERO, I. An AHP-based methodology to rank critical success factors of executive information systems. *Computer Standards & Interfaces*, v. 28 , p.1 – 12, 2005.
- SANTOS, I.M. dos. Proposta de um modelo de avaliação de desempenho para empresas de serviços certificados com a ISO 9001:2000. Recife: O Autor, 2006. 179 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- SANTOS DA ROSA, E.P.; SELBITTO, M.A.; MENDES, L.W. Avaliação multicriterial de desempenho e separação em aglomerados de fornecedores críticos de uma manufatura OKP. *Revista Produção*, v. 16, n.3, 2006.
- SARTORI JUNIOR, I. R.; CECILIN, A. L. Comparação entre Métodos Exatos e Heurísticos para tratar o Problema de Roteamento de Veículos em um Ambiente Fabril. In: XXVI ENEGEP, Fortaleza-CE, Brasil. Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 2006, 2006.
- SELBITTO, M.A.; MENDES, L.W. Avaliação comparativa do desempenho de três cadeias de suprimentos em manufatura. *Revista Produção*, v. 16, n.3, 2006.
- SHEPETUKHA, Y.; OLSON, D.L. Comparative analysis of multiattribute techniques based on cardinal and ordinal inputs. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 34, p. 229-241, 2001.
- SINUANY-STERN, Z.; MEHREZ, A.; TAL, A.; SHEMUEL, B. The location of a hospital in a rural region: The case of the Negev. *Location science*, v.3, p.255-266, 1995.
- SKORN-KAPOV, D.; SKORN-KAPOV, J.; O Kelly, M. Tight linear programming relaxations of uncapacitated p-hubmedian problems. *European Journal of Operational Research*, v. 94, p. 582-593, 1996.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2 ed. São Paulo, Atlas, 2002
- STILLWELL, W.G.; SEAVER, D.A. & EDWARDS, W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organizational behavior and human performance*, v.28, p.62-77, 1981.
- STUMMER, C; DOERNER, K; FOCKE, A; HEIDENBERGER, K. Determining Location and Size of Medical Departments in a Hospital Network: A multiobjective decision support approach. *Health Care Management Science*, v. 7, p.63-71, 2004.
- TAKEDA, R.A.; WIDMER, J.A.; MORABITO, R. Aplicação do modelo hipercubo de filas para avaliar a descentralização de ambulâncias em um sistema urbano de atendimento médico de urgência. *Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, 2004.

- TYAGI, R.; DAS, C. A methodology for cost versus service trade-offs in wholesale location-distribution using mathematical programming and analytical hierarchy process. *Journal of Business Logistic*, v. 18, n. 2, 1997.
- VINCKE, P. *Multicriteria decision-aid*. John Wiley & Sons, 1992.
- WAGNER, H. M. *Pesquisa operacional*. 2.ed. -. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1985.
- WU, T.H.; LIN, J.N. Solving the competitive discretionary service facility location problem. *European Journal of Operational Research*, v. 144, p. 366–378, 2003.
- ZAMBOM, K.L.; CARNEIRO, A.A.F.M.; SILVA, A.N.R.; NEGRI, J.C. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG. *Pesquisa Operacional*, v.25, n.2, p.183-199,2005.
- ZELENY. M. Multiple criteria decision making: eight concepts of optimality. *Human Systems Management*, v.17, p.97–107, 1998.
- ZHANG, L.; RUSHTON, G. Optimizing the size and locations of facilities in competitive multi-site service systems. *Computers & Operations Research*, v. 35, p.327 – 338, 2008.