

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS

Maximilian Karl Friedrich

**LOCALIZAÇÃO DE UMA FÁBRICA DE PNEUMÁTICOS
COM MODELAGEM MATEMÁTICA**

Porto Alegre

2010

Maximilian Karl Friedrich

LO LOCALIZAÇÃO DE UMA FÁBRICA DE PNEUMÁTICOS COM MODELAGEM MATEMÁTICA

Trabalho de conclusão do curso de graduação
apresentado ao Departamento de Ciências
Administrativas da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Orientador: PH.D. Denis Borenstein

Porto Alegre

2010

Maximilian Karl Friedrich

LOCALIZAÇÃO DE UMA FÁBRICA DE PNEUMÁTICOS COM MODELAGEM MATEMÁTICA

Trabalho de conclusão do curso de graduação
apresentado ao Departamento de Ciências
Administrativas da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Orientador: PH.D. Denis Borenstein

Conceito final:

Aprovado em de de

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Ribas Santos
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientador – PH.D. Denis Borenstein
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que estiverem ao meu lado e me apoiaram nesta caminhada.

RESUMO

Um fabricante de pneus entra no mercado brasileiro. Por essa causa, uma fábrica pneumática deve ser construída no Brasil para abastecer o mercado local. O mercado inteiro deve receber os dois tipos de pneus, pneus agrícolas e pneus de passeio, unicamente dessa fábrica. Para achar o local ideal para a construção dessa nova fábrica, uma análise matemática é realizada. Essa análise é feita com o modelo p -mediano sem restrição de suprimento e sem custos de instalação e custos fixos. A justificativa pelo uso do modelo p -mediano é recebida através de uma comparação dos diferentes modelos matemáticos de localização de instalações. O cálculo da solução ótima é feito com o programa *Sitation*.

A partir dos resultados da análise matemática, uma análise qualitativa é feita. Os fatores qualitativos são todos os custos e propriedades de um local que não podem ser representados numericamente. Além disso, são levados em consideração benefícios ganhos das comunidades, riscos específicos e a infra-estrutura.

Por fim, é feita uma síntese dos resultados matemáticos e qualitativos para denominar o local ótimo para essa nova fábrica pneumática.

Palavras Chave: localização, p -mediano, pesquisa operacional, cadeia de suprimentos

ABSTRACT

A tire-manufacturer enters the Brazilian market. Due to its entrance, a manufacturing facility has to be built in Brazil to serve the local market. The whole market has to receive the two types of tires, automobile tires and tractor tires, exclusively from this facility. In order to find the optimal location for this plant, a mathematical analysis is realized. This analysis is made with the unrestricted one facility p-median model without installation and fixed costs. Comparing various different mathematical localization models, the p-median model is chosen. The calculation of the optimal solution is realized with the computer program *Sitation*.

Based on the mathematical analysis, a qualitative analysis is made. The qualitative factors can be defined as all the costs and properties of a location that cannot be quantified. Furthermore, possible benefits from the local authorities, specific risks and the infrastructure, will be discussed.

Finally, a synthesis of the mathematical and the qualitative results is made in order to determine the optimal location for this new tire manufacturing plant

Key words: localization, p-median, operational research, operations research, supply chain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: A forma <i>standard</i> do esquema de decisão no processo de hierarquia analítica: Uma hierarquia com k níveis. Fonte: Zahedi (1986).....	29
Figura 4.2: Exemplo para uma avaliação simples de fatores qualitativos. Fonte: Dilworth (2000).....	30
Figura 5.1: Extrato de um arquivo de dados usado nesse estudo de caso.....	32
Figura 6.1: Dados centrais do local ótimo para os pneus agrícolas.....	35
Figura 6.2: Mapa mostrando o local ótimo para os pneus agrícolas.....	36
Figura 6.3: Dados centrais do local ótimo para os pneus de passeio.....	36
Figura 6.4: Mapa mostrando o local ótimo para os pneus de passeio.....	37
Figura 6.5: Mapa visualizando as demandas dos locais.....	37
Figura 6.6: Fatores qualitativos e importâncias.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: Comparação das distâncias ponderadas médias dos locais alternativos	38
Tabela 6.2: Comparação das distâncias ponderadas médias dos locais alternativos com mais proximidade de São Paulo	38

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

d_i = Distância até o ponto i

d_{ij} = Distância entre nó de demanda i e possível local de facilidade j

h_i = Demanda ao nó i

L^n = Função objetiva da função lagrangeana (13) na iteração n

P = Número de facilidades a localizar

R_i = Tarifa de transporte até o ponto i

t^n = Tamanho dos degraus no procedimento lagrangeano

UB = Melhor (menor) limite superior na função objetiva p -mediano

V_i = Volume de demanda do ponto i

\bar{X} , \bar{Y} = Coordenadas da instalação localizada

X_i , Y_i = Coordenadas dos pontos de fonte e demanda

X_j = Variável de localização, se uma facilidade é construída no local j ou não

Y_{ij} = Variável de alocação, se a facilidade no local j serve o nó de demanda i

Y_{ij}^n = Valor ótimo da variável de alocação (Y_{ij}) na iteração n

α^n = Constante na iteração n , com α^1 igual a 2

λ_i = Multiplicador lagrangeano

AC = Acre

AL = Alagoas

AM = Amazonas

ANFAVEA = Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANIP = Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos

ANTT = Agência Nacional de Transportes Terrestres

AP = Amapá

BA = Bahia

CE = Ceará

DENATRAN = Departamento Nacional de Trânsito

DF = Distrito Federal

ES = Espírito Santo

GO = Goiás

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MA = Maranhão

MG = Minas Gerais

MS = Mato Grosso do Sul

MT = Mato Grosso

PA = Pará

PB = Paraíba

PE = Pernambuco

PI = Piauí

PR = Paraná

RJ = Rio de Janeiro

RENAVAM = Sistema Nacional de Registro de Veículos

RN = Rio Grande do Norte

RO = Rondônia

RR = Roraima

RS = Rio Grande do Sul

SC = Santa Catarina

SE = Sergipe

SINET = Sistema Nacional de Estatística de Trânsito

SP = Estado de São Paulo

TO = Tocantins

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	13
3	OBJETIVOS	15
3.1	Objetivo geral.....	15
3.2	Objetivos específicos.....	15
4	FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
4.1	Fatores importantes para a localização de uma fábrica	17
4.1.1	Fatores relacionados ao mercado	17
4.1.2	Fatores tangíveis.....	18
4.1.3	Fatores intangíveis.....	19
4.1.4	Métodos para obter os dados necessários.....	19
4.2	Modelos aplicáveis.....	20
4.2.1	Modelos da pesquisa operacional.....	20
4.2.2	Modelos qualitativos	27
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	31
5.1	Método usado	31
5.2	Obtenção dos dados relevantes.....	31
5.3	Software usado	31
5.4	Construção dos arquivos usados.....	33
5.5	Computação dos arquivos com Sitation	34
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
6.1	Resultados da computação dos arquivos com Sitation.....	35
6.2	Incorporação de fatores qualitativos na solução.....	39
7	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	ANEXO.....	45

1 INTRODUÇÃO

Segundo Kodali e Routroy (2006), nos últimos anos a construção de uma cadeia de suprimentos competitiva ganhou importância para todas as empresas que estão envolvidas num mercado globalizado e altamente competitivo. Uma cadeia de suprimentos bem planejada economiza custos e possibilita mais curtos prazos de entrega e melhor acesso ao mercado de fornecedores. Especialmente a construção de uma fábrica a fim de entrar num mercado novo tem um caráter muito estratégico para uma empresa. A localização dessa fábrica influencia a forma do sistema logístico inteiro, determinando fatores importantes, como por exemplo, a variabilidade da demanda, a flexibilidade e a qualidade. Além disso, os investimentos de longo prazo que são feitos são quase irreversíveis.

Muitos métodos para resolver o problema da localização podem ser aplicados, segundo Arinze e Banerjee (1992). As propostas para solucionar esse tipo de problema vêm das mais diferentes áreas, como das ciências políticas, da engenharia industrial ou da pesquisa operacional. As metodologias podem ser quantitativas, qualitativas ou mesmo uma mistura entre as duas.

Segundo Brandeau e Chiu (1989), a pesquisa depois dos anos 50 sugeriu muitos diferentes modelos afim de resolver os problemas de localização com cada vez mais exatidão. Diferentes variáveis de decisão foram incorporadas e métodos probabilísticos desenvolvidos. Algoritmos e heurísticas que ficam cada vez mais eficientes são desenvolvidos e a potência dos computadores está aumentando com uma velocidade impressionante. Isso possibilita a computação de problemas cada vez mais complexos e sofisticados.

Mesmo assim fica a discussão de qual modelo deve ser usado para os diferentes problemas de localização e quais variáveis devem ser levadas em conta para modelar o problema da melhor maneira. Também a síntese entre modelos quantitativos, qualitativos e o instinto dos empreendedores é um assunto fortemente discutido. Pois uma localização que é 100% ideal quase nunca é encontrada.

2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Segundo Brandeau e Chiu (1989), a localização de facilidades é um tema importante em muitas áreas, como a área pública, que precisa localizar, entre outras coisas, postos de saúde e postos de bombeiros. O alvo é tornar acessível os serviços fornecidos para a maior parte da população possível. Na área militar, a localização de bases militares e estabelecimentos de defesa é uma questão crucial para a segurança do país. E uma grande parte da pesquisa na área da localização foi também feita no setor empresarial. A localização de armazéns, varejos e fábricas se tornou uma questão estratégica e tática que pode ajudar a empresa de economizar dinheiro a curto e especialmente a longo prazo. Segundo Chuang (2002), a localização afeta também a possibilidade da empresa de fornecer um bom serviço para os clientes e reagir flexivelmente a mudanças socioeconômicas e estruturais. Kodali e Routroy (2006) apontam que especialmente no mundo globalizado de hoje, onde as mudanças podem ocorrer muito rapidamente, uma localização inteligente é indispensável e aumenta a competitividade da empresa no mercado.

A entrada num novo mercado é muitas vezes a única opção que uma empresa possui para crescer mais e ficar competitiva. A empresa pode começar com a exportação de produtos, mas a partir de uma demanda bastante grande uma política de centralização e exportação não vale mais a pena. Dilworth (2000) mostra que a BMW decidiu em 1992 construir uma fábrica de carros nos Estados Unidos devido à importância desse mercado para ela. Os custos de produção são até similares com os mesmos na Europa, mas a economia com taxas de importação e custos de transporte fez esse investimento valioso para a BMW. Especialmente se um crescimento forte da demanda no país alvo pode ser pressuposto, a construção de uma fábrica e da rede de distribuição pode render muito no futuro.

O mercado brasileiro de pneus é bastante grande e em constante crescimento. Segundo o DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito), o número de carros no Brasil inteiro já chegou a quase 35.000.000 e, segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), tem em volta de 820.000 tratores. Para todos esses veículos devem ser fornecidos pneus no mercado de reposição e de equipamento original. Esse mercado é dominado ainda por grandes empresas como Pirelli, Goodyear, Bridgestone/Firestone, Michelin e Continental. Todas, com exceção da Continental, fazem parte da ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos) que representa grande parte do mercado brasileiro. Nos documentos disponibilizados pela ANIP pode ser visto que depois de um encolhimento do mercado em

2009 de 10% entre os membros da ANIP e especialmente de 24% no setor dos pneus agrícolas, o crescimento projetado para 2010 e nos anos seguintes vai ser bastante grande. Especialmente as medidas *antidumping* tomadas pelo governo brasileiro, que protegem o mercado brasileiro de pneus produzidos na China, e o desenvolvimento favorável do crescimento macroeconômico ajudam o mercado a se recuperar. Uma empresa pneumática quer entrar nesse mercado para ganhar num prazo médio em volta de 10% das vendas totais.

No estudo de caso tratado nesse trabalho, o problema de uma localização de fábrica é analisado. Uma empresa pneumática quer entrar no mercado brasileiro e precisa construir todas as facilidades de produção e distribuição ainda. Primeiro deve ser determinado o local da fábrica que vai servir o mercado brasileiro inteiro. Ela produz diferentes tipos de pneus e nesse estudo de caso são incorporados os pneus agrícolas e os pneus de passeio. Esses dois tipos têm importâncias estratégicas diferentes para a empresa. Também os custos de transporte, a repartição e concentração da demanda no Brasil são muito distintos de um tipo de pneu para o outro. Por isso deve ser feito duas localizações diferentes e depois ser encontrado o compromisso ideal. Isso é feito principalmente com o modelo matemático p-mediano e com critérios qualitativos.

3 OBJETIVOS

3.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral consiste em achar o local ideal para a construção de uma fábrica pneumática afim de minimizar os custos futuros de transporte, servindo todos os nós de demanda. Além da minimização dos custos de transporte, devem ser incorporados fatores qualitativos essenciais para a localização da fábrica nesse caso específico.

3.2 *Objetivos específicos*

Primeiro, as melhores soluções para os dois tipos de pneus devem ser encontradas com o modelo matemático p-mediano. Para achar um compromisso entre os dois, alternativas perto dos dois devem ser avaliadas em termos de custos de transporte para achar uma melhor solução globalmente.

Por fim, é feita uma proposta de análise com fatores qualitativos que incorpora todos os fatores importantes e destina a importância de cada um.

4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa na área da localização de instalações começou com um trabalho de Alfred Weber (1909). Ele queria achar o local ideal de um armazém a fim de fornecer bens aos clientes a custos mínimos. Segundo Brandeau e Chiu (1989) surgiram depois vários autores que trataram problemas relacionados à localização em diversas áreas. Enquanto nesses trabalhos o custo e o tempo do transporte são as únicas variáveis, com o tempo surgiram outros trabalhos que levaram em consideração diferentes aspectos dos problemas de localização em si e também dos locais possíveis.

A localização de qualquer instalação tem um caráter estratégico e deve ser considerada como importante. Segundo Dilworth (2000), o local de todas as instalações de uma empresa, especialmente de uma fábrica, tem um impacto muito importante na competitividade de uma empresa. Uma localização bem sucedida baixa os custos totais da operação minimizando o conjunto de investimentos iniciais, custos de ajuste e custos operacionais de transporte e de mão de obra. O potencial de fazer economias com um local comparado a outro não economiza dinheiro na balança da empresa, mas só evita custos de oportunidade. Por esta razão é essencial realizar uma pesquisa rigorosa antes de escolher o local onde a instalação será finalmente construída.

Segundo Ballou (2006), existem quatro categorias em quais os problemas de localização devem ser classificados antes de começar qualquer análise. A primeira categoria é a força direcionadora que é o principal fator de localização. Em muitos casos é o custo de transporte, em outros, como por exemplo, para um serviço de pronto socorro, é o atendimento o mais rápido possível do cliente. No caso de um varejo, o fator principal são as receitas a serem geradas. A segunda categoria é o número de instalações a localizar. Às vezes isso já é definido, outras vezes o número deve ainda ser determinado por modelos matemáticos ou raciocínio lógico. Além disso, a descontinuidade das escolhas deve ser levada em consideração. Nos métodos de localização contínuos, todos os pontos dentro de uma área definida podem fazer parte dos possíveis locais. Em contrapartida, nos métodos discretos, só um número de locais definidos por questões de razoabilidade pode ser levado em consideração. O quarto ponto importante é o grau de agregação de dados. Quanto maior a quantidade de dados disponíveis é, mais exata vai ser a determinação do local de construção da instalação. No caso de uma fábrica, saber a cidade onde construí-la muitas vezes já é suficiente. Contrariamente, um varejo precisa dados mais exatos, como dados sobre

concentração de demanda e concorrência, para achar a rua para se instalar. Segundo Ballou (2006), o horizonte de tempo também influencia a localização. Métodos estáticos só consideram dados de um período, métodos dinâmicos já cobrem muitos anos de uma vez só. Especialmente se o projeto necessita de um investimento inicial alto, um método dinâmico deve ser aplicado a fim de minimizar o risco de falha.

4.1 Fatores importantes para a localização de uma fábrica

Weber (1909) define fatores de localização como "[...] vantagens obtidas devido a uma atividade econômica que ocorre num local particular ou em vários locais, e não nos locais alternativos [...]". Um levantamento de muitos dos fatores relevantes para localizar uma fábrica ou qualquer outra instalação empresarial se acha nas publicações de Tong (1979), Badri et al. (1995) e Brush et al. (1999).

Dilworth (2000) organizou esses fatores em três grupos: fatores relacionados ao mercado, fatores (de custos) tangíveis e fatores intangíveis. Todos esses fatores afetam o sucesso imediato e futuro do negócio exercido com a instalação a localizar. Só que alguns fatores podem ser avaliados em termos de custos e outros somente em termos de importância relativa para a empresa.

4.1.1 Fatores relacionados ao mercado

Segundo Dilworth (2000) e McKenzie (2008), estratégias de mercado devem ser levadas em consideração na localização de uma instalação empresarial. Para algumas empresas é importante estar localizada perto de competidores. À primeira vista isso não traz nenhuma vantagem. Mas na verdade isso é favorável para uma empresa que entra no mercado e quer se localizar perto de uma rede já existente de fornecedores e prestadores de serviços logísticos. Ficar perto dos clientes é também muito importante para algumas firmas, mas no caso da localização de uma fábrica, o fator mais importante é poder cobrir o mercado inteiro a custos mínimos.

A possibilidade de localizar a fábrica num país subdesenvolvido a fim de baixar os custos deve, segundo McKenzie (2008), ser avaliada sabiamente. Assim, geralmente a produção dos bens vai ficar bastante distante do mercado principal, o que gera custos de

transporte elevados e um risco maior de uma situação sem estoque no mercado alvo. Especialmente para empresas sem clientes fiéis, uma situação sem estoque pode desviar demanda para competidores que já estão estabelecidos no mercado. Também o acesso a mão-de-obra qualificada pode ser restrita. E afinal, as taxas de importação do mercado alvo podem impedir uma produção fora desse país.

4.1.2 Fatores tangíveis

Os fatores tangíveis são, segundo Dilworth (2000), relacionados a custos que podem ser estimados com bastante exatidão ou a pré-requisitos sem os quais uma construção e produção bem-sucedida não seria possível. Requisitos básicos são o acesso a água e a eletricidade. Se precisarem ser instalados unicamente para a fábrica que será construída, isso pode sair caro para a empresa. Obviamente os custos da água e da eletricidade variam de local em local. Dependendo do bem fabricado, esses custos podem afetar os custos variáveis substancialmente. Outro recurso, que não é conseguido em todos os locais viáveis, é mão de obra qualificada com salários baixos. Os empregados devem também ter certa flexibilidade e motivação.

O fator tangível mais tratado na literatura são os custos de transporte. Eles são levados em consideração por vários autores como Dilworth (2000), McKenzie (2006) e os autores apresentados por Brandeau e Chiu (1989) e Owen e Daskin (1998). Eles representam a base mais importante dos modelos quantitativos tratados a seguir. A presença de vários meios de transporte pode ser um dos fatores estratégicos mais importantes para a localização de uma fábrica. Ter acesso a autoestradas, trilhos de trem, portos marítimos ou fluviais e aeroportos ao mesmo tempo baixa a dependência de um meio de transporte. Isso oferece a possibilidade de trabalhar com fornecedores internacionais e assim ter uma posição de negociação melhor. E também faz a empresa menos vulnerável a aumentos de preços de um meio de transporte.

Esse último ponto pode contrabalançar todas as vantagens que outros locais fornecem. Segundo Dilworth (2000), a importância de menores taxas e impostos oferecidos pelas autoridades políticas e menores custos iniciais ligados a um menor preço de terra ou subsídios da região escolhida sempre deve ser criticamente avaliado à luz dos pontos recém-citados.

4.1.3 Fatores intangíveis

Segundo Dilworth (2000), os fatores intangíveis relacionados à localização de uma instalação são muitas vezes ligados a custos que não podem ser elevados exatamente. Mesmo assim, eles podem impedir a construção da facilidade no local analisado ou dificultar substancialmente o sucesso imediato e futuro da expansão empresarial. Por isso, a decisão final de localização sempre deve ser baseada também nesses fatores.

Kodali e Routroy (2006) amostram que procurar um local para construir uma fábrica fora do país de origem causa sempre incerteza sobre fatores como as cotas de comércio, a cultura empresarial, o sistema monetário e outros. Além disso, regulamentos especiais, que restringem a entrada de certas indústrias na região ou limitam a quantidade de CO₂ ou produtos tóxicos que podem ser emitidos, podem impedir a construção de certas fábricas totalmente. Esses regulamentos podem ser contornados negociando com os políticos responsáveis das regiões escolhidas.

Mesmo assim, segundo Dilworth (2000), uma empresa nunca deve pensar que pode construir uma fábrica sem a aprovação da população ao seu redor. Já que o investimento é de longo prazo, cada risco que pode impedir o sucesso da nova fábrica no futuro deve ser eliminado. Ter as pessoas em volta a favor do projeto minimiza o risco de manifestações e uma possível pressão pública que pode ter como resultado o encerramento da manufatura.

Dilworth (2000) mostra também que um auxílio político a favor da fábrica se torna muito importante, se a empresa está planejando com um futuro aumento da capacidade da fábrica. As autoridades políticas devem ser cooperativas em questão de possíveis alargamentos de estradas, aumentos da acessibilidade de eletricidade e aprovações de planos de ampliação da fábrica.

4.1.4 Métodos para obter os dados necessários

Antigamente, obter as informações necessárias sobre todos os fatores recém-citados era um problema considerável. Segundo Albert (1988), para cada projeto de localização uma pesquisa específica devia ser realizada e isso impediu a expansão internacional de várias firmas com recursos limitados.

Hoje em dia programas de computadores que contem várias informações sobre regiões e locais específicos são usados. Esses programas são referenciados na literatura como sistemas de informações geográficas (Albert, 1988 e Swink e Speier, 1999). As informações sobre a infra-estrutura, a demanda, as características geográficas, etc. são colhidas de empresas especializadas que vendem essas informações para muitas empresas. O efeito disso é que informações podem ser obtidas mais facilmente e por um menor preço. Na internet, nos sites de órgãos públicos ligados ao transporte de bens, demanda numa certa área ou sobre financiamento e taxas, podem ser obtidos informações gratuitas e muito úteis.

4.2 Modelos aplicáveis

Para achar o local mais apropriado para construir uma fábrica, vários modelos quantitativos e qualitativos podem ser usados. Segundo Ranhawa e West (1995), só uma combinação desses modelos leva a resultados ótimos na localização de qualquer instalação industrial. Os dois propõem um conceito de duas fases para decidir um problema de localização empresarial. No primeiro passo um modelo matemático é usado para determinar alguns locais que fornecem a maior eficiência de custos. Depois vai ser aplicado um modelo qualitativo de decisão para achar o local ótimo entre as alternativas dadas.

4.2.1 Modelos da pesquisa operacional

Um problema de localização é definido como "um problema de alocação de recursos no espaço" (Brandeau e Chiu, 1989). O espaço é modelado como uma rede de pontos representando os possíveis servidores e os clientes (pontos de demanda). O objetivo da localização varia com o problema de localização específico. Geralmente os custos devem ser minimizados, mas certo grau de qualidade de serviço deve ser mantido mesmo assim. Essa qualidade de serviço pode até representar o alvo principal na localização de uma fábrica ou outra facilidade empresarial.

Os modelos matemáticos tratados na literatura variam muito em termos de objetivos, de variáveis e especialmente de complexidade. Segundo Owen e Daskin (1998), os modelos matemáticos podem ser usados para achar o número de facilidades e o local das mesmas levando em consideração muitas variáveis diferentes. Como o foco desse trabalho é no

problema de localização de uma única fábrica com pressupostos estáticos e determinados, apenas modelos para esse tipo de problemas vão ser tratados em detalhes na parte seguinte. O objetivo é unicamente minimizar os custos de transporte que são pressupostos diretamente ligados à distância entre a fábrica e os pontos de demanda.

4.2.1.1 Modelo p-gravidade

Com tarifas de transporte, o volume de demanda e as coordenadas dos diferentes pontos dados, esse modelo de localização contínua representa uma abordagem bem simples para solucionar um problema de localização (Ballou, 2006). O objetivo é minimizar a soma das distâncias ponderadas. Isto é,

$$MinTC = \sum_i V_i R_i d_i \quad (1)$$

em que

TC = custo total de transporte

V_i = volume no ponto i

R_i = taxa de transporte até o ponto i

d_i = distância até o ponto i da instalação a ser localizada

A heurística para solucionar esse problema é facilmente aplicável e não requer muito desempenho computacional. As coordenadas da instalação a localizar são calculados da seguinte forma:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad (2)$$

e

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad (3)$$

em que

\bar{X}, \bar{Y} = Coordenadas da instalação localizada

$X_i, Y_i =$ Coordenadas dos pontos de fonte e demanda

A distância (d_i) é estimada por

$$d_i = K \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

em que K representa um fator de escala para converter uma unidade de uma coordenada em uma medida de distância, como milhas ou quilômetros.

Para calcular os primeiros pontos \bar{X} e \bar{Y} usa-se a seguinte fórmula onde os termos de distância estão omitidos:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i}{\sum_i V_i R_i} \quad (5)$$

e

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i}{\sum_i V_i R_i} \quad (6)$$

As equações (5) e (6) são usadas como primeiro passo para calcular os primeiros valores de \bar{X} e \bar{Y} . Assim as distâncias iniciais d_i são calculadas através da equação (4). Essas distâncias são usadas a seguir nas equações (2) e (3) para calcular os valores de \bar{X} e \bar{Y} . Esses valores por sua vez são usados para calcular novas distâncias que servem para aproximar as coordenadas \bar{X} e \bar{Y} ao lugar ótimo. Quando \bar{X} e \bar{Y} não mudam mais ou mudam tão pouco que não minimizam muito mais os custos, o processo pode ser interrompido.

A apresentação desse processo de solução foi feita para dar um exemplo de um modelo de localização contínuo e para mostrar o funcionamento de um caminho de solução iterativo bastante fácil. Assim, o desempenho computacional necessário não é tão alto, nem se uma grande quantidade de pontos de demanda for incluída. Mas segundo Ballou (1973), o modelo p-gravidade tem uma precisão limitada. E como hoje em dia a potência dos

computadores é bastante elevada, nós podemos usar modelos mais exigentes computacionalmente.

4.2.1.2 Modelo p-mediano

4.2.1.2.1 Modelo p-mediano

O modelo p-mediano foi introduzido por Hakimi (1964) e é um modelo de localização discreta. Segundo Owen e Daskin (1998), esse modelo é usado para achar os locais ótimos para P facilidades a fim de minimizar o custo total. Por isso, a distância ponderada total entre os pontos de demanda e as facilidades é minimizada. Daskin (1995) formulou o problema da seguinte forma:

$$\text{Min} \quad \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (7)$$

$$\text{sujeito a:} \quad \sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_j X_j = P \quad (9)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (10)$$

$$X_j = 0,1 \quad \forall j \quad (11)$$

$$Y_{ij} = 0,1 \quad \forall i, j \quad (12)$$

em que

h_i = Demanda do nó i

d_{ij} = Distância entre nó i e local de construção j

P = Número de facilidades a localizar

e X_j e Y_{ij} são definidas nas equações (11) e (12) como variáveis binárias. X_j igual a um significa que uma facilidade é localizada no nó j e igual a zero significa que não. Y_{ij} mostra se a facilidade em nó j serve a demanda em nó i ou não.

Nesse modelo a minimização da distância ponderada total é delimitada pelas restrições (8) até (12). A restrição (8) determina que cada nó de demanda deve ser servido de uma única facilidade. (9) nos diz que o número total de facilidades construídas deve ser igual ao número de facilidades predefinido. Em (10) é feita uma interligação entre as facilidades e os nós de demanda.

Comparado com o modelo p-gravidade, o modelo p-mediano é muito mais dispendioso computacionalmente (Daskin, 1995). O número de soluções possíveis que precisam ser examinados é:

$$\binom{N}{P} = \frac{N!}{P!(N-P)!}$$

em que N é o número dos nós e P é o número de facilidades a localizar.

Isso significa que para um problema com 50 nós e cinco fábricas a localizar, devem ser comparadas 2.118.760 possibilidades. Isso cria a situação que um programa de pesquisa operacional deve ser usado para solucionar o problema. Um algoritmo heurístico complexo deve ser usado para minimizar a exigência computacional. A complexidade desse problema foi ainda reduzida através do pressuposto que a facilidade só pode ser localizada num nó de demanda já dado. No modelo p-gravidade a localização pode ser feita em qualquer ponto de uma área dada. Mas isso não serve como crítica ao modelo p-mediano, pois que Hakimi (1964) mostrou que pelo menos uma solução ótima de um problema de localização no modelo p-mediano consiste em localizar P facilidades em nós do sistema. Para reduzir o tamanho do problema ainda mais, paralelamente à Liao e Guo (2008), demandas em volta de um nó de demanda bastante grande podem ser agregadas para criar pólos de demanda. Na localização de uma fábrica isso faz sentido, já que áreas maiores são geralmente servidas somente de um armazém ou atacadista.

4.2.1.2.2 Modelo p-mediano

Um dos algoritmos heurísticos usados para resolver o modelo p-mediano é, segundo Daskin (1995), a "Lagrangian Relaxation". Nesse método, um das restrições (8) ou (10) é retirada, porque o modelo fica muito mais fácil de solucionar com menos restrições. Para

penalizar o menor número de restrições, a função objetiva é modificada introduzindo um multiplicador lagrangeano nela. Retirando a restrição (8) e modificando a função objetiva, o modelo fica da forma seguinte (Dakin, 1995):

$$\underset{\lambda}{Max} \underset{X,Y}{Min} \sum_i \sum_j (h_i d_{ij} - \lambda_i) Y_{ij} + \sum_i \lambda_i \quad (13)$$

$$\text{sujeito a:} \quad \sum_j X_j = P \quad (14)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (15)$$

$$X_j = 0,1 \quad \forall j \quad (16)$$

$$Y_{ij} = 0,1 \quad \forall i, j \quad (17)$$

em que

λ_i = Multiplicador lagrangeano

Com multiplicadores lagrangeanos fixos, no primeiro passo, a função objetiva é minimizada pelo cenário de todas as variáveis de localização (X_j) igual a um. Para cada local candidato esse valor é dado através de:

$$V_j = \sum_i \min\{0, h_i d_{ij} - \lambda_i\} \quad (18)$$

Os P valores menos baixos para V são determinados e as variáveis correspondentes de localização (X_j) são definidas como 1 e o resto como 0. As variáveis de alocação (Y_{ij}) são definidas da forma seguinte:

$$Y_{ij} \begin{cases} 1 & \text{se } X_j = 1 \text{ e } h_i d_{ij} - \lambda_i < 0 \\ 0 & \text{se não} \end{cases} \quad (19)$$

Uma técnica que deixa chegar as iterações numa solução ótima se chama otimização de subgradiente. Ela é usada para atualizar os multiplicadores lagrangeanos. Baseado na otimização de subgradiente, uma nova variável t^n , que descreve o tamanho do degrau na iteração n do procedimento lagrangeano, é introduzida:

$$t^n = \frac{\alpha^n (UB - L^n)}{\sum_i \left\{ \sum_j Y_{ij}^n - 1 \right\}^2} \quad (20)$$

em que

t^n = Tamanho dos degraus no procedimento lagrangeano

α^n = Constante na iteração n, com α^1 igual a 2

UB = Melhor (menor) limite superior na função objetiva p-mediano

L^n = Função objetiva da função lagrangeana (13) na iteração n

Y_{ij}^n = Valor ótimo da variável de alocação (Y_{ij}) na iteração n

Os multiplicadores lagrangeanos são atualizados usando a seguinte equação:

$$\lambda_i^{n+1} = \max\{0, \lambda_i^n - t^n (\sum_j Y_{ij}^n - 1)\} \quad (21)$$

Quando o limite inferior chega a ser igual ou quase igual ao limite superior, muito provavelmente a solução ótima para o problema original foi achada. Nesse caso, o algoritmo termina.

4.2.1.3 Crítica ao modelo p-mediano e modificações possíveis

O modelo p-mediano, usado nesse estudo de caso, usa várias simplificações que são criticadas por muitos autores. O foco nos custos de transporte e o desprezo de outros fatores que poderiam ser representados no modelo, como custos iniciais e custos variáveis, mas especialmente das incertezas presentes e futuras são, segundo Owen e Daskin (1998), os pontos de crítica mais relevante.

Riddlehoover (2004) sugeriu uma combinação entre o modelo p-mediano e a simulação de riscos financeiros que não são levadas em conta no modelo p-mediano. Primeiro, um grupo de locais viáveis é determinado com o modelo p-mediano e depois analisado com uma simulação dos riscos financeiros, mais especificamente comparando os investimentos iniciais, os custos anuais, os benefícios anuais e as taxas de juros diferentes.

Snyder (2006) apresenta vários modelos que lidam com problemas de localização sob risco e sob incerteza/ com relação ao risco e à incerteza. Problemas sob risco são

denominados problemas de otimização estocástica e sob incerteza problemas de otimização robustos. Os dois tipos de modelos têm o alvo de achar um local que seja ótimo em vários casos. Por isso, vários cenários são construídos e cada cenário tem uma certa probabilidade ou variáveis casuais são usadas. O local ótimo deve minimizar os custos ou maximizar o lucro na média dos casos. Segundo Owen e Daskin (1998), todos os fatores do modelo podem ser postos como incertos. Além de colocar as variáveis tradicionais como incertas, podem ser incorporadas outras variáveis como a aversão de risco da empresa (Jucker e Carlson, 1976) ou grau de incerteza de financiamento da nova facilidade devido a riscos de câmbio (Hodder e Dincer, 1986).

Mesmo incorporando mais variáveis e incertezas, o modelo matemático usado nunca vai dar uma resposta final à questão, onde deve ser localizada uma facilidade. Segundo Arinze e Banerjee (1992), fatores qualitativos que não podem ser representados em modelos matemáticos devem ser levados em conta e muitas probabilidades são difíceis de determinar num ambiente econômico tão volátil como é hoje em dia (Kodali e Routroy, 2006). Por isso, segundo Snyder (2006), usar um modelo mais simples pode render resultados bem sólidos e, além disso, a computação é muito mais fácil e conseqüentemente mais rápida. Para provar que modelos de otimização estocástica e robusta são, até agora, pouco práticos, Snyder (2006) mostra que eles quase não foram aplicados em casos reais até agora.

4.2.2 Modelos qualitativos

Depois de ter encontrado alguns locais viáveis com o modelo matemático, um modelo qualitativo pode ser usado para determinar finalmente o local onde a facilidade vai ser construída. Como existem muitos fatores que podem ser avaliados, alguns fatores importantes devem ser escolhidos (Dilworth, 2000). Esses fatores são postos em ordem hierárquica e depois são avaliados por cada local.

4.2.2.1 Estabelecimento de uma hierarquia dos fatores

Para estabelecer uma hierarquia dos fatores qualitativos pode ser usado o método analítico Delphi. Segundo Azani (1990), esse método é um procedimento sistemático para obter uma opinião de especialistas internos ou externos. As três vantagens mais importantes

são, segundo Dalky (1969), o anonimato, um *feedback* controlado e uma resposta estatística do grupo.

O procedimento, apresentado por Linstone e Turoff (1975), consiste na criação de um questionário que é respondido pelos especialistas. Depois da avaliação desse primeiro questionário são desenvolvidos outros questionários, que são respondidos novamente pelos expertos. Assim, as opiniões dos especialistas são levadas em conta e com cada questionário novo um consenso maior é atingido. Esse processo é repetido até chegar numa hierarquia e uma ponderação dos fatores que são sustentadas pela grande maioria dos especialistas.

Obviamente esse processo pode também ser realizado apenas dos gerentes da própria empresa, numa discussão aberta. Porém, nem todas as opiniões importantes são consideradas, nessa alternativa. Pessoas competentes podem ser ignoradas pelo fato delas terem menos habilidade que outros em apresentar os seus pontos de vista (Adam e Ebert, 1986). Além disso, pode faltar uma opinião externa para avaliar as possibilidades completamente.

4.2.2.2 Processos de determinação qualitativa

Depois de ter determinado a hierarquia e a ponderação dos fatores qualitativos relevantes, um processo para avaliar os dados reais deve ser executado. Segundo Zahedi (1986), o processo analítico de hierarquia consiste em quatro fases. A primeira fase, que é o estabelecimento de uma hierarquia de fatores, é realizada através das técnicas recém apresentadas. Os fatores obtidos e a interligação entre eles podem ser visualizado através de figura 4.1:

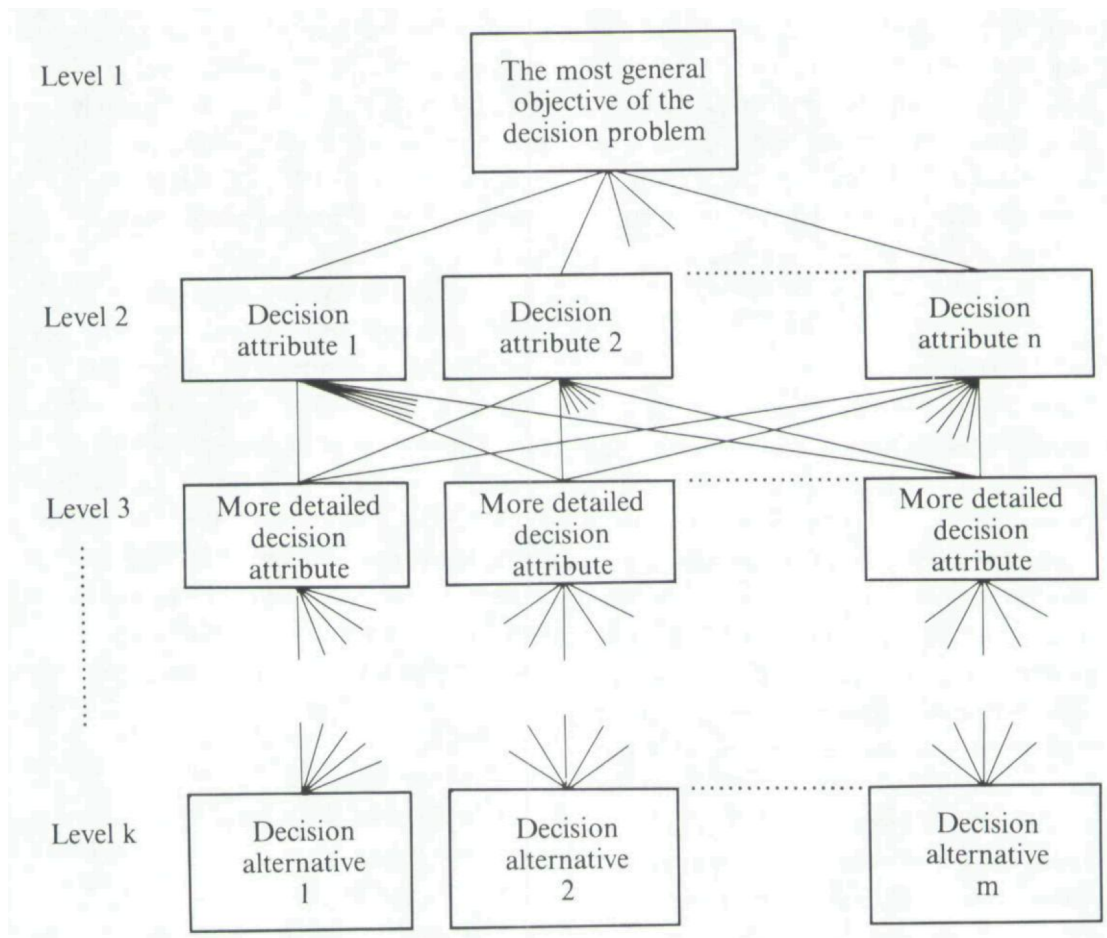


Figura 4.1: A forma *standard* do esquema de decisão no processo de hierarquia analítica: Uma hierarquia com k níveis. Fonte: Zahedi (1986)

No segundo passo, uma matriz de decisão é construída para comparar os diferentes fatores em pares. Assim, a importância de cada fator é levada em conta. Depois, o método do "autovalor" é usado para obter a influência relativa dos diferentes fatores. No quarto passo, os valores relativos dos diferentes fatores são multiplicados com os pontos atribuídos aos fatores nos diferentes locais.

Uma alternativa mais fácil e bastante usada é a avaliação dos fatores qualitativos em atribuir pontos usando as ponderações definidas pelos expertos. A figura 2.2 mostra a simplicidade de uma avaliação desse jeito.

	RANGE
Fuels in region	0 to 330
Power availability and reliability	0 to 200
Labor climate	0 to 100
Living conditions	0 to 100
Transportation	0 to 50
Water supply	0 to 10
Climate	0 to 50
Supplies	0 to 60
Tax policies and laws	0 to 20

Figura 4.2: Exemplo para uma avaliação simples de fatores qualitativos. Fonte: Dilworth (2000)

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.1 Método usado

Como sugerido de Ranhawa e West (1995), nesse trabalho é usado uma combinação entre um modelo matemático de localização de facilidades, nesse caso o modelo p-mediano, e uma avaliação de fatores qualitativos. Primeiro, o número de locais possíveis é limitado com a aplicação do modelo p-mediano e, por essas alternativas, os fatores qualitativos mais significantes são determinados.

5.2 Obtenção dos dados relevantes

Como fontes de dados para obter o número de veículos e a demanda de pneus serviram a "Marknet" (uma empresa de consultoria, planejamento de marketing, pesquisas e estudos de mercado, baseada em São Paulo-Brasil), o Ministério das Cidades, o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), Sistema Nacional de Registro de Veículos (RENAVAM), o Sistema Nacional de Estatística de Trânsito (SINET), a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP).

Para obter os longitudes e latitudes das diferentes cidades, o site "<http://www.apolo11.com/latlon.php>" serviu como fonte.

Dados sobre o mercado brasileiro e a repartição entre os produtores de pneus foi fornecido do produtor que vai entrar no mercado brasileiro e que encomendou a localização da futura fábrica.

5.3 Software usado

O software aplicado é o programa "Sitation" que serve para solucionar vários problemas de localização, o problema p-centro, p-mediano, de cobertura máxima, de cobertura de conjuntos e de carga máxima. Problemas com até 300 nós podem ser resolvidos, o que é suficiente para o estudo de caso apresentado nesse trabalho.

Os arquivos de dados usados pelo software precisam conter um número para cada nó declarado, a longitude e a latitude do local. Além disso, é necessária a demanda principal, que é fornecida em número de produtos por unidade de tempo, e a demanda secundária que pode ser usada para incorporar uma importância do local além da mera demanda. Se não há uma demanda secundária, um zero é colocado. Os custos fixos de cada local devem ser fornecidos como custos anuais e, se forem desconhecidos, ficam zero. Por fim, é necessário ser colocado o nome do local. Um arquivo pronto tem o seguinte formato:

Número	Longitude	Latitude	Demanda 1	Demanda 2	Custos Fixos	Nome da Cidade
1	-67.810.000	-9.974.722	173	0.00	0.00	< Rio Branco - AC >
2	-68.748.056	-11.016.111	27	0.00	0.00	< Brasília - AC >
3	-68.656.944	-9.065.556	9	0.00	0.00	< Sena Madureira - AC >
4	-70.765.556	-8.161.389	5	0.00	0.00	< Tarauacá - AC >

Figura 5.1: Extrato de um arquivo de dados usado nesse estudo de caso

Além disso, um arquivo de distância entre os nós pode ser lido, mas a distância pode também ser calculada do programa mesmo, usando as coordenadas fornecidas pelo arquivo de dados. Para calcular as distâncias, o programa pode usar quatro técnicas: "distâncias Manhattan", que usa um método de angulos retangulares e normalmente é usado em cidades; "distâncias euclidianas", que calcula as distâncias como linha numa planície; "distâncias de rede" e "círculo grande", que usa simplesmente linhas retas. A técnica do "círculo grande" é a mais adequada para o nosso problema. Se as distâncias são dadas em quilômetros ou em milhas é irrelevante para o nosso problema, pois a comparação entre a mudança percentual das distâncias médias já é suficiente para comparar os diferentes locais.

Na computação dos dados há a possibilidade de restringir a distância máxima até qual a instalação é capaz de fornecer e definir os custos associados a uma unidade de distância ponderada. Sem custos fixos diferentes por cada local, esses custos de distância são irrelevantes e podem ser colocado igual a um.

Para obter a solução do problema p-mediano tem a possibilidade de escolher entre cinco diferentes algoritmos heurísticos que fornecem soluções quase ótimas. Daskin (1995) sugere usar o algoritmo "Lagrangian Relaxation", que foi discutido na parte teórica, porque esse algoritmo garante soluções ótimas. Além disso, podem ser alterados vários valores importantes como o limite superior e inferior, o número máximo de iterações e as opções de troca final do algoritmo. Geralmente, essas opções podem ser negligenciadas.

O usuário pode visualizar os resultados num mapa, mostrando o(s) local/localis escolhido(s) pelo programa para a construção da facilidade e os outros nós, dependendo se

eles forem servidos ou não em vermelho ou azul. Os resultados em números fornecem informações como tempo computacional para resolver o problema e número de iterações. Além disso, a distância média entre os nós de demanda e o(s) nó(s) fornecedor(es) e os custos totais. Como é possível de alterar a solução, forçando outro(s) nó(s) a ser/serem o(s) local/locais ótimo(s), o resultado ótimo pode ser comparado facilmente com outras opções escolhidas pelo usuário.

A opção de gerar curvas *tradeoff*, que comparam a diferença entre as distâncias ponderadas médias com um número crescente de facilidades localizadas, não tem importância pelo problema tratado nesse trabalho.

5.4 Construção dos arquivos usados

Os dados para a demanda de pneus de passeio vêm do site do DETRAN que fornece o número dos veículos registrados em cada cidade do Brasil. O número de carros é multiplicado com um fator que sugere a troca dos pneus de um automóvel a cada 6,8 anos. A demanda de pneus agrícolas vem do site do IBGE, que fornece um censo agropecuário de 2006 onde é indicado o número de tratores por cada cidade brasileira. Esse número é multiplicado a um fator que sugere a troca dos pneus de um trator cada 11,4 anos. Essas demandas formam a coluna da demanda 1 no arquivo de dados para o "Situation".

Para reduzir o insumo de nós de demanda, pólos de demanda são estabelecidos. As demandas de cidades com demandas menos importantes são destinadas a cidades com demandas maiores. Esse cenário é bastante realista, dado que a fábrica nunca vai fornecer aos clientes diretamente, mas mandar os pneus para um atacadista responsável pela revenda regional.

Para pneus de passeio, um pólo de demanda tem pelo menos 20.000 carros e recebe as demandas das cidades ao máximo a 100 km de distância. Como o número de tratores é consideravelmente menor que o número de carros, um pólo de pneus agrícolas precisa ter no mínimo 400 tratores e recebe também as demandas das cidades ao máximo a 100 km de distância.

Em regiões do Brasil sem cidades que satisfazem os requisitos para serem pólos, a maior cidade pode ser declarada um pólo. Isso é, por exemplo, o caso em Amazonas e Roraima.

Surgindo um conflito de pólos, que significa que um nó com demanda pequena está localizado entre dois pólos, esse nó é destinado ao pólo com a demanda maior. Pólos com uma demanda que é pelo menos duas vezes maior que a demanda de um pólo concorrente podem até receber demandas de nós mais próximos do pólo menor. Se um nó de demanda não satisfaz as condições de ser um pólo e não pode ser destinado a um outro pólo, esse nó é tirado dos insumos. As distâncias são obtidas com o "Google Maps".

Devido aos limites inferiores para pólos de pneus agrícolas, o arquivo deles contém 260 nós de demanda. Além disso, a demanda é espalhada pelo país inteiro, especialmente no sul e centro sul. Já o arquivo dos pneus de passeio só contém 91 nós e tem uma distribuição da demanda muito centrada em SP. De um total de 34.312.991 automóveis, 12.480.185 estão situados em SP. Isso é aproximadamente 36% de todos os carros do Brasil. No caso dos pneus agrícolas, SP só tem 17,7% de todos os tratores no Brasil. Isso é ainda bastante, mas mostra claramente que o mercado de pneus agrícolas é mais espalhado do que o de pneus de passeio.

As coordenadas dos pólos são obtidas através o site "<http://www.apolo11.com/latlon.php>". As longitudes e latitudes são convertidas da medida em graus para a medida decimal.

5.5 Computação dos arquivos com Sitation

Primeiro os insumos dos pneus agrícolas são computados. As distâncias são calculadas com o método "círculo grande". Para a distância de cobertura, um valor bastante grande (10.000) é escolhido, já que todos os nós devem ser atendidos. Os custos por unidade de distância ponderada são iguais a um e o modelo p-mediano com uma facilidade a localizar é escolhido. O algoritmo usado é a *Lagrangian Relaxation*. Depois os insumos dos pneus de passeio são computados com as mesmas configurações.

Para comparar os resultados dos dois tipos de pneus para os locais diferentes, a opção de troca de local de construção é usada. Locais não existentes nos arquivos dos pneus agrícolas ou dos pneus de passeio são incorporados nos arquivos como nós sem demanda. Assim, eles podem ser escolhidos como local de construção, mas não influenciam a distância ponderada média resultante.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Resultados da computação dos arquivos com Sitation

O local ótimo achado pelos pneus agrícolas é Cornélio Procópio no PR (long.: 50,65; lat.: -23,18). A distância ponderada média é de 390,57 milhas.

#	=>	Node #	X-Loc	Y-Loc	Coverage	Name
1	=>	127	-50,65	-23,18	266.310	Cornelio Procopio - PR

Total Covered Demands	<input type="text" value="266.310"/>
Percent Covered Demands	<input type="text" value="100,000000"/>
Average Weighted Distance	<input type="text" value="390,571856"/>
Average Covered Distance	<input type="text" value="390,571856"/>
Average Uncovered Distance	<input type="text" value="All Covered"/>
Fixed Cost	<input type="text" value="R\$ 0"/>
Mileage Cost	<input type="text" value="R\$ 104.013.191"/>
Total Cost	<input type="text" value="R\$ 104.013.191"/>

Figura 6.1: Dados centrais do local ótimo para os pneus agrícolas

Como é possível observar no mapa, a demanda para pneus agrícolas se concentra mais no sul do país. O número dos pólos e também a demanda total é maior nessa região. Os estados RS, SC, PR, SP, MS, MG e GO (inclusive DF) acumulam 81,6% da demanda total de pneus agrícolas. Levando em conta essas informações, é lógico que o local ótimo é localizado no centro sul do Brasil. Cornélio Procópio é mostrado como um quadrado verde.

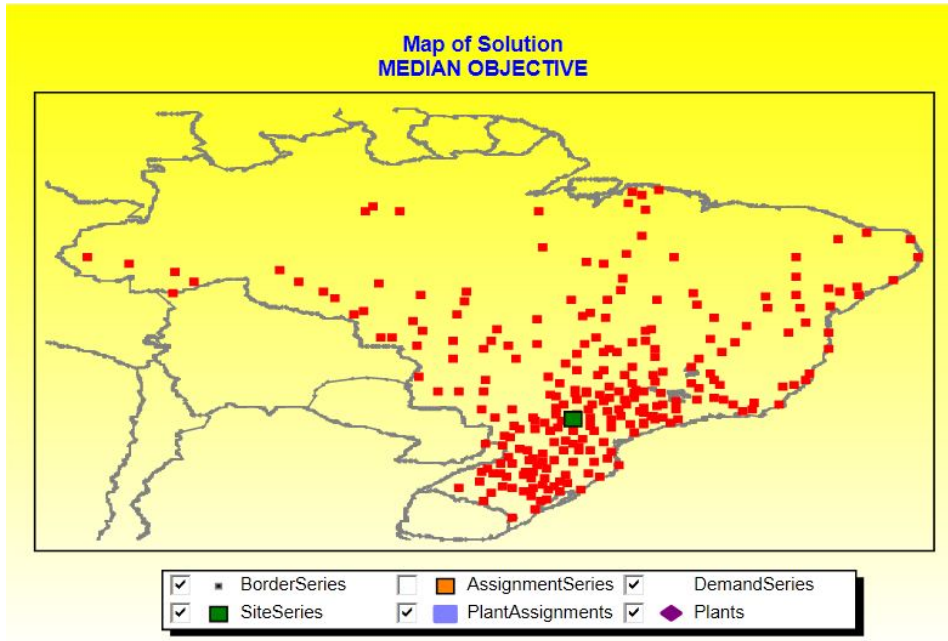


Figura 6.2: Mapa mostrando o local ótimo para os pneus agrícolas

Para os pneus de passeio, a situação já é diferente. Como citado na parte 5.2.1, a demanda de pneus de passeio é muito focada em SP. Por isso não é surpreendente que o local ótimo achado pelo *Sitation* é a cidade de São Paulo (lang.: 46,64; lat.: -23,55) mesmo. A distância ponderada média são 345,58 milhas.

#	=>	Node #	X-Loc	Y-Loc	Coverage	Name	
1	=>	79	-46,64	-23,55	15.597.595	SÃO PAULO	SP

Total Covered Demands	15.597.595				
Percent Covered Demands	100,000000				
Average Weighted Distance	345,576610				
Average Covered Distance	345,576610				
Average Uncovered Distance	All Covered				
Fixed Cost	R\$ 0	Mileage Cost	R\$ 5.390.163.891	Total Cost	R\$ 5.390.163.891
<input type="button" value="Last Report"/>		<input type="button" value="Next Report"/>		<input type="button" value="Cancel"/>	
<input type="button" value="Print Form"/>					

Figura 6.3: Dados centrais do local ótimo para os pneus de passeio

O mapa criado pelo *Sitation* visualiza bem a diferença entre os pneus agrícolas e os pneus de passeio. Tem somente um terço dos pontos de demanda do que comparado ao mapa dos pneus agrícolas. São Paulo é mostrado na forma de um quadrado verde.

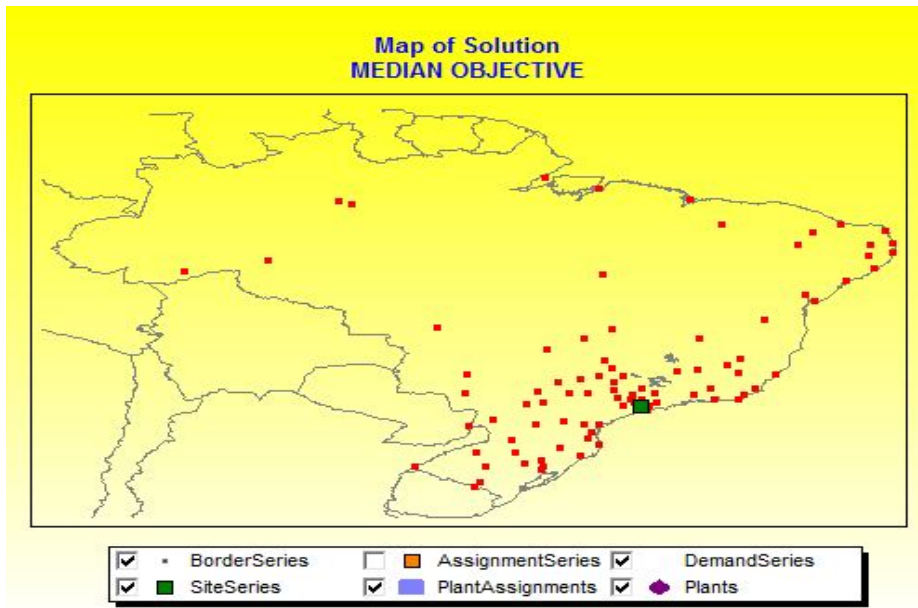


Figura 6.4: Mapa mostrando o local ótimo para os pneus de passeio

A segunda diferença é bem mostrada na figura abaixo. A demanda da cidade de São Paulo (visualizada por uma flecha roxa) supera todas as outras demandas no resto do país.

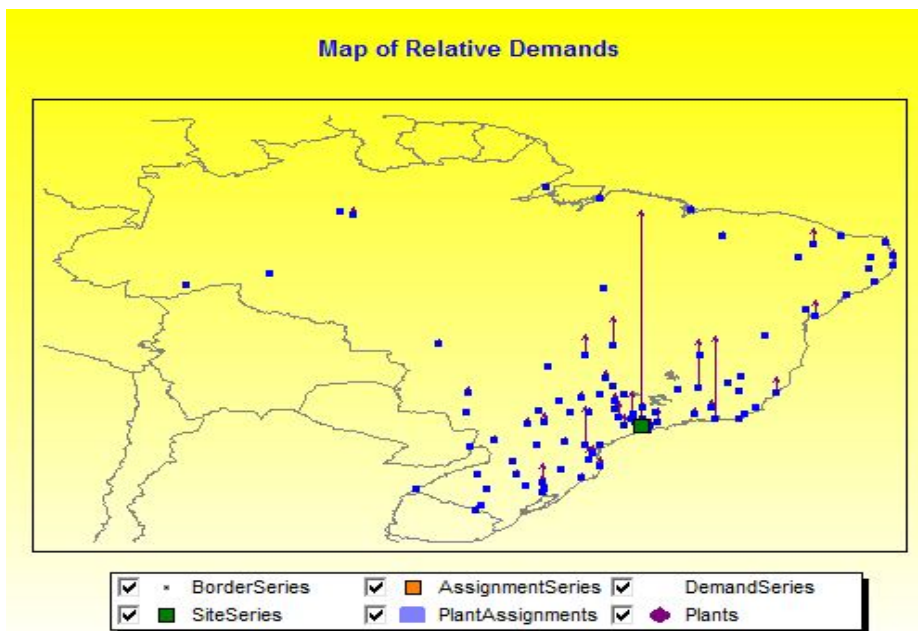


Figura 6.5: Mapa visualizando as demandas dos locais

Devido a esses resultados diferentes para os dois tipos de pneus, um compromisso deve ser achado. Isso não é tão fácil, levando em conta o mercado de pneus de passeio que é quase 60 vezes maior em termos de número de pneus demandados por ano. É importante o fato que os dois produtos geram um lucro por unidade bem diferente e que os custos de

transporte são mais altos pelos pneus agrícolas. Além disso, a estratégia empresarial foca mais na entrada no mercado de pneus agrícolas. Por falta de informações precisas sobre todos esses fatores, a mesma importância é destinada aos dois tipos de pneus.

Com esse pressuposto, um local entre os dois locais deve ser achado que minimiza a distância ponderada média dos dois pólos. O lugar exatamente no meio dos dois locais ótimos se encontra nas coordenadas long.: 48,64 e lat.: -23,36. Quatro nós perto desse ponto são escolhidos: Itapeva, Bauru, Avaré e Itapetininga. Esses locais são comparados com os locais ótimos dos dois tipos de pneus. O alvo é de chegar no menor aumento possível nas distâncias ponderadas médias em total.

Tabela 6.1: Comparação das distâncias ponderadas médias dos locais alternativos

	São Paulo	Cornélio Procópio	Itapeva	Bauru	Avaré	Itapetininga
Pneus agrícolas (dist. med. em milhas)	453,28	390,57	403,11	398,96	397,95	414,28
Diferença da solução ótima	16,1%	0,0%	3,2%	2,1%	1,9%	6,1%
Pneus de passeio (dist. med. em milhas)	345,58	463,32	406,36	406,08	399,61	376,67
Diferença da solução ótima	0,0%	34,1%	17,6%	17,5%	15,6%	9,0%
Média dos dois (dist. Med. em milhas)	399,43	426,945	404,735	402,52	398,78	395,475

Essa figura mostra os resultados da comparação entre os diferentes locais alternativos. Um movimento, embora da cidade de São Paulo, aumenta muito a distância ponderada média dos pneus de passeio. Com uma fábrica em Cornélio Procópio, ela aumentaria de 34,1%. Conforme o esperado, uma mudança para a cidade de São Paulo não afeta tanto a distância ponderada média dos pneus agrícolas, ela só aumenta de 16,1%.

Olhando para esses resultados, uma consideração de locais mais pertos da cidade de São Paulo parece razoável. Por isso, mais quatro cidades são escolhidas: Sorocaba, São João da Boa Vista, Rio Claro e Registro.

Tabela 6.2: Comparação das distâncias ponderadas médias dos locais alternativos com mais proximidade de São Paulo

	São Paulo	Cornélio Procópio	Sorocaba	São João da B. V.	Rio Claro	Registro
Pneus agrícolas (dist. med. em milhas)	453,28	390,57	427,69	447,86	423,52	429,53
Diferença da solução ótima	16,1%	0,0%	9,5%	14,7%	8,4%	10,0%
Pneus de passeio (dist. med. em milhas)	345,58	463,32	360,19	364,28	364,95	391,85
Diferença da solução ótima	0,0%	34,1%	4,2%	5,4%	5,6%	13,4%
Média dos dois (dist. Med. em milhas)	399,43	426,945	393,94	406,07	394,235	410,69

Na comparação dos novos locais escolhidos, não é evidenciada uma melhora considerável. Sorocaba e Rio Claro representam locais bem equilibrados entre o aumento da distância ponderada média dos pneus agrícolas e de passeio. Esses dois também fornecem a menor média dos dois tipos de pneus. Itapetininga apresenta aproximadamente os mesmos valores que essas duas cidades. Por isso, Sorocaba, Rio Claro e Itapetininga podem ser usados como locais de fabricação numa estratégia equilibrada entre pneus agrícolas e pneus de passeio. Os locais que minimizam os custos de transporte para os pneus de passeio são Sorocaba e São Paulo. Se os pneus agrícolas representam o produto mais considerável em minimização de custos, Bauru e Avaré são dois possíveis locais junto com Cornélio Procópio.

6.2 Incorporação de fatores qualitativos na solução

Baseado nos resultados da modelagem matemática do problema de localização, a empresa pode incorporar os alvos estratégicos dela e avaliar os possíveis locais comparando os fatores qualitativos importantes para a fábrica de pneus. Esses fatores devem ser definidos pelos especialistas escolhidos pela empresa. Observando as particularidades da indústria de pneus, alguns fatores são denominados aqui.

Qualquer facilidade traz vantagens e desvantagens para a região onde ela vai ser construída. Uma fábrica em geral, segundo Dilworth (2000), traz maior emprego, taxas para o governo da região e mais atratividade para empresas de logística. Como uma fábrica de pneus não representa um perigo ecológico nem perigo para a população em volta dela, ela não deveria ser rejeitada pelas pessoas que vivem nessa região. Assim, menores taxas e incentivos em forma de subsídios são fatores importantes para o lugar certo. Segundo informações do fabricante *Goodyear*, no processo de produção o pneu é esquentado e prensado para chegar na forma final. Por isso, o processo de fabricação de pneus gasta muita energia que faz dos custos da energia elétrica um fator bem importante. A acessibilidade de um porto e uma rodovia bem desenvolvida apresenta um fator importante para poder receber as matérias primas para a produção de pneus, como a borracha e os aros de aço, e a distribuição dos produtos. Uma fábrica sempre precisa de empregados qualificados. Por isso, segundo Dilworth (2000), a qualidade de vida da cidade escolhida deve ser suficiente para comprometer especialistas bons. Devido à incerteza de planejamento, um potencial de

expansão pela fábrica deve ser dado. Baseado nessas considerações, a tabela de avaliação sugerida é a seguinte:

Fatores importantes	Pontos máximos
Rodovia bem desenvolvida	100
Acesso a um porto	80
Subsídios e taxas	80
Preço de energia	70
Acesso a mão de obra qualificada	65
Custo da mão de obra	50
Potencial de expansão	30
Qualidade de vida	25
TOTAL	500

Figura 6.6: Fatores qualitativos e importâncias

A apresentação dos fatores qualitativos importantes numa tabela é meramente ilustrativa. Os pesos certos devem ser determinados pelos especialistas escolhidos pela empresa. Muitas informações somente podem ser obtidas pela empresa, que deve fornecer os dados exatos para as autoridades que decidem sobre subsídios, taxas, preço de energia para clientes grandes, e assim por diante.

7 CONCLUSÃO

O trabalho tinha como objetivo de achar o local ótimo para uma fábrica pneumática. Pelo menos em partes, esse alvo foi atingido. O número de possíveis locais foi diminuído de mais que 260 a apenas 7. Dependendo da estratégia da empresa, o número de locais que diminuem os custos de transporte pode ser ainda menor. Além disso, uma avaliação qualitativa foi sugerida que pode ser usada para achar o local realmente ótimo. Esse local vai não somente diminuir os futuros custos de transporte, mas também fornecer todas as características para uma realização bem sucedida da construção da fábrica e da produção e distribuição dos pneus.

Através desse estudo de caso também foi possível ser mostrado a utilidade da pesquisa operacional e especialmente da programação inteira para problemas reais da administração de empresas. A revisão teórica proporcionou uma vista geral sobre trabalhos e métodos nessa área que continua em pleno progresso de pesquisa científica. Muitos métodos novos estão surgindo que são baseados em métodos já existentes como o modelo p-mediano. Mas muitas vezes, esses modelos mais simples já fornecem informações suficientes para os especialistas que avaliam as opções possíveis.

Como limitação desse trabalho pode ser citada a falta de informação específica sobre a estratégia de entrada no mercado da empresa pneumática. A impossibilidade de obter informações sobre os fatores qualitativos, citados na parte 6.2, tornou impossível a realização de uma análise qualitativa completa. Em vez disso, só a criação de uma lista de fatores importantes foi possível.

Esse trabalho pode ser usado como exemplo para percorrer uma localização de uma instalação com o modelo p-mediano, usando o programa *Sitation* e como interpretar e tratar os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, Jr., E. e EBERT, R.J. **Production and Operations Management Concepts, Models, and Behavior**. New York: Prentice-Hall, 1986.

ALBERT, M. T. **Knowledge-Based Geographic Information Systems (KBGIS): New Analytic and Data Management Tools**. *Mathematical Geology*, Vol. 20, No. 8, pp.1021-1035, 1988.

ARINZE, Bay e BANERJEE, Avijit. **A Knowledge-Based Approach for Facilities Location Planning**. *Expert Systems With Applications*, Vol. 5, pp. 131-139, 1992.

AZANI, Hossein. **Engineering Analytic Delphi Method (ADM): A Strategic Decision Making Model Applied to Location Planning**. *Costs and Production Economics*, Vol.20, pp.23-28, 1990.

BADRI, Masood A., DAVIS, Donald L. e Davis, Donna. **Decision Support Models for the Location of Firms in Industrial Sites**. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.15, No.1, pp.50-62, 1995.

BALLOU, Ronald H. **Potential Error in the Center of Gravity Approach to Facility Location**. *Transportation Journal*, Winter 1973, pp.44-50, 1973.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BELLINI, Selma e CASTRO, Renata. **Cenário promissor para a indústria de pneus**. ANIP. http://www.anip.com.br/index.php?cont=detalhes_noticias&id_noticia=399&area=43&titulo_pagina=%DAltimas%20Not%EDcias
Acesso em: 20.06.2010

BRANDEAU, Margaret L. e CHIU, Samuel S. **An Overview of Representative Problems in Location Research**. *Management Science*, No.6, pp.645-674, 1989.

BRUSH, T. H., MARITAN, C. A. e KARNANI, A. **The Plant Location Decision in Multinational Manufacturing Firms: An Empirical Analysis of International Business and Manufacturing Strategy Perspectives**. *Production and Operations Management*, Vol.8, No.2, pp.109–132, 1999.

CHUANG, Pao-Tiao. **A QFD Approach for Distribution's Location Model**. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.19, No.8/9, pp.1037-1054, 2002.

DALKY, N.C. **The Delphi method, An experimental study of group opinion**. The Rand Corporation, Research Paper RM-5888-PR, June, 1969.

DASKIN, Mark S. **Network and discrete location: Models, Algorithms, and Applications**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1995.

DE CARVALHO, Juliana. **Ficha Técnica - Pneus.**

<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/pneus.htm>

Acesso em: 21.06.2010

DILWORTH, James B. **Operations Management: Providing Value in Goods and Services.** Fort Worth: Harcourt Inc., 2000.

HAKIMI, S.L. **Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph.** Operations Research, Vol.12, pp.450-459, 1964.

HODDER, J.E. e DINCER, M.C. **A multifactor model for international plant location and financing under uncertainty.** Computers & Operations Research, Vol.13, No.5, pp.601-609, 1986.

KODALI, Rambaku e ROUTROY, Srikanta. **Decision Framework for Selection of Facilities Location in Competitive Supply Chain.** Journal of Advanced Manufacturing Systems, Vol.5, No.1, pp.89-100, 2006.

JUCKER, J.V. e CARLSON, R.C. **The simple plant-location problem under uncertainty.** Operations Research, Vol.24, No.6, pp.1045-1055, 1976.

Liao, Ke e Guo, Diansheng. **A Clustering-Based Approach to the Capacitated Facility Location Problem.** Transactions in GIS, Vol. 12, No.3, pp.323-339, 2008.

LINSTONE, H.A. e TUROFF, M. **The Delphi Method: Techniques and Applications.** Boston: Addison-Wesley, 1975.

MACCARTHY, B.L. e ATTHIRAWONG, W. **Factors affecting location decisions in international operations – a Delphi study.** International Journal of Operations & Production Management, Vol.23, No.7, pp.794-818, 2003.

MCKENZIE, Walter B. **7 Keys to Facility Location.** Supply Chain Management Review, May/June 2008, pp.25-31, 2008.

OWEN, Susan Hesse e DASKIN, Mark S. **Strategic Facility Location: A Review.** European Journal of Operational Research, Vol.111, pp.423-447, 19998.

RANHAWA, Sabah U. e WEST, Thomas M. **An Integrated Approach to Facility Location Problems.** Computers and Industrial Engineering, Vol.29, No.1-4, pp.261-265, 1995.

RIDLEHOOVER, Justin. **Applying Monte Carlo Simulation and Risk Analysis to the Facility Location Problem.** The Engineering Economist, Vol.49, pp.237-252, 2004.

SNYDER, Lawrence V. **Facility location under uncertainty: a review.** IIE Transactions, Vol.38, pp.537-554, 2006.

SNYDER, Lawrence V. e DASKIN, Mark S. **Reliability Models for Facility Location: The Expected Failure Cost Case.** Transportation Science, Vol.39, No.3, pp.400-416, 2005

SWINK, M. e SPEIER, C. **Presenting Geographic Information: Effects of Data Aggregation, Dispersion, and Users' Spatial Orientation.** Decision Science, Vol.30, No.1, pp.169-95, 1999.

TONG, H. M. **Plant Location Decision of Foreign Manufacturing Investors.** Michigan: UMI Research Press, 1979.

WEBER, Alfred. **Über den Standort der Industrien, 1. Teil: Reine Theorie des Standortes.** Tübingen, 1909.

ZAHEDI, Fatemeh. **The Analytic Hierarchy Process - A Survey of the Method and its Applications.** Interfaces, Vol.16, No.4, pp. 96-108, 1986.

ANIP. **Produção anual de pneumáticos em unidades por grupo.**
http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produ%E7%E3o
Acesso em: 15.06.2010

ANIP. **Fabricantes de pneus estimam recuperar mercado doméstico.**
http://www.anip.com.br/index.php?cont=detalhes_noticias&id_noticia=393&area=43&titulo_pagina=%DAltimas%20Not%EDcias
Acesso em: 21.06.2010

DENATRAN. **Frota 2009.**
http://www.denatran.gov.br/download/frota/FROTA_2009.zip
Acesso em: 15.06.2010.

GOODYEAR. **Tire manufacturing process.**
http://www.goodyear tires.com/about/diversity/how_built.html
Acesso em: 21.06.2010

IBGE. **Censo Agropecuário 2006.**
ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Agropecuario_2006/brasil_2006/municipios.zip Acesso em: 15.06.2010

<http://www.apolo11.com/latlon.php>

<http://maps.google.de/>

ANEXO

A - Pneus agrícolas.grt

B - Pneus agrícolas com São Paulo.grt

C - Pneus de passeio.txt

D - Pneus de passeio com nós adicionais.grt

E - Frota Munic Nov2009.xls

F - Censo Agropecuário 2006 - tab4_2_20.xls

G - Comparação locais alternativos.xlsx

H -Fatores qualitativos e importâncias.xlsx