UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Transportes
Área de Pós-graduação em Transportes

**ESTUDO DE PONTOS PROMISSORES PARA
INSTALAÇÃO DE TERMINAIS INTERMODAIS RODO-
FERROVIÁRIOS DE CONTÊINERES NO ESTADO DE
SÃO PAULO**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 15/10/02

Ass.: *Hawagiffu*

Renato Pereira Tiago

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Transportes.

DEDALUS - Acervo - EESC

31100037098

ORIENTADOR: Prof. Titular João Alexandre Widmer

São Carlos
2002

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **RENATO PEREIRA TIAGO**

Dissertação defendida e julgada em 12-08-2002 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Tit. **JOÃO ALEXANDRE WIDMER (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovado

Prof. Dr. **RUI CARLOS BOTTER**
(Escola Politécnica/USP)

aprovado

Prof. Dr. **ORLANDO FONTES LIMA JÚNIOR**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

APROVADO

Prof. Assoc. **JOSÉ REYNALDO ANSELMO SETTI**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes

Profa. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*“Combati o bom combate, completei a corrida,
guardei a fé.”*

São Paulo (2ª Epístola de São Paulo aos Coríntios 4; 7)

*“No final tudo dá certo. Se não deu certo
é porque ainda não chegou no final.”*

(Fernando Sabino)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Jonas e Inês, e meu irmão Adriano, pessoas a quem dispenso palavras e comentários que, mesmo em todo o teor de seu conteúdo, não expressariam nem a metade do amor, carinho e respeito que sinto por eles.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, que quando traçou um bom caminho, deixou marcas para que eu pudesse segui-lo.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida para a realização do mestrado.

Ao Prof. Dr. João Alexandre Widmer, pela orientação concedida e ensinamentos durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais Jonas e Inês, e meu irmão Adriano, pelo apoio e incentivo incondicionais nas horas mais difíceis e em toda minha vida.

A todas as empresas de transporte que forneceram, com boa vontade, os dados para a pesquisa, e aos novos amigos: Miguel de Sá (Fassina), Fátima Franceschini (CNAGA), Daniel Brugioni (Katoen Natie), Gilmerson Inácio (Mesquita), Patrick Niérat (INRETS), Priscila (Abepira) e, em especial, Madalena Corrêa (S Magalhães), e Maricê e Eliana (Ferroban).

Aos professores do Departamento de Transportes, em especial Glaucio Túlio Pessa Fabbri, Edson Martins de Aguiar, Manoel Henrique Alba Sória, Prof. José Bernardes Felex e ao Antônio Néelson Rodrigues da Silva, pela ajuda, apoio e, principalmente, pelo enorme incentivo.

Aos funcionários, em especial à Magaly (minha madrinha), Heloísa, Beth, Lílian, Suely, Paulinho, Néelson, Carlos (Toco) e a todo o pessoal da limpeza, que sempre deixou impecável o meu ambiente de estudo (e trabalho).

Aos técnicos do laboratório: Gigante (gaúcho), Morasco e Oliveira (*in memorian*).

Aos amigos Alexandre (Parêia, Topó), Cynthia Lotti ('minha irmãzinha') e Ricardinho, pelas 'farras', risadas, pela troca de ensinamentos, pelo convívio, pela amizade, enfim, por várias das melhores coisas presentes nesse departamento.

À toda minha família, em especial: Neto, Léo, Ana Camila, Selma, Williams (Pai e Filho), Gisa-Gisele, Célio, Vó Jovina, Vó Rosa e Tio Maurílio e Tia Fiica (*in memorian*, "saudades..."), Padr. Agnaldo, Tios Paulinho, Ilda, Lilita, Tarcísio e Leide, Laís, Lidiane, às irmãs Regina (Sara, Iara e Jú, com Neusa e Zé), Ivanilde e Jéferson, Neliane e Madrinha Celena, pessoas pelas quais tenho um carinho ilimitado.

Aos amigos da Mecânica José Luiz (Bro), Godoy, Kelen, Fabi, Gi e Lú Montanari.

Aos amigos paraenses: Coutinho, Uchoa, João Mota, Pablo e Marcelo.

Aos "importados": Pastor, Charlie e Delfos, com os quais aprendi muito não só da língua espanhola, mas, da força que temos nós latino-americanos.

A todos os amigos do STT e da vida, em especial: Adelino, Adriana (Gauchinha), Alexandre Barra, Ana Paula Ianonni, Ana Paula Larocca, André (Predator), Ary, Carlos Prado Jr., César (Jovem), Cira, Cláudio "Dibuá", Cláudio Taira, Cristiane Alencar, Cynthia Mara, Dinato, Everton (Barão), Fábio Wermesch, Genival, Gilberto Funchal, Giseli, Gustavo Tristão, Hélio Arita, Joel Krüeger, Karênina, Lara Steil, Marcelo Takeda, Márcia Lika Mon-Ma (uma excelente companheira de viagem), Márcio (Réio), Marcus Seráfico, Marilda, Martinha, Mauro Kenji, Omar (Lobo Solitário), Patrícia Beghini, Quequé (Vilão-Mor), Rafael "Babuê", Renato (Xará) e Rorato (ambos pelas ajudas no *TransCAD*, também), Ricardo (Ironric, Thor), Rômulo Xerez (e Nivinha), Rone, Silmary, Tule (grande amigo), Zé Maria, Zuardo (Barretos-man), e ao amigo Zé Roberto, que me acompanhou até na prorrogação. Topó e Dibuá: Vida longa ao Rock 'N Roll, amigos!!!

Aos amigos da Centrovias: Alexandre, 'Seu' Antônio, Luciane, Cíntia, Luiz Mello, Luiz Sciarlo, Erivelton, George, Adriana, Hermano, Nelson Bossolan, Eneo Palazzi, Lílian, Sidnei (Alemão), João ('Cumpadi'), Rosado, Cláudio, Bruno, Sérgio, Márcios, Antônio Carlos (AC), Milena, turma do jurídico (Lia, Petruccelli, Ricardo, Néia e Douglas), Inês, Salgado, Ernesto, Sônia, Chumbinho, Célia, Ivone e Silvinha, Giovania e, em especial, RN (Marcos, Éder e agregados), Charles (Copavel), Rubens e Cláudio (IASIN), Jorge Amín, Marco Pedrocchi (e família), José Carlos, Silvano Araújo (ICON) e Antônio. Com certeza, uma das melhores lembranças que levarei dessa cidade.

Aos amigos da Civil 93/97, em especial, Rodrigo, Ângela, Vini, Capuzzo, Gustavo Penetra, Zé Cana, Fabinho e agregados (Civil 92/96), Zuppani e Pardal.

À todos os professores da EESC - USP que ainda fazem dessa escola um ambiente sério e respeitado em todo o país.

Aos amigos da Padaria Guanabara: Zé, Branco, Ricardo, 'Psicopata', Michel, Roberta, Cláudia, Fernanda e Natália (a Nat); e do PQM: Ceição, Dinei e Aílson.

Às famílias Loze de Queiroz (Divino, Eleusa, Marcelo e Flávio), Cruvinel (Tio Honor e Walquíria e filhos), e Espírito Santo (Vílder, Luiza, Júnior (e Polyana) e Ricardo):

amor, respeito e amizade sempre presentes na sinceridade das atitudes. Manos, a reverência ao Rock 'N Roll!!!

Aos amigos da Medicina (UFG), em especial, Loze (King), Clayton, Élder, Marcelo (Mandíbula), Luciano (Tato's), George (Japinha), Blasters (Nicolas e Fabinho).

À melhor turma de amigos da história da EESC: Régis Carrera, Márcia Hirano, Fred Dantas, Gustavo (Gus), André, Alessandro (Lelê) e Gustavo (Cuiabá) – amizade e saudade sempre eternas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍGLAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
 CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO	 1
1.1 Objetivos da pesquisa	9
1.2 Divisão do trabalho	9
 CAPÍTULO 2 – TERMINAIS INTERMODAIS	 10
2.1 Serviços a serem prestados em um terminal de transportes	11
2.2 Alguns estudos encontrados na literatura	12
2.3 Terminais intermodais no Brasil	15
 CAPÍTULO 3 – SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	 17
3.1 Relação do SIG e a engenharia de transportes	18
3.2 Algoritmos do <i>TransCAD</i> para problemas de localização de instalações	21
 CAPÍTULO 4 – MODELOS DE LOCALIZAÇÃO INSTALAÇÕES	 23
4.1 Modelos de localização	24
4.2 Problema do Ponto Central	27
4.3 Problema das <i>p</i> -Medianas	28
4.4 Problema da Localização de Instalações Não-Capacitadas	30
 CAPÍTULO 5 – MÉTODO PROPOSTO	 34
5.1 Aquisição e organização dos dados	34
5.2 Composição dos custos de transporte	38
5.2.1 Custo de transporte rodoviário	39
5.2.2 Custo de transporte ferroviário	40
5.2.3 Custo da operação de transbordo	41
5.3 Montagem dos cenários no <i>TransCAD</i>	42
5.3.1 Montagem dos dados alfanuméricos	42
5.4 Matriz de custos e geração de soluções	45
 CAPÍTULO 6 – APLICAÇÃO DO MÉTODO	 48
6.1 Resultados conseguidos na condição 1	48
6.2 Comparativo de custos da rede na condição 1	60
6.3 Resultados conseguidos na condição 2	62
6.4 Comparativo de custos da rede na condição 2	62
6.5 Considerações finais	68
 CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES	 71
7.1 Conclusões	71
7.2 Sugestões	72
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 74
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	83
ANEXO A	94
ANEXO B	97

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Gráfico: Quantidade de contêineres movimentados anualmente.....	5
FIGURA 4.1 – Árvore genealógica dos problemas de localização em rede.....	26
FIGURA 5.1 – Rede intermodal georreferenciada.....	43
FIGURA 5.2 – Base de dados das cidades com suas demandas de contêineres.....	44
FIGURA 5.3 – Base de dados mostrando o custo por arco.....	45
FIGURA 5.4 – Matriz de custos.....	46
FIGURA 5.5 – Geração de soluções no <i>TransCAD</i>	47
FIGURA 6.1 – Mapa temático – condição 1 – 1 instalação.....	50
FIGURA 6.2 – Mapa temático – condição 1 – 2 instalações.....	51
FIGURA 6.3 – Mapa temático – condição 1 – 3 instalações.....	52
FIGURA 6.4 – Mapa temático – condição 1 – 4 instalações.....	53
FIGURA 6.5 – Mapa temático – condição 1 – 5 instalações.....	54
FIGURA 6.6 – Mapa temático – condição 1 – 6 instalações.....	55
FIGURA 6.7 – Mapa temático – condição 1 – 7 instalações.....	56
FIGURA 6.8 – Mapa temático – condição 1 – 8 instalações.....	57
FIGURA 6.9 – Mapa temático – condição 1 – 9 instalações.....	58
FIGURA 6.10 – Mapa temático – condição 1 – 10 instalações.....	59
FIGURA 6.11 – Gráfico – Decréscimo de custos de rede.....	60
FIGURA 6.12 – Mapa temático – condição 2 – 1 instalação.....	63
FIGURA 6.13 – Mapa temático – condição 2 – 2 instalações.....	64
FIGURA 6.14 – Mapa temático – condição 2 – 3 instalações.....	65
FIGURA 6.15 – Mapa temático – condição 2 – 4 instalações.....	66
FIGURA 6.16 – Mapa temático – condição 2 – 5 instalações.....	67
FIGURA 6.17 – Gráfico – Comparativo das duas condições	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 – Exportações e importações brasileiras com os demais países do MERCOSUL e o Chile (1990-1998).....	3
TABELA 1.2 – Fluxo de cargas brasileiras com os demais países do MERCOSUL e o Chile (1990-1998).....	3
TABELA 1.3 – Quantidade de Contêineres Movimentados Anualmente.....	5
TABELA 5.1 – Principais cidades e volume de contêineres movimentados.....	37
TABELA 6.1 – Tabela comparativa de custos de rede (condição 1).....	61
TABELA 6.2 – Tabela comparativa de custos de rede (condição 2).....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abepra	– Associação Brasileira das Empresas Operadoras de Regimes Aduaneiros
ABTTC	– Associação Brasileira de Transportes de Contêineres e Terminais Retroportuários
Ambev	– <i>American Beverage Company</i> - Companhia de Bebidas das Américas
CBTF	– Câmara Brasileira de Transporte Ferroviário
Cipagem	– Companhia Paulista de Armazéns Gerais Aduaneiros Exportação e Importação S/A
CNAGA	– Companhia Nacional de Armazéns Gerais Alfandegados
Cragea	– Companhia Regional de Armazéns Gerais e Entrepósitos Aduaneiros
EADI	– Estação(ões) Aduaneira(s) de Interior
Embragem	– Empresa Brasileira de Armazéns Gerais e Entrepósitos Ltda
FCA	– Ferrovia Centro-Atlântica
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
O/D	– Origem/Destino
PMP	– Problema das <i>p</i> -Medianas
PPC	– Problema do Ponto Central (<i>p</i> -Centro)
PLIN-C	– Problema da Localização de Instalações Não-Capacitadas
RFFSA	– Rede Ferroviária Federal
SIG	– Sistema(s) de Informação(ões) Geográfica(s)
TEU	– <i>Twenty Feet Equivalent Unity</i> (Unidade Equivalente a 20 Pés)

RESUMO

TIAGO, R. P. (2002). *Estudo de Pontos Promissores para a Instalação de Terminais Intermodais Rodo-Ferrovários de Contêineres no Estado de São Paulo*. São Carlos, 2002. 102p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

Este trabalho visa identificar, a partir de um levantamento de dados dos fluxos de cargas containerizadas e custos operacionais de transporte, os locais mais promissores para a instalação de futuros terminais intermodais de carga rodo-ferroviários, com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (*TransCAD*), objetivando a redução dos custos e otimização das operações logísticas envolvidas na rede de transportes do estado de São Paulo. Simulações são feitas para a instalação de até dez terminais intermodais rodo-ferroviários em pontos estratégicos do interior do Estado, considerando-se duas condições: a primeira com um terminal existente só em Santos e todos os pontos candidatos escolhidos pelo modelo de localização das p -medianas do *TransCAD* e, a segunda, considerando-se, além de Santos, os oito terminais intermodais já existentes no Estado. Apresenta-se uma análise dos custos de rede e os mapas temáticos de áreas de influência de cada uma das soluções obtidas pelo modelo. Os resultados são comparados com o trabalho de TONDO (1992). Conclui-se que as soluções encontradas através de um novo enfoque de modelagem do problema, são significativamente diferentes daqueles propostos por TONDO (1992).

Palavras-chave: terminais de transporte, contêiner, localização, intermodal, p -medianas, transporte ferroviário.

ABSTRACT

TIAGO, R. P. (2002). *Study of Promising Points to Install Road-Rail Intermodal Container Terminals in the State of São Paulo*. São Carlos, 2002. 102p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

Based on a data collection of containerized cargo flows and operational transport costs, this study has the objective of identifying promising points to install future road-rail intermodal container terminals, using a Geographic Information System (TransCAD) and the objective function of reducing costs and optimising logistic operations on the transport network of the state of São Paulo. Simulations are presented for the installation of up to ten road-rail intermodal terminals at strategic locations in the interior of the State, considering two conditions: the first one, with only one terminal placed at the port of Santos and all the candidate points being chosen by the p-median location model of TransCAD, and the second one, considering Santos and the other eight existing intermodal terminals in the State. An analysis of the network costs and thematic maps of the influence areas of each solution are presented. The results are compared with the study by TONDO (1992). It is concluded that the solutions obtained by this new modeling focus of the problem, are considerably different from the ones obtained by TONDO (1992).

Key-words: transportation terminals, container, location, intermodal, p-medians, rail transport.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do comércio internacional tem exigido uma constante modernização e racionalização nos sistemas de embalagem e de transporte.

A necessidade de reduzir os custos de transporte, bem como a de aumentar a rapidez e segurança nos intercâmbios comerciais nas modalidades rodoviária, ferroviária, aquaviária e aeroviária, fez com que se desenvolvesse os dispositivos de unitização de carga, como o contêiner, que é utilizado em larga escala nos processos de importação e exportação.

Embora esteja progressivamente sendo difundida, a sua utilização como meio econômico de movimentação de carga no Brasil ainda é modesta, não atingindo a sua plena capacidade, seja por fatores infra-estruturais, de ordem técnica, ou de ordem política.

A revolução no transporte de carga provocada pelo contêiner baseia-se em três grandes necessidades: maior economia, maior rapidez e maior segurança. BURG (1975) cita que os contêineres são usados para permitir o armazenamento e transporte de produtos, para proteger e preservá-los e para assegurar sua eficiente distribuição.

Segundo o MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO (MIC) em 1974, o custo do navio parado mais o custo de movimentação e estiva da carga pelo processo tradicional, com intenso e oneroso trabalho braçal, representam cerca de 70% do custo do frete. Esses elevados custos de porto só podem ser reduzidos através de uma completa modificação do sistema de carga e descarga do navio, modificação que deve estender-se às condições de armazenamento e transporte em terra, rodoviário e ferroviário.

O contêiner determinou esta integração, transformando as operações tradicionais de carga e descarga em operações rápidas de transferência mecanizada de grandes unidades, ajustáveis aos diversos modos de transporte e ao empilhamento.

Além de reduzir os custos de frete, por tornar mais rápida a movimentação, a utilização de contêineres também reduz os custos de embalagem e de seguro da carga, devido à maior segurança do sistema.

Os custos de armazenagem também são reduzidos, em geral, pelo fato de que os contêineres não necessitam de áreas cobertas. Esta redução por vezes não ocorre, pois os contêineres exigem grandes áreas (sendo esta uma das suas desvantagens) (MIC, 1974), bem pavimentadas (com pavimento reforçado) para facilidade de movimentação, resistência à mesma e empilhamento. Onde a área for cara, o custo do tempo de espera torna-se elevado.

O país vem passando por várias mudanças, tanto no que diz respeito à parte social quanto econômica. Dentro da área econômica, podemos citar os planos de privatização, aumento do comércio no MERCOSUL (Mercado Comum Sul Americano), modernização da infra-estrutura portuária e as metas do governo para atingir a duplicação das exportações, para incentivar as vendas externas, numa tentativa de aumentar a entrada de capitais no país.

O MERCOSUL tende a intensificar as relações comerciais dos países integrantes desse bloco com incentivos alfandegários, além de proporcionar intercâmbio tecnológico, cultural e de bens de consumo, o que se espera, irá gerar um aumento na demanda por transportes entre seus membros. SANT'ANNA (1997) cita grandes tendências de aumento do comércio entre os países envolvidos. Os grandes centros urbanos, pontos de concentração das atividades comerciais e industriais, têm conexões feitas pelas diversas modalidades (rodoviária, ferroviária e aquaviária) nos países do bloco sul-americano para atender à demanda por transporte gerada, ou mesmo ampliada, em razão das atividades comerciais entre os países membros do MERCOSUL.

Segundo dados do GEIPOT (1999), o comércio entre esses países vem aumentando, como se pode perceber nas tabelas 1.1 e 1.2.

TABELA 1.1 - Exportações e importações brasileiras com os demais países do MERCOSUL e o Chile (1990 – 1998) (em milhões de US\$).

País /Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Exportações:									
Argentina	645,1	1.476,2	3.040,0	3.658,8	4.135,9	4.041,1	5.170,0	6.767,3	6.747,1
Paraguai	380,5	496,1	543,3	960,6	1.053,6	1.300,7	1.324,6	1.406,7	1.249,4
Uruguai	294,6	337,1	514,2	775,8	732,0	811,9	810,7	870,0	880,6
MERCOSUL	1.320,2	2.309,4	4.097,5	5.395,2	5.921,5	6.153,7	7.305,3	9.044,0	8.877,1
Chile	483,7	677,2	923,5	1.110,3	998,8	1.210,5	1.055,3	1.196,5	1.023,0
MERCOSUL + Chile	1.803,9	2.986,6	5.021,0	6.505,5	6.920,3	7.364,2	8.360,6	9.240,5	9.900,1
Importações:									
Argentina	1.399,7	1.609,4	1731,6	2.717,3	4.502,1	5.591,4	6.783,9	8.201,8	8.027,1
Paraguai	331,5	220,5	195,0	275,6	351,1	514,7	551,5	527,7	348,4
Uruguai	580,6	412,9	301,9	385,4	571,2	7377,8	931,9	979,3	1.047,5
MERCOSUL	2.311,8	2.242,8	2.228,5	3.378,3	5.424,4	6.843,9	8.267,3	9.708,8	9.423,0
Chile	485,0	490,9	477,9	435,6	591,2	1.094,0	918,5	995,8	809,1
MERCOSUL + Chile	2.796,8	2.733,7	2.706,4	3.813,9	6.015,6	7.937,9	9.185,8	10.704,6	10.232,1

TABELA 1.2 - Fluxos de cargas brasileiras com os demais países do MERCOSUL e o Chile (1990 – 1998) (Todos os modais) (Em mil toneladas).

País /Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Exportações:									
Argentina	3.750,6	4.422,0	5.128,4	6.708,7	7.728,2	7.736,7	8.099,1	8.827,0	9.481,4
Paraguai	435,3	519,5	681,1	1.159,3	1.172,2	1.259,1	1.278,0	1.271,6	1.049,2
Uruguai	275,6	384,9	479,9	985,3	1.192,5	769,9	697,2	830,4	915,3
MERCOSUL	4.461,5	5.326,4	6.289,4	8.853,3	10.092,9	9.765,7	10.074,3	10.929,0	11.445,9
Chile	340,7	566,9	794,5	894,1	755,5	715,8	708,2	779,6	608,8
MERCOSUL + Chile	4.802,2	5.893,3	7.083,9	9.747,4	10.848,4	10.481,5	10.782,5	11.708,6	12.054,7
Importações:									
Argentina	3.581,4	4.959,1	5.885,6	10.634,4	12.839,2	15.574,1	26.749,9	16.337,5	18.953,8
Paraguai	454,2	372,7	505,7	590,4	1.145,5	1.884,3	1.818,6	1.899,0	1.184,3
Uruguai	672,4	634,0	513,6	703,4	813,8	1.083,4	2.247,4	1.319,5	1.310,4
MERCOSUL	4.708,0	5.965,8	6.904,9	11.928,2	14.798,5	18.541,8	30.815,9	19.555,5	21.448,5
Chile	875,2	656,8	680,3	734,1	1.043,2	1.468,3	3.657,8	1.764,7	1.232,6
MERCOSUL + Chile	5.583,2	6.622,6	7.585,2	12.662,3	15.841,7	20.010,1	34.473,7	21.320,2	22.681,1

O processo de privatizações, assim como as metas de exportação tendem a aquecer a economia, levando-se em consideração as intenções de lucro e crescimento das empresas atuantes no processo. A privatização deve melhorar o nível de serviço dos bens adquiridos com investimentos e manutenções, provocando assim, maior giro de capital na economia, e busca de trabalhadores e profissionais mais qualificados no mercado. Com as metas de exportação, o governo deve proporcionar apoio e incentivos aos empresários e empresas atuantes.

O estado de São Paulo, estado de maior força e maior participação na economia brasileira, conta ainda com a presença do porto de Santos, que além de importante terminal de transportes que está bem posicionado geograficamente (e em região economicamente ativa), atende todo o país, e com mais intensidade o próprio estado de São Paulo, Mato Grosso, o norte do Paraná, o oeste e sudoeste de Minas Gerais e grande parte de Goiás (JANE'S FREIGHT CONTAINERS, 1983). O Porto tem ligação com as redes ferroviárias da FERROBAN (Ferrovias Bandeirantes S.A.) e MRS Logística, e possui grandes terminais de contêineres como TECON, Terminais 35, 37 e 40. Mediante todas essas características, o porto de Santos tem grande potencial para agilizar a entrada e o escoamento de cargas containerizadas entre os países membros do MERCOSUL, e aumentar cada vez mais os laços comerciais com os países membros do MERCOSUL, sendo que "as cargas brasileiras têm nos 'contenedores' o principal item de expansão" (SANT'ANNA, 1997).

Segundo dados conseguidos com a CODESP, a quantidade de contêineres movimentados no Porto Organizado de Santos (todos os terminais, exceto COSIPA e Ultrafétil) vem aumentando consideravelmente, conforme mostram a tabela 1.3 e a figura 1.1.

A área de influência do estado, abrange pólos industriais e comerciais de grande importância, e uma considerável população economicamente ativa, com cidades com elevado índice de renda per capita ao longo de sua extensão.

TABELA 1.3 - Quantidade de contêineres movimentados anualmente (TEU):

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Quantidade	438.137	427.821	494.682	540.037	614.168	817.848
Ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Quantidade	772.313	829.486	799.746	774.959	800.898	1047.685

Fonte: Estatística - CODESP

FIGURA 1.1 - Quantidade de contêineres movimentados anualmente (TEU):

No Brasil o transporte por contêiner foi introduzido há pouco mais de 30 anos, face à rápida evolução nas exportações de manufaturados, que tendem a aumentar continuamente. Segundo dados do MIC (1974), as primeiras movimentações de contêineres nos portos brasileiros foram verificadas em 1967, quando se registraram somente no porto do Rio de Janeiro cerca de 102 contêineres mobilizados. Após 5 anos, isto é, em 1972 esse número foi elevado para 3323. O total de contêineres movimentados em 1973, em todos os portos brasileiros, foi estimado estar acima de

8000. Segundo a CODESP (1999), de 1965 até final do ano de 1996, 6.190.603 contêineres já tinham sido movimentados no porto de Santos.

Entre os projetos e atividades que estavam em andamento, já no começo da década de 90, para melhorar a eficiência do transporte por contêineres, pode-se citar (ARAGÃO, 1990):

- Regulamentação do transporte multimodal;
- Regulamentação da atividade de operador de transporte multimodal;
- Regulamentação do transporte rodoviário de contêineres;
- Adesão do Brasil à Convenção Internacional para a Segurança de Contêineres;
- Criação do Registro Brasileiro de Contêineres;
- Fomento à fábrica nacional de contêineres;
- Autorização para a remessa de divisas para o pagamento de custeio do transporte multimodal no exterior;
- Implantação do Conhecimento de Transporte Multimodal Internacional;
- Seguro internacional para o transporte multimodal.

Mas, o aumento da movimentação de contêineres, levou a problemas operacionais nos portos, que ainda estão se adaptando às novas cargas. Os portos passam por transformações organizacionais e administrativas, com novas leis de modernização gerencial e relacionamento da mão de obra. Para a movimentação de contêineres, a construção de terminais especializados e a aquisição de equipamentos especiais de movimentação dos contêineres nos portos (portêineres e transtêineres), têm facilitado a operação de navios comuns com menor custo (SANT'ANNA, 1997).

A modernização do Porto de Santos tem como objetivo aumentar a eficiência operacional do porto para cargas em geral, reduzindo os custos operacionais e o Custo Brasil. O projeto de modernização do porto de Santos insere-se num processo de reestruturação ampla do complexo portuário de Santos, denominado "PROJETO SANTOS 2000", que se subdivide em dois subprojetos: o Programa de Arrendamento e Parcerias no Porto de Santos - PROAPS e o Programa de Expansão do Porto de Santos (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 1999).

O processo de privatização, que além de incrementar a economia do país, deve, também, aumentar e melhorar os serviços das modalidades de transporte, devido aos investimentos que devem ser feitos. A modalidade ferroviária já entrou nesse processo, e tende a aperfeiçoar e a modernizar-se para oferecer uma alternativa rápida, segura, confiável e econômica para o transporte de cargas. O Porto de Santos está incluído no processo de privatização, que já teve início, com o arrendamento do TECON e de outros terminais.

Mas, a distribuição modal do transporte de carga, no estado de São Paulo e no Brasil, deixa a desejar. Segundo informações da CODESP (conseguidas *in loco*), 94% das cargas por contêiner que chegam no Porto de Santos são pelo modal rodoviário e apenas 6% são pelo modal ferroviário. PEREIRA & DAVID (1996) citam que a privatização da malha ferroviária brasileira pertencente a RFFSA e a política de concessão para empresas privadas da exploração de pedágios das principais rodovias federais devem estimular o transporte intermodal no Brasil, e que a conexão rodoviária será, provavelmente, a principal área de crescimento desta especialidade de transporte no futuro.

A importância da pesquisa do transporte intermodal e de fluxos em rede é resultado do crescimento contínuo do tráfego, particularmente rodoviário, e seu impacto negativo frente à população. Na Europa estão sendo feitas várias restrições frente ao transporte rodoviário, até mesmo para redirecionar o transporte para modos mais aceitáveis e que causem menos impacto na sociedade e meio ambiente (TSAMBOULAS et al., 1997). Uma típica operação de transporte intermodal combinada é baseada em 3 componentes: a unidade de carregamento, o modo de transporte principal envolvido em uma movimentação (ferrovia, navio, cabotagem) e o veículo rodoviário usado no ramo inicial e/ou final da cadeia de transporte. O transporte intermodal viria, até mesmo, a ter grande influência na recuperação das ferrovias, que tem potencial para arcar com uma parcela maior de carga do que a que transita hoje no país. Muitos profissionais da área consultados numa visita ao porto, acham que o transporte intermodal ainda é pouco explorado no país.

Acredita-se que a má distribuição de modalidades ocorre pela falta de infraestrutura interna (como exemplo, de terminais intermodais), por motivos de ordem política e pelos custos elevados de transferência de cargas gerados pela necessidade de transbordos. Segundo a CÂMARA BRASILEIRA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO (CBTF) em 1991, na carga geral, que exige maior agressividade comercial e cuidados no manuseio, o ponto fraco da ferrovia está nos terminais de carga, descarga ou transbordo, no serviço porta-a-porta eficiente e nas funções de *marketing*.

Os terminais intermodais desempenham importante papel na integração das modalidades de transporte, sendo que seu projeto, localização e planejamento são de extrema importância, para que recursos não sejam desperdiçados e mal aproveitados. YOUNGER & MURRAY (1994) citam que, para projetos como de portos intermodais de transferência de contêineres, deve-se levar em conta a equidade geográfica, funcional e modal.

TONDO (1992) cita que a inclusão de um terminal remoto no sistema, no sentido de aumentar sua eficiência, implica a necessidade de aceitação do mesmo pelos usuários e que esta aceitação se dará através da oferta pelo terminal remoto de serviços eficientes e de fácil acessibilidade. A acessibilidade poderá ser mais fácil se o terminal remoto localizar-se em posição que torne o custo de transporte, entre ele e a maioria dos usuários, o menor possível.

Segundo MAGEE (1977), o problema mais comum do projeto de um sistema logístico é o da localização do terminal. Quando se torna necessário mudar a localização ou construir um novo, o investimento é em geral, suficientemente grande para justificar um estudo de localização, de maneira a maximizar o equilíbrio custo/eficácia do sistema global. Com todo esse cenário nacional e internacional, o estudo de terminais intermodais de contêineres se faz bastante pertinente e atual, visto que os mesmos poderão ser pontos de apoio ao terminal de entrada que é o Porto de Santos e poderão melhorar operações logísticas, diminuir custos de transporte e desenvolver atividades como o transporte doméstico de contêineres.

O modelo utilizado parte da hipótese que os terminais intermodais concentrarão clientes em pontos específicos de uma região de influência.

1.1 Objetivos da Pesquisa

O objetivo desse trabalho é revisitar o problema de localização estratégica de terminais intermodais rodo-ferroviários para contêineres no Estado de São Paulo, tendo o escoamento de carga geral pelo porto de Santos como ponto focal.

Dada a importância dos terminais intermodais rodo-ferroviários, o presente trabalho procura reanalisar o problema de localização dentro de uma ótica mais voltada para aplicação prática, dentro da realidade operacional do sistema ferroviário e portuário privatizado.

O trabalho visa, também, desenvolver para os gestores do sistema ferroviário do estado de São Paulo, um modelo interativo com interface amigável para avaliar alternativas de investimento que aumentem o potencial de atração do tráfego de carga geral em contêineres para a ferrovia.

1.2 Divisão do Trabalho

Este trabalho está dividido da seguinte forma:

- a) No capítulo 1 foi feita a introdução e são citados o objetivo e divisão do trabalho.
- b) No capítulo 2 apresenta-se uma revisão da bibliografia dos terminais intermodais;
- c) No capítulo 3, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre Sistemas de Informações Geográficas com ênfase em SIG para transportes, SIG-T;
- d) No capítulo 4, revisão bibliográfica na área de modelos de localização de instalações e de localização industrial;
- e) No capítulo 5, descreve-se o Método Proposto;
- f) No capítulo 6, apresenta-se as análises dos resultados no SIG-T;
- g) Finalmente, no capítulo 7, apresenta-se as conclusões finais e sugestões do trabalho.

2 TERMINAIS INTERMODAIS

Os sistemas de transportes, sejam eles voltados para cargas, passageiros ou para ambos, são constituídos, fundamentalmente, por três subsistemas básicos: os veículos, as vias e os terminais.

Os terminais cumprem a função básica de permitir que passageiros ou cargas possam entrar ou sair de um sistema de transporte. Podem ser simples como um ponto de ônibus ou um espaço para carga ou descarga junto ao meio-fio de uma rua, ou complexos, como os grandes portos, aeroportos, estações ferroviárias e terminais multimodais em geral. Os pátios de carga e descarga industriais, assim como os depósitos e armazéns de distribuição de mercadorias, podem, também, ser considerados terminais de transportes (GUALDA, 1995).

Na medida em que fazem parte de sistemas mais amplos, os terminais devem ser planejados, projetados, implantados e operados de forma a contribuir para o adequado desempenho econômico operacional dos sistemas a que pertencem (GUALDA, 1995).

Os terminais de transporte estão no centro crítico de documentos econômicos, políticos, urbanos e outros subcampos geográficos, e merecem grande atenção (GOETZ & RODRIGUE (1999), RODRIGUE (1999), SLACK (1999)). Os fatores políticos e sócio-econômicos envolvidos são bastante consideráveis, exigindo grande cautela no seu estudo, projeto, planejamento e implantação.

A intermodalidade é um processo de transporte de cargas por meio de um sistema de redes interconectadas, envolvendo várias combinações de modos de transporte, na qual todas as partes componentes são intimamente ligadas e

eficientemente coordenadas e “para que o transporte intermodal seja competitivo, alguns fatores têm que ser levados em consideração, como: comprimento da linha de transporte ferroviário, preço ferroviário, custos do transporte rodoviário, volume de carga, balanço (equilíbrio) de tráfego, localização dos terminais intermodais, eficiência do transbordo intermodal, peso da carga e descontos praticados” (NIÉRAT, 1997).

Terminal intermodal de carga é um local nodal onde bens e cargas são transferidas entre dois ou mais modos de transporte, sendo que nesta interface, cargas são coletadas, trocadas, estocadas e/ou distribuídas (WIEGMANS et al., 1999).

2.1 Serviços a serem prestados em um terminal de transportes

Para que exerçam eficientemente sua função de uma transição entre carga geral fracionada e carga geral containerizada e vice-versa, os terminais intermodais necessitam prever a prestação dos seguintes serviços (TONDO, 1992):

- a) Carregamento e descarregamento de carga geral fracionada e contêineres, cheios ou vazios, de caminhões ou vagões ferroviários;
- b) Enchimento (“estufamento”) e esvaziamento (“desova”) de contêineres;
- c) Desembaraço fiscal de contêineres importados em recinto alfandegado, pela Receita Federal. Para isso, a atual legislação deve ser flexibilizada para permitir que os contêineres importados possam ser enviados cheios e lacrados até os terminais, onde seriam abertos e fiscalizados;
- d) Inspeção e conserto nas cargas e nos contêineres;
- e) Armazenagem temporária de cargas e contêineres, cheios ou vazios;
- f) Seria desejável a execução de serviços de composição de trens unitários, em pátio apropriado, conforme o destino da carga e o plano de carregamento dos navios, para facilitar as operações no terminal marítimo por onde são embarcados os contêineres. A descarga de trens unitários, no terminal marítimo, facilita a estocagem em blocos, conforme o destino;

- g) Eventualmente, o terminal intermodal poderia fazer o recolhimento e a entrega de contêineres e/ou carga fracionada, junto aos clientes.

Três importantes características de um bom terminal são: localização, acesso e infra-estrutura (MAHONEY, 1985).

Localização:

Até certo tempo atrás, a localização de portos e terminais era função de geografia e população. No passado, terminais rodo-ferroviários eram implantados perto de centros de grande população. A nova tendência é locar terminais rodo-ferroviários longe de grandes cidades com o intuito de escapar do custo relativamente alto de propriedade e mão-de-obra que prevalece nessas áreas. Instalações de terminais são localizadas onde a transferência possa ser feita mais econômica e convenientemente.

Acesso:

Um terminal intermodal deve providenciar acesso para, e coordenar a interface de, dois ou mais sistemas diferentes de transportes. Muitos terminais foram construídos e instalados para resolver problemas de um modo individual, sem grandes preocupações para exigências ou futuro crescimento da intermodalidade.

Infra-estrutura:

A infra-estrutura deveria começar com o planejamento e desenvolvimento de um terminal intermodal ou replanejamento de um velho terminal já existente, trazendo-o para a atualidade ou para novas necessidades.

2.2 Alguns estudos encontrados na literatura

A implantação de um terminal de cargas, seja o mesmo intermodal ou não, trás grandes mudanças a uma região. “A expansão de instalações multimodais de cargas de transporte em Chicago, por exemplo, tem atraído novos negócios e construção de novas

plantas industriais, depósitos e melhoria da infra-estrutura nas áreas adjacentes” (RONDINELLI & BERRY, 2000).

Vários estudos feitos no EUA indicaram que um sistema empregando uma maior densidade de terminais intermodais menores deve ser mais eficaz do que usar grandes terminais com maiores distâncias entre eles. Terminais menores custam menos por unidade de capacidade para construir e operar, pois eles provêem um maior nível de serviço e os custos de terminais menores são menos significativos que custos de acréscimo de distância que seriam incorridos se os mesmos não existissem. Grandes terminais ocupam grandes áreas e, usualmente, são localizados em áreas urbanas, onde a terra é limitada, cara, e sujeita a restrições sociais e ambientais (MAHONEY, 1985). O autor ainda cita a importância de terminais rodo-ferroviários na linha ferroviária ligada aos portos de Nova Iorque e Nova Jersey, que pela intensa atuação da ferrovia, tem grande infra-estrutura para esse modo de transporte.

HOWARD (1982, 1983) analisou 22 terminais intermodais rodo-ferroviários (*inland intermodal terminals*) ingleses, com movimentações anuais de 4.000 a 117.500 TEU por ano, instalados em diversos locais, e comenta ter observado pouca ou nenhuma correlação do porte com os custos unitários destes terminais. O trabalho de Howard também não permite concluir que os custos de terminais variem significativamente em função da localização. O autor comenta que pode ser mais conveniente a instalação de diversos terminais do que alguns terminais de grande porte, o que também foi citado por MAHONEY (1985) em relação aos EUA.

BLUMENFELD et al. (1985) fazem estudo da inserção de um terminal consolidado intermodal em uma rede de transportes, visando determinar uma otimização de estratégias de transporte e transbordo entre origens e destinos, analisando custos estabelecidos de transbordo, produção e inventário. Neste trabalho, um método simples de otimização é desenvolvido, que determina a rota ótima e o tamanho do carregamento para redes com terminal consolidado.

Os portos de *Long Beach* e *Los Angeles* encararam um problema de tempo e distância entre os terminais marítimos de contêineres e os terminais ferroviários intermodais existentes que distavam em torno de 40 km do complexo portuário. Esse

tempo e distância de viagem significavam um adicional de custo de transporte de US\$ 70 a US\$ 100 e, de 1 a 3 horas de viagem, em relação ao transporte rodoviário. Vários estudos foram feitos, para determinar a melhor solução possível, levando-se em consideração, o acesso rodoviário e ferroviário, e o mínimo distúrbio que se causaria aos terminais existentes de contêineres e à circulação portuária geral, sendo que a solução encontrada foi a instalação de um terminal ferroviário intermodal centralizado, a apenas 10 km do complexo portuário, diminuindo tempo e viagem (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 1986).

Várias mudanças físicas e tecnológicas de terminais ferroviários foram feitas em vários portos americanos que, com o crescimento do transporte intermodal e a inclusão de terminais intermodais rodo-ferroviários no interior do país tiveram que ser adequados aos novos cenários (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 1986).

TONDO (1992) estudou a localização estratégica de terminais intermodais rodo-ferroviários de contêineres no Estado de São Paulo, associados ao porto de Santos para exportação e importação. Usando o modelo matemático de p -medianas e como função objetivo o custo do momento global de transporte (peso das cargas transportadas $\times$ distância), ele estudou alguns cenários para instalação desses terminais intermodais. Com a função supracitada e fazendo simulações para até 10 novas instalações, o mesmo encontrou reduções no momento global de transporte de até 41,3%.

JOURQUIN & BEUTHE (1996) fazem uma análise de todas as operações de transporte (movimentação, carregamento, descarregamento, transbordo e trânsito em terminais) numa rede multimodal de transporte de cargas na Europa, analisando cada *link* com funções específicas de custo, aplicado, principalmente, na transferência de carga para diferentes modos de transporte. Os mesmos citam que o transporte ferroviário apresenta grande sensibilidade a uma possível variação de custo no transporte rodoviário, em estudos feitos na França, Alemanha e Holanda, sendo que, com um aumento do custo do transporte rodoviário, haveria maior participação do modo ferroviário no mercado europeu, se os mesmos tiverem capacidade (e infra-estrutura) para esse aumento da demanda.

NIÉRAT (1998, 1997, 1990) fez estudos da rede intermodal da França, onde ele, com um levantamento do mercado intermodal, dados de origem e destino, e os terminais intermodais existentes, analisa os custos entre fazer um transporte apenas com rodoviário ou utilizando o transporte intermodal (combinando ferroviário e rodoviário). O autor conclui em seus trabalhos que o transporte intermodal é mais atrativo para carregamentos mais leves (devido às tarifas vigentes no país) e quando há tráfegos rodoviários não balanceados. As conclusões encontradas para um país de dimensões como a França ou para a Europa, com diferenças políticas e tecnológicas, podem não ter o mesmo efeito em um país como o Brasil.

WIEGMANS et al. (1999) exploram em seu trabalho o estudo do poder econômico no mercado de terminais intermodais na Europa, numa visão mais ampla e teórica do assunto. Os autores citam que o idealizador de um terminal tentará garantir que a área do terminal seja localizada em um lugar interessante na rede logística. Conexões rodo-hidro-ferroviárias são importantes condições locais relacionadas, assim como o são as características de origem-destino da carga. No presente estudo, só foram levadas em consideração conexões rodo-ferroviárias.

Praticamente todos os artigos sobre Modelos de Localização de Instalações apresentados na bibliografia, não apresentam estudos de caso. Os poucos que apresentam, como BAUMOL & WOLFE (1958), KUEHN & HAMBURGER (1963), MANNE (1964), GAVETT & PLYTER (1966), VERGIN & ROGERS (1967) e COOPER (1972), usam custos já pré-determinados de transportes, não indicando se é uma operação intermodal, e citam terminais ou depósitos quaisquer, não indicando se os mesmos são intermodais rodo-ferroviários. TONDO (1992) cita em seu trabalho que não foram encontrados trabalhos equivalentes ao seu na literatura. O assunto ainda parece pouco explorado na literatura.

2.3 Terminais intermodais no Brasil

No Brasil a implantação de terminais intermodais tem sido feita pelo setor privado, como, por exemplo, a iniciativa da instalação do terminal de contêineres do

porto de Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul, feita por um consórcio (CONTECON) de armadores da navegação de longo curso, liderados pela companhia norte-americana *United States Line* (TONDO, 1992).

Em Contagem, na região metropolitana de Belo Horizonte (MG), foi implantado um terminal de contêineres, visando reduzir custos de transporte, como por exemplo, a viagem do contêiner vazio (chamado “passeio”) e pagamento de *demurrages* (multas por atraso de entrega). O mesmo foi construído a partir da parceria entre a Usifast Logística Industrial e o Grupo Libra (REVISTA CNT, 1998).

Dentre os terminais intermodais para contêineres já existentes no Brasil, podemos citar:

- Linha Ferrovia FCA: Anápolis (GO), Uberlândia (MG), Belo Horizonte (MG), Vitória (ES);
- Linha Ferrovia FERROBAN: Sumaré (SP), Paulínia (SP), Santos (SP);
- Linha Ferrovia MRS: Suzano (SP), Itaquaquecetuba (SP), São Paulo (SP), Jundiaí (SP), Cubatão (SP), Guarujá (SP);
- Linha Ferrovia ALL: Tatuí (SP), Diretor Pestana (RS), Uruguaiana (RS), Livramento (RS).

3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Nos últimos anos, gerenciadores de bancos de dados ganharam a capacidade de lidar com imagens. A capacidade de localizar no espaço dados alfanuméricos permite a visualização espacial das análises realizadas com os dados, ampliando em muito a capacidade de percepção dos resultados por parte dos usuários. Os programas de computador que permitem essa combinação de banco de dados alfanuméricos com imagens espaciais (ou geográficas) são chamados de SIG, ou Sistemas de Informações Geográficas (a partir do original em inglês GIS – *Geographic Information Systems*) (SILVA *et al.*, 1997). O SIG é capaz de identificar as relações entre os objetos, facilitando localização espacial de um objeto em estudo e auxiliando a tomada de decisões.

Os SIG (Sistemas de Informações Geográficas) representam meios poderosos para se gerenciar e integrar eficientemente vários tipos de informações necessárias para o planejamento, desenvolvimento, análise, operação, manutenção e administração de sistemas e instalações de transportes (VONDEROHE *et al.*, 1993), e se baseiam em uma tecnologia de armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, não espaciais e temporais (SILVA, 1998).

A ferramenta é capaz de gerar informações que permitem obter soluções rápidas e precisas para vários problemas, facilitando o processo de tomada de decisões em diversas áreas, tais como: Geologia, Hidrografia, Agricultura, Engenharia Civil (Urbanismo e Transportes) etc.

Nos últimos anos, devido ao bom desempenho e às vantagens apresentadas (facilidade de edição e representação gráfica, tratamento topológico, ferramentas para pesquisa operacional, análises estatísticas etc.), os SIG têm sido aplicados em vários

trabalhos, e itens como características e aspectos básicos e estruturais já foram descritos em vários trabalhos, como: PAREDES (1994), DAVIS JR. & FONSECA (1995), CÂMARA et al. (1996), DANTAS et al. (1996), SILVA *et al.* (1997), BUZAI & DURÁN (1997), SILVA (1998), DUTRA (1998) e SOUZA (2000).

3.1 Relação do SIG e a engenharia de transportes:

Nos últimos anos, vem se intensificando o uso dos Sistemas de Informações Geográficas voltado para a engenharia de transportes, denominados SIG-T, tornando-se ferramenta de auxílio de grande valia na tomada de decisões em questões relativas à área. Pelo pouco tempo de implementação, trata-se ainda de sistemas que necessitam de maior consolidação e exploração em alguns aspectos, mas, com uma maior disponibilização de uso e o crescente estudo científico na área, permitir-se-á um melhor entendimento e aproveitamento destes, gerando assim, maiores benefícios à comunidade.

Os SIG-T têm uma importante aplicação no planejamento, gerenciamento, operação e análise de sistemas de transportes, na melhor visualização de mapas e do espaço em estudo. É de grande valia sua aplicação em problemas de localização, seja de pontos comerciais, terminais ou fábricas. No roteamento de veículos, a ferramenta é fundamental, pois permite ao usuário visualizar as rotas que foram geradas a partir de um algoritmo. Pode-se fazer análises e geração de mapas temáticos, utilizando mapas digitalizados contendo rodovias, ferrovias e informações sobre dados georreferenciados. Pode ser usado, também, para recuperação e manutenção de dados, avaliação de impactos ambientais, análise de mercado e cenário de redes.

Podemos citar como exemplos de SIG: *APIC*, *ArcVIEW*, *ARC-INFO*, *ERDAS*, *GEOVISION*, *GRASS*, *IDRISI*, *INTERGRAPH*, *MAP-INFO*, *ReGIS*, *SIG*, *SPANS*, *SPRING*, *UFOSNET* e *TransCAD*.

No presente trabalho, foi usado o *TransCAD*, pela disponibilidade do mesmo no Departamento de Transportes (EESC-USP) como programa licenciado e por ser um SIG-T, que foi desenvolvido especificamente para ser usado como uma ferramenta de

planejamento, gerência, operação e análise de sistemas de transportes, possuindo, além das funções básicas de um SIG, rotinas específicas para a solução de problemas de logística, pesquisa operacional e de transporte em geral. Estas rotinas permitem ao usuário aplicar, não só funções básicas de análise de rede, tais como determinar a rota de menor impedância entre nós e distribuir viagens entre zonas, como também, resolver problemas convencionais de roteamento e escalonamento de veículos, localização de instalações, alocação de recursos em redes, alocação de tráfego, dentre outros.

Atualmente, a grande vantagem dos SIG como ferramenta de análise, e em particular dos SIG-T, está menos na sua capacidade de armazenar, manipular, atualizar e apresentar dados georreferenciados, mas, principalmente, na sua utilização como uma ferramenta de um sistema de apoio à decisão, envolvendo a integração destes dados em um ambiente de solução de problemas específicos do planejamento e da engenharia (LOUREIRO & RALSTON, 1996).

A aplicação dos SIG na engenharia de transportes foi dividida por DANTAS et al. (1996), em quatro áreas de abordagem, compreendidas em: planejamento, gestão, operação e análise de sistemas.

Na área de planejamento, os trabalhos abordam questões como transportes coletivos urbanos, definições de zonas de tráfego, transporte de carga e transporte regional. Um exemplo desta área é o artigo de SILVA et al. (1995), que trata da elaboração de um cadastro de dados de uma cidade de porte médio, do estado de São Paulo, para análises futuras de geração de viagens.

No que se refere à gestão, os estudos apresentam preocupações com a criação de bancos de dados. Este assunto aparece nos estudos de VIVIANI & SÓRIA (1995), que analisam um processo de gerência de vias não pavimentadas, de uma rede municipal utilizando o *TransCAD*.

Na área de operações, os trabalhos versam sobre questões de transporte de carga, engenharia de tráfego, transporte rodoviário e transporte público urbano, sendo que um exemplo nessa abordagem é o artigo de SILVA & MOTTA (1995), que analisa indicadores de desempenho, através de manipulação e visualização dos dados referente

ao sistema de transporte público de São José do Rio Pardo, uma cidade de pequeno porte no estado de São Paulo, também utilizando o *software TransCAD*.

Na parte que se refere à análise e crítica dos sistemas, os estudos enfocam o potencial, os requerimentos básicos e deficiências no uso dos SIG-T. O trabalho de KAGAN et al. (1992) discute justamente as potencialidades e limitações de utilização do SIG no planejamento de transportes e identifica, dentro deste contexto, as vantagens, principalmente no gerenciamento de bancos de dados volumosos, e alternativas de simulações de cenários. LOUREIRO & RALSTON (1996) usaram um SIG como plataforma para análise de redes de transporte.

NOVAES & ROSSETO (1993), usaram o SIG com o objetivo de otimizar a distribuição de bebidas no estado de Santa Catarina, através da locação de depósitos em determinadas cidades do estado, de modo a se conseguir o menor custo total do processo. Mais tarde, NOVAES (1995) propôs aproximações em redes logísticas para garantir uma melhor performance dos SIG na busca de rotas ótimas.

JOURQUIN & BEUTHE (1996) fizeram uma análise de políticas em uma rede intermodal de transportes na Europa com uso de um SIG, com estudos de matriz O/D e funções custo a serem minimizadas. Citam que alguns SIGs são usados como “black boxes” por terem modelos embutidos de maneira confidencial. Posteriormente, JOURQUIN et al. (1999) fazem uso de um SIG (NODUS) para analisar uma rede intermodal (incluindo Bélgica, Itália, Luxemburgo, Holanda e França), onde fizeram simulações com redução de custos de transportes, ou redução de custos de terminais, ou combinando os dois fatores. Na redução de custos de terminais quase não houve mudanças de fluxos na rede, o que aconteceu nas outras duas simulações. Já CLARKE et al. (1996) fazem um estudo parecido nos EUA e citam que foi percebido uma redução no número de acidentes fatais com a utilização do transporte intermodal. Ainda na área intermodal, SOUTHWORTH et al. (1997, 2000), fizeram um estudo de desenvolvimento de redes analíticas intermodais para uso em SIG, analisando roteirização, fluxo de cargas, combinação de modos de transporte e locais de transferências intermodais.

DUTRA (1998) utilizou a ferramenta localização de instalações do *TransCAD* para verificar a melhor localização de escolas na cidade de São Carlos para o melhor atendimento da população urbana.

PELIZARO (2000) utilizou o *TransCAD* para roteirização de veículos de empresas comerciais, fazendo uma posterior comparação com outro *software* (*Delivery*).

Outras aplicações dos SIG, envolvendo outras ferramentas, além de modelos de localização, podem ser vistas em DANTAS et al. (1996) e SILVA (1998).

Baseado nos estudos e trabalhos apresentados, conclui-se que com a melhor compreensão e reflexão sobre os conceitos e potencial dos SIG-T, os mesmos se mostram um importante e poderoso tipo de ferramenta no apoio à resolução de problemas de transporte de qualquer natureza.

3.2 Algoritmos do TransCAD para problema de localização de instalações

O *TransCAD* resolve vários tipos diferentes de problemas de localização de instalações (CALIPER, 1996), e segundo informações trocadas, por e-mail, com o diretor de pesquisas operacionais da *Caliper*, *Xu Jun Eberlein*, para desempenhar a heurística, o *TransCAD* utiliza três algoritmos: problema das *p*-medianas (do inglês *p-median problem*), problema do *p*-centro (*p-center problem*) e problema da localização de instalações não-capacitadas (*uncapacitated facility location problem*). No presente trabalho, ao se utilizar a ferramenta, escolheu-se a opção ‘minimizar o custo médio da rede’ que faz uso do modelo de localização das *p*-medianas.

Quando se usa o modelo de localização de instalações do *TransCAD* para adicionar um número fixo de facilidades, o algoritmo trabalha em dois estágios:

- Identifica um conjunto de locais iniciais de facilidade usando a chamada heurística “gulosa” (do inglês, *greedy heuristic*), termo já utilizado na literatura por GOLDBARG & LUNA (2000), que escolhe a melhor localização avaliando todos os pontos candidatos e selecionando aquele que melhor atinge os objetivos desejados (CALIPER, 1996).

- Aperfeiçoa o conjunto inicial de locais trocando candidatos com facilidades escolhidas, até que melhoras não possam mais ser feitas.

4 MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Pode-se definir planejamento como um processo de previsão de necessidades e racionalização do uso de meios materiais e recursos humanos disponíveis, a fim de alcançar determinados objetivos em prazos e etapas pré-definidos, com três dimensões fundamentais: administrativa, política e técnica (GUALDA, 1995).

Um dos problemas freqüentemente encontrado pelos planejadores diz respeito à localização de instalações. “Tal problema é caracterizado pelo fato de que as decisões partem de alguns pequenos grupos ou alguns setores, e as soluções devem atender a objetivos de uma ampla comunidade envolvida. As decisões são estratégicas, dado que, envolvem largas quantidades de recursos e, geralmente, efeitos de médio e longo prazo” (ALMEIDA & GONÇALVES, 1996).

Em termos gerais, pode-se dizer que a localização de instalações, assim como a alocação dos usuários a estes serviços, é uma das decisões logísticas mais importantes.

A alocação de recursos decorrentes de ações sobre o sistema econômico tem aspectos distributivos que não devem ser ignorados na formulação de políticas de planejamento de transportes. “Os custos e benefícios que resultam das decisões dos planejadores, se distribuem de forma bem diferenciada entre os diversos grupos da população envolvida” (ALMEIDA & GONÇALVES, 1996).

No caso dos terminais intermodais, a população envolvida é muito extensa. Toda a infra-estrutura que envolve a sua construção, sua operação e sua manutenção é bastante complexa. As conseqüências são imensas na sociedade, como, por exemplo, as mudanças causadas na economia e comércio da região. Isso sem levarmos em consideração que um terminal intermodal pode, por exemplo, aumentar a carga transportada por ferrovia, diminuir o número de caminhões nas estradas, aumentando a segurança e diminuindo os

riscos de acidentes nas rodovias e a poluição emitida pelos veículos pesados. CLARKE et al. (1996) fazem um estudo sobre o uso do transporte intermodal nos Estados Unidos e citam que foi percebido uma redução no número de acidentes fatais com a utilização do transporte intermodal.

A análise localizacional pode ser aplicada a muitos problemas, incluindo localização de aeroportos, escolas, hospitais, maquinário, depósitos, terminais de carga e passageiros, estação de tratamento de esgoto, correio, biblioteca e outros. Devido à amplitude da aplicação da análise de localizações, há um forte interesse interdisciplinar nesse estudo (TOMPKINS et al., 1996). Em geral, o objetivo em localizar tais instalações é além de prover um alto nível de serviço, minimizar custos de operação ou maximizar lucros.

O problema de localização de instalações envolve a escolha da melhor localização para uma ou mais instalações, num conjunto de possíveis localizações, que melhor favoreça a todo um sistema. Para tal problema, existem vários modelos que podem ser aplicados de acordo com a necessidade e utilização da instalação, sendo que grande parte dos problemas de localização procura otimizar uma função custo e, em alguns casos, o custo de armazenagem também.

CAMPBELL (1990) cita que o problema dinâmico de localização de instalações confronta muitos sistemas de expansão logística e distribuição. À medida que a demanda por transportes aumenta, adicionar ou realocar terminais pode diminuir o custo e a distância por transporte. O problema dinâmico de localização de instalações visa determinar quando e onde terminais devem ser adicionados e realocados, e servir uma demanda espaço-temporalmente distribuída. O *tradeoff* entre custos de transporte e terminais influencia onde e quando terminais devem ser adicionados e realocados. Esse *tradeoff* forma a base de muitas análises estático-locacionais e é importante na dinâmica ambiental, onde realocação de instalações devem ser requeridas para manter configurações de baixos custos. A ótima estratégia para adicionar terminais se estabelece nas futuras previsões de demanda.

4.1 Modelos de Localização de Instalações

São diversos os modelos referentes à localização de instalações encontrados na literatura (TANSEL et al. (1983a,1983b), NOVAES (1989) e, principalmente, LARSON & ODONI (1981), FRANCIS & MIRCHANDANI (1990) CAMPBELL (1994), DREZNER

(1995), OWEN & DASKIN (1998) e GOLDBARG & LUNA (2000)). São encontrados, também na literatura, históricos (ISARD (1956), LEME (1965), BRANDEAU & CHIU (1989), NOVAES & ROSSETO (1993), (GOLDBARG & LUNA, 2000)), além de resenhas e comentários de vários trabalhos. Na figura 4.1 mostra-se uma 'árvore genealógica' dos modelos de localização.

GUALDA (1995) cita que, em muitos problemas que envolvem a obtenção de uma solução ótima, chega a ser possível a aplicação de um modelo que garanta a obtenção desse ótimo, quando ele existe. Em casos em que a utilização de um algoritmo otimizador não é possível, há o recurso do desenvolvimento de uma heurística, que é uma seqüência de procedimentos que, em princípio, leva à solução do problema, porém sem que se possa garantir que o ótimo tenha sido atingido. Nestes casos, obtém-se uma solução próxima do ótimo.

Em alguns casos, receitas e lucros dependem da escolha de localização da instalação, tendo-se, às vezes, que estudar o custo de adicionar uma instalação por um potencial benefício de lucro.

Na maioria das vezes, os custos e benefícios estão relacionados com a distância de viagem, a facilidade de utilização e custos de transporte impostos aos usuários, no caso, levando-se em conta uma operação intermodal ao invés de uma operação com apenas um modo de transporte.

Os sistemas de transportes não operam sobre um espaço bi-dimensional contínuo, mas sim, ao longo de vias ou rotas específicas que, interligadas, formam uma rede (NOVAES, 1989). Os problemas de localização lidam com a localização de instalações para atendimento de um conjunto de pontos de demanda por serviços ou bens, nessa rede ou árvore, de modo a otimizar uma função-objetivo. Noções sobre grafos e redes podem ser encontradas na literatura, que também é vasta, como por exemplo: GOLDBARG & LUNA (2000), LARSON & ODONI (1981), NOVAES (1978), FORD & FULKERSON (1962), POTTS & OLIVER (1972).

Os problemas com grafos medianas e centrais, que são muito usuais em transportes, foram extensivamente estudados por HAKIMI (1964, 1965) e, posteriormente, por outros autores.

FIGURA 4.1 - Árvore 'genealógica' dos problemas de localizações em rede (TANSEL et al., 1983a, 1983b)

O ponto mediana de um grafo é aquele para o qual a distância dele para todos os vértices, cada qual com seu “peso”, é mínimo. Tal objetivo é equivalente a minimizar a média de todas as distâncias (ponderadas) do ponto escolhido. Em decisões de localização,

o objetivo *minisum* é apropriado para localização de instalações que provêem serviços de rotina para demandas relativamente constantes e prognosticadas.

O problema do grafo central é localizar um ponto no grafo (na região central) de tal maneira que sua distância do vértice mais distante do grafo seja mínima. O objetivo *minimax* é freqüentemente usado em serviços de emergência como bombeiro, ambulância e polícia.

Nos modelos de localização de instalações, funções-objetivo comuns são (FRANCIS & MIRCHANDANI, 1990):

1. Minimizar o custo máximo de transporte (o problema do ponto central);
2. Minimizar a soma dos custos de transportes (o problema das medianas);
3. Minimizar a soma dos custos de transportes e custos ocasionais (o problema de localização das instalações não-capacitadas);
4. Minimizar a soma dos custos ocasionais e custos de penalidades (o problema de cobertura (*covering*));
5. Minimizar a soma dos custos de penalidades (o problema de cobertura (*coverage*)).

4.1.1 Problema do Ponto Central

O problema do ponto central (PPC; P-Centro ou Problema *Minimax*) é um problema com espaço de soluções infinito, usado para determinar a localização ótima de uma facilidade no plano, de modo a minimizar a soma das distâncias ponderadas de pontos dados à instalação.

Os pesos dos diversos pontos dependem da particular aplicação. Por exemplo, se o objetivo é instalar um terminal para atender diversas cidades, o peso pode ser a população, produção, volume de cargas, etc.

Para se atender um certo número N de cidades (onde há potenciais mercados para contêineres) numa região, um local situado tão próximo quanto possível do centro da região, seria um forte candidato para instalação de um terminal intermodal. Num estudo mais complexo, analisar-se-iam outros fatores, como: infra-estrutura, mão-de-obra, rede de transportes e outros.

Seja a formulação matemática do modelo dada por NOVAES (1989):

$$\min \sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i \quad (1)$$

sendo P_i a população ($i = 1, \dots, N$) e d_i a distância entre a possível instalação e os pontos atendidos.

NOVAES (1989) descreve o Problema do Ponto Central com as métricas Euclidiana e Retangular como distâncias, estendendo o estudo para: Localização de uma Instalação e Localização de Depósito na Presença de Outras Instalações.

O problema Euclidiano foi estudado de várias formas por diversos cientistas, entre eles: Fermat, Torricelli e Steiner. O economista alemão Weber aplicou essa formulação, no início do século XX, para resolução de problemas locacionais. Sua solução completa é devida a KUHN & KUENNE (1962).

4.1.2 Problema das p -Medianas

Esse é, provavelmente, o mais popular modelo na literatura de localização de instalações, sendo que o mesmo foi primeiramente descrito por HAKIMI (1965).

O problema das p -medianas (PPM; Problema *Minisum*) é um problema cujo espaço de soluções é formado pelos pontos de uma rede ou grafo. Ele consiste em localizar um número pré-especificado de instalações de forma a minimizar a soma das distâncias ponderadas dessas instalações a pontos dados. Esses pontos constituirão os nós da rede e as ligações viárias às suas arestas (GONÇALVES et alii, 1996).

Uma rede $G(N, A)$ consiste de um conjunto finito, N , de nós (ou vértices) e um conjunto finito, A , de extremidades (ou arcos, ou *links*, ou *branches*) com pares conectados de nós. Um arco conectando nós $i \in N$ e $j \in N$ será denotado como (i, j) . Se todo arco tem uma especificação orientada, o grafo é chamado direto (ou orientado); se nenhum arco tem orientação, o grafo é chamado indireto (ou não orientado); e se alguns arcos são diretos e outros não, o grafo é misto.

Considerando-se uma rede indireta $G(N, A)$ com n nós, seja k um inteiro positivo ($k = 1, 2, 3, \dots$) e escolha-se k distintos pontos no grafo G para ser indicado como o conjunto $X_k = \{x_1, x_2, \dots, x_{k-1}, x_k\}$. Deve-se indicar por $d(X_k, j)$ a distância mínima entre um

dos pontos $x_i \in N$ e o nó j em G . Conforme mostrado em LARSON & ODoni, (1981), $d(X_k, j)$ é dado por:

$$d(X_k, j) = \min_{x_i \in X_k} (x_i, j) \quad (1)$$

definindo-se as k -medianas da rede G como um conjunto de k pontos em X_k^* . Esse conjunto de k pontos em G é um conjunto de k -medianas se, para todo $X_k \in G$,

$$J(X_k^*) \leq J(X_k), \quad (2)$$

onde

$$J(X_k) = \sum_{j=1}^n h_j \cdot d(X_k, j) \quad (3)$$

Mas, se os k pontos em X_k são os pontos onde k instalações serão locadas e se h_j , o peso da demanda do nó j , é dado igual ao serviço que se origina de j (por exemplo, $\sum_{j=1}^n h_j = 1$), então, encontrando as k -medianas, X_k^* , de G leva a encontrar o conjunto que minimiza a distância ponderada de viagem para (ou das) instalações pelos usuários. Sendo assim:

$$\min J(X_k) = \sum_{j=1}^n h_j \cdot d(X_k, j) \quad (4)$$

Note-se, também, que a implícita assunção do que foi descrito acima é que a demanda originada em qualquer nó dado j será servida, exclusivamente, pela instalação que está mais próxima de j , ou seja, na solução ótima os diversos pontos j são alocados à instalação x_k , mais próxima.

Embora o espaço de soluções do problema seja infinito, consistindo de todos os pontos sobre os nós e as arestas de rede, na prática costuma-se buscar soluções dentro de um conjunto finito de nós. Essa simplificação é possível devido ao importante teorema de

HAKIMI (1964, 1965) (citado em todos os trabalhos referentes ao assunto), o qual garante que pelo menos uma solução ótima seja obtida no conjunto de nós.

A significância prática do teorema é de grande importância. Ela estabelece que a procura pelo conjunto dos k ótimos locais para as k instalações pode ser limitada ao conjunto de nós de G (por exemplo, para um total de n pontos somente) ao invés do infinito número de pontos que existe nos *links* de G .

Como no problema do ponto central, o sistema de pesos depende da particular aplicação.

4.1.3 Problema da Localização de Instalações Não-Capacitadas

Instalações podem ser ‘fechadas’ ou ‘abertas’. Uma instalação j é chamada *fechada* se nenhuma instalação está localizada no local v_j e, portanto, nenhum cliente pode ser servido por esta instalação potencial. *Aberta* indica o contrário e, a menos que o contrário seja estabelecido, instalações abertas são *não-capacitadas* no sentido de que elas podem suprir qualquer número de clientes (FRANCIS & MIRCHANDANI, 1990).

Para custos dados associados às instalações e às rotas de transportes do local de instalações potenciais para os clientes, procura-se um custo de produção mínimo / plano de transportes (em termos de número de instalações estabelecidas, suas localizações e o montante movimentado de cada instalação para cada cliente) satisfazendo todas as demandas.

O Problema da Localização de Instalações Não-Capacitadas (PLIN-C; Problema *Minisum*) seleciona locais de tal maneira a minimizar o custo para suprir dadas demandas. Dentre vários problemas de localização discreta, o PLIN-C tem recebido grande atenção devido tanto a sua praticidade teórica quanto prática (TCHA et alii, 1995).

O PLIN-C também é um problema *minisum* e tem grande relação com o PPM. Dois fatores distinguem o PLIN-C do PPM (FRANCIS & MIRCHANDANI, 1990): (1) um custo fixo não-negativo é associado a cada local da instalação potencial e, esse custo fixo será incorrido somente se a instalação está atualmente implantada no local, e (2) o número de instalações a serem localizadas não é pré-especificado.

A literatura é muito vasta e a formulação matemática desses problemas pode ser encontrada em vários artigos e livros, como, por exemplo, em FRANCIS & MIRCHANDANI (1990) e CAMPBELL (1994).

Considera-se $I = \{1, \dots, m\}$ um conjunto de clientes com uma dada demanda para uma simples instalação, e um conjunto de locais $J = \{1, \dots, n\}$ onde instalações podem ser locadas. Na literatura tem sido tradicional usar a frase “a instalação j está aberta” significando que a instalação está atualmente estabelecida no local j . Seja f_j o custo fixo dado para se abrir uma instalação j e assumir que haja um lucro conhecido c_{ij} , que é conseguido suprindo-se a demanda do cliente i da instalação j . Tipicamente, c_{ij} é a função dos custos de produção na instalação j , os custos de transporte da instalação j para o cliente i , a demanda do cliente i e o preço de venda (serviço) para o cliente i . Por exemplo, $c_{ij} = d_{ij}(p_i - q_j - t_{ij})$, onde d_i é a demanda, p_i o preço por unidade, q_j o custo unitário de produção e t_{ij} o custo unitário de transporte.

O PLIN-C abre um subconjunto de instalações com o objetivo de maximizar o lucro total, dado que todas as demandas têm que ser satisfeitas. Um caso do problema é especificado por inteiros m e n , uma matriz $m \times n$, $C = \{c_{ij}\}$ e a matriz $1 \times n$, $f = \{f_j\}$. Note-se que não há perda de generalidade em assumir que $f_j \geq 0$ para todo $j \in J$, desde que, se $f_k < 0$, toda solução ótima contem instalação k .

Para qualquer conjunto dado S de instalações abertas, é uma otimização servir o cliente i de uma instalação j para a qual c_{ij} é máximo sobre $j \in S$. Assim, dado S , o lucro é $z(S) = \sum_{i \in I} \max_{j \in S} c_{ij} - \sum_{j \in S} f_j$. O problema é encontrar um conjunto S que rende o máximo lucro Z , que é $Z = \max_{S \subseteq J} z(S)$. Isso pode ser visto como uma formulação combinatória do problema.

Uma formulação de programação linear inteira é obtida introduzindo as variáveis seguintes. Seja $x_j = 1$ se a instalação j é aberta, e $x_j = 0$ caso contrário; $y_{ij} = 1$ se a demanda do cliente i é satisfeita pela instalação j , e $y_{ij} = 0$ caso contrário. A programação inteira é:

$$Z = \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} y_{ij} - \sum_{j \in J} f_j x_j \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \text{para todo } i \in I \quad (2)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad \text{para todo } i \in I, j \in J \quad (3)$$

$$x_j, y_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{para todo } i \in I, j \in J \quad (4)$$

A restrição (2) garante que toda demanda de cada cliente é satisfeita, ao passo que (3) garante que os clientes são supridos somente por instalações abertas. Note-se que devido a (2), se c_{ij} é substituído por $c'_{ij} = c_{ij} + c_i$ para todo $j \in J$, então o lucro de cada solução possível é trocado por c_i . Portanto, pode-se adicionar uma constante para cada linha da matriz C e o conjunto de decisões ótimas continua o mesmo. Em particular, o preço de venda (serviço) adicionado para a linha i . Sendo assim, somente os custos (produção, transporte e custo fixo operacional) são relevantes para a decisão. Esse é o motivo pelo qual, na literatura o PLIN-C é comumente apresentado como:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} y_{ij} + \sum_{j \in J} f_j x_j \quad (1')$$

sujeito a (2)-(4) onde d_{ij} é o custo (produção mais transporte) para servir o cliente i da instalação j . Essa formulação é matematicamente equivalente a (1)-(4) desde que (1') se torne -(1) estabelecendo-se que $c_{ij} = -d_{ij}$. Em outras palavras, custos podem ser simplesmente tachados como lucros negativos.

Na programação inteira (1)-(4), os x_j são as variáveis estratégicas. Uma vez que os conjuntos x_j que satisfazem (4) são especificados, é simples determinar um conjunto de y_{ij} que resolve a programação inteira para os x_j fixados. Mesmo que se perca a condição de integridade em y_{ij} , um conjunto ótimo de y_{ij} é dado por $y_{ij} = 1$ e $y_{ij} = 0$, $j \neq j^*$ onde $c_{ij^*} = \max\{c_{ij} : x_j = 1, j \in J\}$. Assim (4) pode ser substituída por:

$$x_j \in \{0,1\}, \quad y_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo } i \in I, j \in J. \quad (4')$$

A formulação (1)-(3), (4') é uma programação linear mista inteira.

Uma programação linear inteira equivalente a (1)-(4) é obtida substituindo as restrições (3) para o conjunto mais compacto de restrições:

$$\sum_{i \in I} y_{ij} \leq mx_j \quad \text{para todo } j \in J. \quad (3')$$

Para se ver que (3) pode ser substituída por (3'), note-se que quando $x_j = 0$ ambos (3) e (3') implicam $y_{ij} = 0$ para todo $i \in I$, e quando $x_j = 1$, ambos (3) e (3') são satisfeitos por todas as chances de y_{ij} que satisfazem a restrição (2). Contudo, as duas formulações são equivalentes somente para valores 0-1 das variáveis x_j . Para cada j , (3') é obtida somando (3) sobre todo $i \in I$; portanto qualquer solução para (2), (3) também é solução para (2) e (3'). Mas, a conversão é falsa quando $0 < x_j < 1$; isto é, a possível região definida por (2), (3'), e

$$0 \leq x_j \leq 1, y_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo } i \in I, j \in J \quad (5)$$

estritamente contem a região definida por (2), (3) e (5).

No PLIN-C, o número de instalações que estão abertos numa solução ótima não é especificado; é determinado pela solução de (3)-(4). É usual considerar a formulação onde o número p de instalações abertas é um parâmetro do problema. Isso é conseguido adicionando uma das restrições seguintes para a programação (3)-(4):

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (6).$$

ou

$$\sum_{j \in J} x_j \leq p \quad (7)$$

onde p é uma variável inteira dada, $1 \leq p \leq n$. A formulação (1)-(4), (6) é chamada de Problema de Localização das p -Instalações. Quando $f_j = 0$ para todo $j \in J$, a formulação (1)-(4), (6) é conhecida como Problema das p -Medianas.

5 MÉTODO PROPOSTO

Diferente do trabalho de TONDO (1992), que não usou uma matriz de O/D de contêineres movimentados, mas sim, dados de cargas importadas e exportadas de 71 regiões (que ele considerou como regiões onde poderia haver um possível terminal), conseguidos junto a órgãos estaduais, considerando que toda a carga geral era 100% containerizável, propõe-se nesta pesquisa o uso de dados de O/D de contêineres, conforme descrito a seguir.

5.1 Aquisição e organização dos dados

O primeiro passo da pesquisa foi a coleta de dados de origem/destino para se saber se era possível ou não montar um cenário intermodal no estado. Os dados foram coletados junto a órgãos governamentais (federal e estadual), terminais, despachantes, empresas ferroviárias, e empresas de transporte de contêineres consideradas de grande porte, que estão listados no anexo do trabalho. Os nomes e telefones das empresas de transporte de contêineres consideradas de grande porte foram conseguidos junto à Associação Brasileira de Transportes de Contêineres e Terminais Retroportuários, na pessoa do Sr. Queiroga, que forneceu uma lista com todas as empresas associadas, totalizando 112 empresas. A lista discriminava o porte da empresa: pequena, média e grande. Foram selecionadas, então, as de grande porte, que totalizavam 30. Com o andamento da coleta de dados e da pesquisa, mais duas empresas (Caravel e Cobre)

foram adicionadas à pesquisa, por terem sido indicadas por alguns profissionais da área como transportadores de quantidades consideráveis.

De todas as empresas contatadas, somente 17 empresas responderam, por carta, telefone ou e-mail, enviando dados com origem e destino. Mas, algumas das empresas que os enviaram, em especial do ano de 1997 (que foi o escolhido por ser até 2001, um dos anos em que mais se transportaram contêineres de ou para Santos, e por ter sido o ano em que se conseguiu a maior quantidade de dados origem/destino), tinham uma parcela considerável do mercado, como as empresas situadas no bairro Alemoa, em Santos.

Muitas empresas não forneceram os dados, alegando que não tinham esses valores organizados e que, tal tarefa, demandaria tempo e perda de um funcionário para desempenhar tal tarefa, o que, no caso, não seria possível. Outras empresas, mesmo se explicando por telefone ou pessoalmente, que os dados necessários eram somente quantidades movimentadas e a origem e o destino das mesmas, se mantiveram reclusas, não querendo participar seus dados, alegando que eram dados confidenciais da empresa e não podiam ser compartilhados.

Com a coleta de dados, chegou-se a aproximadamente 21% dos dados totais anuais de contêineres, valor que foi extrapolado, via regra de três, para os dados totais de fluxo de contêineres. Adotou-se, então, o seguinte procedimento:

- Seleção das cidades:

A partir das informações dos dados de origem e destino coletados, de informações de localização relativa das cidades obtidas nos sites CITY BRAZIL (2002) e IBGE, do mapa georreferenciado do Estado de São Paulo e do mapa Ferroviário do Estado de São Paulo, conseguido junto ao Dep. Comercial da FERROBAN (agora Brasil Ferrovias), agrupou-se as cidades com menor tamanho e/ou que recebem menores quantidades de contêineres, nas cidades de maior porte (maior importância), ou que recebem maiores quantidades de contêineres, observando-se em quais havia passagem de linha ferroviária, incluindo-se, também, aquelas cidades onde já existem terminais. Além das cidades

escolhidas e seus principais contribuintes, incluem-se, também, nessas cidades, o tráfego de contêineres de regiões de influência, conforme descrito a seguir:

- 1- Araçatuba: Birigui, Guararapes e Andradina.
- 2- Bauru: Agudos, Pederneiras, Jaú.
- 3- Bebedouro: Colômbia, Olímpia, Barretos e Jaboticabal.
- 4- Botucatu: Cerqueira Cesar, Avaré, Itatinga e Lençóis Paulista.
- 5- Cajati: Curitiba (PR), Jacupiranga e Registro.
- 6- Campinas: Jaguariuna, Viracopos (aeroporto), Indaiatuba, Valinhos, Americana, Holambra e Hortolândia.
- 7- Catanduva: Santa Adélia, Taquaritinga e Pindorama.
- 8- Itapeva: Nordeste do Paraná, Itararé e Apiaí.
- 9- Itaquaquecetuba.
- 10- Jundiaí: Itatiba, Itupeva, Atibaia, Bragança Paulista e Franco da Rocha.
- 11- Limeira: Leme, Rio Claro, Santa Gertrudes, Corumbataí, Araras e Pirassununga.
- 12- Lins: Penápolis e Promissão.
- 13- Marília: Panorama, Adamantina, Tupã e Garça.
- 14- Mogi-Guaçu: Poços de Caldas (MG), Itapira e Mogi Mirim.
- 15- Ourinhos: Paraguaçu Paulista, Assis e Norte do Paraná.
- 16- Paulínia.
- 17- Piracicaba: Santa Bárbara e Capivari.
- 18- Presidente Prudente: Sul Do Mato Grosso do Sul, Presidente Epitácio e Presidente Wenceslau.
- 19- Ribeirão Preto: Goiânia (GO), Brasília (DF), Uberlândia (MG), Araguari (MG), Uberaba (MG), Franca, Orlândia, Batatais e Ituverava.
- 20- Santos: Cubatão, São Vicente e Guarujá.
- 21- São Carlos: Matão, Gavião Peixoto, Dourado, Descalvado e Araraquara.
- 22- São José dos Campos: Aparecida, Campos do Jordão, Cruzeiro, Sudeste de Minas Gerais, Caçapava, Guaratinguetá, Pindamonhangaba, Taubaté e Jacareí.
- 23- São José do Rio Preto: Jales, Votuporanga, Santa Fé do Sul, Mirassol, Campo Grande (MS), Cuiabá (MG) e Itumbiara (GO).

- 24- São Paulo: Osasco, Cajamar, Cotia, Itapevi, Guarulhos, Diadema, São Caetano do Sul, São Bernardo do Campo, Santo André, Mauá, Alumínio e Barueri, Ribeirão Pires e Taboão da Serra.
- 25- Sorocaba: Laranjal Paulista, Itapetininga, Itu e Salto.
- 26- Sumaré.
- 27- Suzano: Mogi das Cruzes e Poá.
- 28- Tatuí: Paraná, Rio Grande do Sul e Buenos Aires (Argentina).

Fez-se uma busca via *sites* de transportes, entrevistas, e-mails e telefonemas para se conseguir os locais aonde já existiam terminais no estado que manipulam contêineres. Em vários locais (cidades) existem terminais intramodais com possibilidade de conexão com a rede ferroviária, como o EADI em São José do Rio Preto, e tantos outros que se encontram em cidades como Piracicaba, São José dos Campos, Ourinhos, Assis e demais cidades do interior.

Conforme informações das ferrovias consultadas e Abepra (Anexo A), os terminais intermodais existentes no estado são (como já citado no capítulo 2): 2. Bauru, 9. Itaquaquecetuba, 10. Jundiaí, 16. Paulínia, 20. Santos (Cubatão e Guarujá), 24. São Paulo, 26. Sumaré, 27. Suzano e 28. Tatuí.

Fluxo de Contêineres:

Do total anual coletado junto à CODESP (Estatística), dividiu-se a porcentagem entre rodoviário e ferroviário (94% e 6%). A porcentagem de transporte de contêineres pelo modo rodviário agrupada que cada uma das principais cidades escolhidas movimentou foi extrapolada para o total do rodoviário anual coletado (94%). Esses valores foram somados com os totais das cidades pelo modo ferroviário, os quais foram obtidos com as ferrovias FERROBAN, Ferrovia Novoeste, MRS e ALL.

TABELA 5.1: Distribuição anual de volume de contêineres por cidade

Cidade	Porcentagem (%)	Quantidade (unidades)	Cidade	Porcentagem (%)	Quantidade (unidades)
1. Araçatuba	1,63%	13.482	15. Ourinhos	2,33%	19.287
2. Bauru	2,99%	24.821	16. Paulínia	0,86%	7.149
3. Bebedouro	1,74%	14.418	17. Piracicaba	2,37%	19.661
4. Botucatu	1,58%	13.108	18. Presidente Prudente	1,69%	14.044
5. Cajati	1,22%	10.112	19. Ribeirão Preto	5,49%	45.502
6. Campinas	6,88%	57.048	20. Santos	3,95%	32.805
7. Catanduva	1,54%	12.733	21. São Carlos	2,60%	21.534
8. Itapeva	0,77%	6.367	22. São José dos Campos	8,96%	74.306
9. Itaquaquecetuba	0,89%	7.340	23. São José do Rio Preto	1,81%	14.980
10. Jundiaí	3,48%	28.850	24. São Paulo	23,10%	191.594
11. Limeira	2,93%	24.343	25. Sorocaba	3,51%	29.136
12. Lins	1,31%	10.861	26. Sumaré	0,88%	7.289
13. Marília	2,23%	18.538	27. Suzano	8,46%	70.208
14. Mogi-Guaçu	1,56%	12.920	28. Tatuí	3,26%	27.020

5.2 Composição dos custos de transporte:

Também neste caso, o método difere do trabalho de TONDO (1992), que não utilizou custos de transporte na rede, usando a distância rodoviária como parâmetro principal no modelo das p -medianas, sendo que as distâncias ferroviárias foram

desprezadas pela dificuldade encontrada pelo autor em conseguí-las. Com a distância e o fator 'peso' relacionado à carga transportada, TONDO (1992) obteve o produto 'momento global de transporte', o qual foi utilizado como função-objetivo.

Para desenvolver o presente trabalho procurou-se conseguir, da melhor maneira possível, os custos operacionais dos transportes rodoviário e ferroviário de contêiner, e o custo de transbordo de contêiner.

Vale salientar que, no presente trabalho, não foram considerados custos de construção e instalação dos terminais, que também, não foram considerados por TONDO (1992) em seu trabalho. Os custos de construção e instalação dos terminais podem variar muito de um local para outro, visto que os mesmos vão depender do tamanho, projeto, operação e manutenção (o que pode implicar maior número de funcionários) e desapropriações de terras, que podem variar bastante de uma cidade para outra. Admitiu-se que os preços de transbordo de contêineres, hoje praticados, são representativos desses custos.

5.2.1 Custo de transporte rodoviário

O custo de transporte rodoviário considerado foi desenvolvido usando como base os modelos de VALENTE et al. (1997), SISC (1991) e KAWAMOTO (1994), onde se levou em consideração os custos diretos (fixos ou variáveis) e custos indiretos (custos administrativos e financeiros). Não se consideraram as variáveis tempo de viagem e velocidade desenvolvida.

Como caminhão, utilizou-se para modelo um Volvo NH 12, 380 CV, cavalo mecânico 4x2, que é um tipo de caminhão representativo para o acoplamento a um semi-reboque de 3 eixos comumente utilizado para o transporte de contêineres para carga seca.

Os dados foram coletados junto às empresas de transporte, empresas de acessórios e peças de veículos pesados, postos da Rede Graal, concessionária Volvo de

Ribeirão e algumas seguradoras. Alguns dados foram conseguidos com o aluno de mestrado Rafael José Rorato (RORATO, 2002).

O custo encontrado para este tipo de veículo com as características supracitadas é de US\$ 0,83 / contêiner·Km, sendo que a planilha com os custos rodoviários é apresentada no Anexo B.

5.2.2 Custos de transporte ferroviário

Para o transporte ferroviário, tentou-se montar uma planilha de custos, assim como foi feito para o transporte rodoviário, mas, a dificuldade é muito grande, devido aos seguintes motivos:

- As locomotivas (C36 e U23 (MRS Logística); GE U20C (FERROBAN)) e vagões nacionais são muito velhos (década de 60, 70 e começo de 80) e não se conseguiria estimar o preço dos mesmos novos;
- O tempo e custo de depreciação e remuneração de capital chegariam a zero em praticamente todos os casos;
- É de grande dificuldade a tarefa de conseguir preços de manutenção, peças, tempo de reparo e dados de desempenho das locomotivas e vagões, conservação e manutenção das vias e custos administrativos e financeiros;
- De uma maneira geral, o levantamento desses tipos de dados junto às ferrovias é bastante complicado, sendo que cada trecho tem suas particularidades (custos variáveis diferentes) e envolvem várias variáveis.

Resolveu-se, então, devido às dificuldades encontradas, adotar-se um valor médio de custo operacional/contêiner·Km estimado por uma das empresas ferroviárias entrevistadas, com base em estudos internos da empresa nas condições operacionais atuais. Esse valor, em abril de 2002, foi fixado para este estudo em US\$ 0,60 / contêiner·Km.

5.2.3 Custo da operação de transbordo

Foram realizadas entrevistas via e-mail, em visitas a Santos e às empresas ferroviárias, e via telefonemas, e foram conseguidos os seguintes valores de transbordo: R\$ 26,00, R\$ 30,00, R\$ 40,00 (nos terminais intermodais) e de R\$ 60,00 (nos EADI), sendo que todos estes valores são por operação, podendo a mesma ser:

- do trem para o pátio e vice-versa;
- do pátio para o caminhão e vice-versa, ou
- do trem para o caminhão e vice-versa.

Se houver necessidade de duas operações (utilização do pátio), são cobrados dois transbordos.

Nos EADI, por se ter várias taxas e serviços de despacho aduaneiro, o preço é, comumente, mais alto (como já foi citado antes, o escopo do trabalho é encontrar pontos promissores para instalação de terminais intermodais (não particularmente EADI), para diminuir custos de transporte). Todos os terminais e EADI entrevistados, entretanto, foram claros nas seguintes afirmações:

- dependendo do cliente ou da quantidade movimentada, descontos são oferecidos nestas taxas de transbordo, e
- tem havido a intenção, tanto dos terminais quanto dos clientes, de otimizar a operação, fazendo com que o cliente (ou a transportadora que vai desempenhar o serviço), já esteja esperando a chegada do contêiner no terminal, para que os gastos na operação não sejam maiores e o terminal não perca o cliente que vem usando a ferrovia. No terminal de Sumaré, por exemplo, observou-se que no trem que chega com carregamento de contêineres na parte da manhã e volta no período da tarde para Santos, o contêiner não é retirado do vagão plataforma, esperando a eventual chegada do cliente em atraso do caminhão do cliente, para evitar que o mesmo pague duas operações.

Resolveu-se, então, adotar o valor de R\$ 40,00 (US\$17,03) / contêiner (do rodoviário para o ferroviário ou vice-versa), como preço médio de transbordo completo, que foi o maior valor encontrado nos terminais. Embora não considere duas operações

de transbordo, esse valor também não leva em consideração os possíveis descontos e preços mais baixos.

Adotou-se esse valor de custo médio de transbordo por contêiner e não por TEU, devido ao fato de que nos terminais e EADI, o preço, praticamente, não varia entre a operação para o contêiner de 20' e 40'. Quando ocorre a variação, a mesma é muito baixa.

5.3 Montagem dos cenários no *TransCAD*

O mapa de São Paulo já georreferenciado foi conseguido junto ao Departamento de Transportes da EESC - USP.

Para inserir rodovias e ferrovias que não constavam no mapa, foram usados um mapa do GUIA RODOVIÁRIO 4 RODAS (2001) e o MAPA FERROVIÁRIO DO ESTADO DE SÃO PAULO (1995), que foram copiados (via scanner) e subpostos (via programa) ao mapa já georreferenciado, utilizando ferramentas descritas em SILVA (1999).

Para se verificar a consistência da rede, foi usado o método proposto por RAIA JR. & SILVA (1998), que consiste em aplicar uma medida de acessibilidade para verificar se há falhas na rede, como nós ou arcos desconectados.

Utilizou-se, também, para as duas etapas descritas acima ferramentas descritas em SILVA e WAERDEN (1997), sendo que a rede montada ficou como apresentado na figura 5.1.

5.3.1 Montagem dos Dados Alfanuméricos

Após verificação da consistência da rede, os dados de fluxo de contêineres foram inseridos na base de dados do mapa.

NOME	DEMANDA	REGIAO	UF
PRESIDENTE PRUDENTE	8005	SE	SP
ASSIS	3655	SE	SP
PARAGUACU PAULISTA	579	SE	SP
ADAMANTINA	1483	SE	SP
TUPA	1054	SE	SP
GUARARAPES	674	SE	SP
BIRIGUI	1348	SE	SP
ARACATUBA	10112	SE	SP
ANDRADINA	1348	SE	SP
SANTA FE DO SUL	4943	SE	SP
JALES	449	SE	SP
AVARE	4326	SE	SP
ITATINGA	1311	SE	SP
OURINHOS	15044	SE	SP
MARILIA	13533	SE	SP
GARÇA	742	SE	SP
PROMISSÃO	1195	SE	SP
PENAPOLIS	1195	SE	SP
LINS	8471	SE	SP
LENÇÓIS PAULISTA	1576	SE	SP
BAURU	16134	SE	SP
AGUDOS	3227	SE	SP
PEDERNEIRAS	2402	SE	SP
BOTUCATU	5898	SE	SP
JAU	2979	SE	SP

FIGURA 5.2 – Base de dados das cidades com suas demandas de contêineres.

Os custos de transporte foram inseridos como custos de arcos na base de dados da rede, sendo que a base de dados dos pedágios do estado foi conseguida com o aluno Rafael José Rorato, que a desenvolveu para o seu trabalho de mestrado (RORATO, 2002). Os pedágios e preços de transbordo foram colocados no *TransCAD* como ‘pontos de penalidades’ (*turn and transition penalties*).

ID	Length	Dir	ID2	MODO	CUSTO_US
1375	6.88	0	78375	RODOVIARIO	5.71
1376	2.23	0	78376	RODOVIARIO	1.85
1377	1.96	0	78377	RODOVIARIO	1.62
1378	12.65	0	78378	RODOVIARIO	10.50
1379	4.26	0	78379	RODOVIARIO	3.53
1380	4.11	0	78380	RODOVIARIO	3.41
1381	1.76	0	78381	RODOVIARIO	1.46
1382	1.35	0	78382	RODOVIARIO	1.12
1383	0.30	0	78383	RODOVIARIO	0.25
1384	2.61	0	78384	RODOVIARIO	2.16
1385	3.00	0	78385	RODOVIARIO	2.49
1386	3.61	0	78386	RODOVIARIO	3.00
1387	1.19	0	78387	RODOVIARIO	0.99
1388	1.45	0	78388	RODOVIARIO	1.20
1389	1.32	0	78389	RODOVIARIO	1.09
1390	10.64	0	78390	RODOVIARIO	8.83
1391	33.93	0	78391	RODOVIARIO	28.16
1392	1.34	0	78392	RODOVIARIO	1.11
1393	1.11	0	78393	RODOVIARIO	0.92
1394	3.86	0	78394	RODOVIARIO	3.21
1395	3.16	0	78395	RODOVIARIO	2.63
1396	7.74	0	78396	RODOVIARIO	6.42
1397	1.32	0	78397	RODOVIARIO	1.10
1398	2.19	0	78398	RODOVIARIO	1.82
1399	4.02	0	78399	RODOVIARIO	3.34
1400	4.07	0	78400	RODOVIARIO	3.37

FIGURA 5.3 – Base de dados mostrando o custo por arco.

5.4 Matriz de custos e geração de soluções

Com os dados de custos inseridos e a base de dados organizada, montou-se uma matriz de custos que foi a matriz usada na ferramenta localização de instalações do *TransCAD*. Para a montagem da matriz foram seguidos os seguintes passos:

1. Extraíu-se do cenário intermodal a matriz de custos da rede intermodal, que tinha o menor custo de acordo com a expressão:

$$\min(C_{R_{ST,i}}; C_{F_{ST,i}} + t_r + C_{R_{i,j}}) \forall i, j, \text{ onde}$$

$C_{R_{ST,i}}$ - custo rodoviário de Santos ao destino j ;

$C_{F_{ST,i}}$ - custo ferroviário de Santos ao terminal i ;

t_r - custo de transbordo;

$C_{R_{i,j}}$ - custo rodoviário do terminal i ao destino j ;

j - são as 121 cidades para as quais existe tráfego de contêineres, e

i - são os 28 centros candidatos à localização de terminais rodo-ferroviários.

2. Extraíu-se da matriz de custos da rede rodoviária, os vetores de custos $C_{R,i,j}$.

	RATINGUETA	GUARUJA	GUARULHOS	HOLAMBRA	RYTOLANDIA	IGARAPAVA	INDAIATUBA	APETININGA
ARACATUBA	951.29	901.36	822.23	784.63	740.13	708.57	756.30	739.29
BAURU	673.09	623.16	544.03	506.43	469.93	568.01	478.10	461.09
BEBEDOURO	730.64	705.61	626.48	561.12	532.33	443.51	567.29	605.75
BOTUCATU	536.80	484.84	405.71	399.65	365.97	519.50	339.78	322.77
CAJATI	476.62	374.16	342.07	419.29	390.61	649.22	359.42	283.95
CAMPINAS	320.69	295.66	216.53	167.29	154.52	436.43	157.34	267.28
CATANDUVA	752.39	727.36	648.23	582.87	554.08	522.94	589.04	627.50
ITAPEVA	614.88	560.46	481.33	511.35	482.67	694.27	451.48	340.71
ITAQUAQUECETUBA	198.95	135.11	87.48	202.12	185.57	467.48	170.70	223.40
JUNDIAI	274.33	230.14	151.01	167.53	150.98	432.89	136.11	234.29
LIMEIRA	400.02	374.99	295.86	230.50	201.71	426.84	236.67	294.44
LINS	825.69	775.76	696.63	659.03	622.53	627.75	630.70	613.69
MARILIA	830.90	780.97	701.84	664.24	627.74	687.17	635.91	597.44
MOJI-GUACU	420.44	403.68	323.90	216.93	253.71	467.55	265.36	361.51
OURINHOS	755.23	700.81	621.68	640.42	597.73	702.00	590.37	481.06
PAULINIA	350.23	332.39	253.26	189.99	160.75	441.70	194.07	300.67
PIRACICABA	425.88	400.85	321.72	266.48	222.72	454.61	262.53	270.46
PRESIDENTE PRUDENTE	1047.02	992.60	913.47	911.33	868.64	862.08	861.28	775.88
RIBEIRAO PRETO	674.00	648.97	569.84	499.02	475.69	414.86	510.65	560.04
SANTOS	183.79	61.80	67.97	168.79	150.24	432.15	135.37	188.07
SAO CARLOS	523.05	498.02	418.89	353.53	324.74	419.80	359.70	398.16
SAO JOSE DO RIO PRETO	831.57	806.54	727.41	662.05	633.26	544.46	668.22	706.68
SAO JOSE DOS CAMPOS	179.47	208.01	174.58	257.23	247.98	529.89	250.80	315.20
SAO PAULO	208.18	152.36	74.63	173.45	156.90	438.81	142.03	192.07
SOROCABA	349.76	295.34	216.21	248.29	219.61	478.22	188.42	182.96

FIGURA 5.4 – Matriz de custos

3. A partir desses dados, montou-se uma matriz (figura 5.4) com as operações saindo do porto de Santos. Para se montar essa matriz de custos, considerou-se apenas a operação de ida do contêiner (por exemplo, saindo de Santos, chegando por ferrovia a um terminal e seguindo, posteriormente, de caminhão até o destino final), admitindo-se uma condição de fluxo balanceado de contêineres nos dois sentidos de cada arco da rede.

Foram feitas simulações com duas condições: a primeira condição com busca de 1 a 10 novas instalações, sendo que os pontos candidatos são as cidades da tabela 5.1 e

considerando um único terminal existente em Santos; a segunda condição com busca de 1 a 5 novas instalações, considerando Santos e os outros terminais já existentes no estado como dados do problema.

A entrada dos parâmetros no modelo de localização do *TransCAD* é apresentada na figura 5.5, onde pode se perceber no primeiro quadro da ferramenta a ser preenchido, que o usuário escolhe o número de instalações (*# New Facilities*) a serem localizadas na simulação, e na função objetivo (*Objective*), o modelo que será utilizado.

FIGURA 5.5 – Geração de soluções no *TransCAD*

Os resultados das simulações feitas para as duas condições são apresentadas no capítulo 6.

6 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Apresenta-se neste capítulo, os resultados das simulações para as duas condições estabelecidas no capítulo 5, quais sejam:

- condição 1: o modelo gera soluções de localização livremente tendo apenas Santos como terminal existente.
- condição 2: o modelo gera soluções de localização admitindo a existência de Santos e dos outros oito terminais (Bauru, Jundiaí, Itaquaquecetuba, Paulínia, São Paulo, Sumaré, Suzano e Tatuí).

6.1 Resultados conseguidos na condição 1

O programa definiu os seguintes locais como pontos promissores:

- 1 Instalação: Bauru;
- 2 Instalações: Bauru e São Carlos;
- 3 Instalações: Bauru, São Carlos e Ourinhos;
- 4 Instalações: Bauru, São Carlos, Ourinhos e Tatuí;
- 5 Instalações: Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, e Catanduva;
- 6 Instalações: Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva e Araçatuba;
- 7 Instalações: Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva, Araçatuba e Piracicaba;
- 8 Instalações: Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva, Araçatuba, Piracicaba e Bebedouro;
- 9 Instalações: Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva, Araçatuba, Piracicaba, Bebedouro e São José dos Campos;

10 Instalações: Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva, Araçatuba, Piracicaba, Bebedouro, São José dos Campos e Cajati.

Os resultados para a condição 1 são apresentados nas figuras 6.1 a 6.10, onde se percebe que:

- Em alguns casos, como com o terminal escolhido de Bauru, alguns clientes que ficam depois da cidade e mais próximos de Santos, ainda são atendidos pelo terminal, como Agudos e Pederneiras; São Carlos atendendo Dourado; e Araçatuba (sexta simulação) atendendo Birigui.
- Quando o terminal de Tatuí é incluído (quarta simulação), Pederneiras deixa de ser atendida por Bauru e passa a ser atendida pelo novo terminal.
- Com a presença do terminal de Araçatuba (sexta simulação), Santa Fé do Sul passa a ser atendida pelo novo terminal, deixando Catanduva.
- Quando Piracicaba é incluída (sétima simulação), Pederneiras, que antes estava sendo atendida por Tatuí, e Jaú, que até o momento ia direto para Santos por rodovia, passam a ser atendidos pela nova instalação.
- Na décima simulação, mesmo com a adição de Cajati, Itararé e Itapeva continuam indo pelo rodoviário direto a Santos, assim como Registro, que está adiante de Cajati.

Percebe-se pelos resultados que, segundo o modelo de custos utilizado, a instalação de terminais intermodais no raio que atinge cidades como Mogi-Guaçu, Campinas, Limeira, e ao menos inicialmente, Piracicaba, que só aparece na sétima simulação, e São José dos Campos, no Vale do Paraíba, que só aparece na nona simulação, não são atrativos para a instalação de terminais. Isso se deve ao fato do transporte ferroviário, que percorre maior extensão, adicionado ao custo do transbordo e ao custo do transporte rodoviário “nas pontas”, ser maior que o custo do transporte rodoviário. Isso não se levando em consideração variáveis como: tempo e vezes que se manuseia o contêiner. Ou seja, o que se chama de custo generalizado da operação.

Condição 1
0 50 100 150
Kilometers
FIGURA 6.1 - 1 Terminal

Condição 1
 0 50 100 150
 Kilometers
FIGURA 6.4 - 4 Terminais

FIGURA 6.10 - 10 Terminais

6.2 Comparativo de custos da rede na condição 1

A tabela 6.1 resume os dados dos resultados numéricos fornecidos pelo TransCAD, onde se vê que as reduções de custo são marginalmente decrescentes. Até cinco instalações, chega-se a uma redução de custos de 6,02% (79,4% do total da redução de custos). Da sexta instalação à décima, o ganho se reduz a 1,56% de um total de 7,58% para as dez instalações. Salienta-se, ainda, que essa redução ocorre no custo médio de serviço da rede, onde o custo fixo de implantação dos terminais foi assumido como estando embutido na tarifa cobrada por movimentação. Como já foi citado, a consideração desse tipo de custo na análise do problema é bastante complexa, visto que envolve várias variáveis e as mesmas têm valores diferentes para cada cidade analisada dependendo da disponibilidade ou não de parte da infra-estrutura e equipamentos requeridos para a movimentação.

FIGURA 6.11 – Decréscimo de custos de rede

TABELA 6.1 – Tabela comparativa de custos de rede (condição 1):

Alternativa	Local	Custo total	Custo médio.	Decréscimo	Decréscimo
		(US\$)	(US\$)	de custo	total de custo
0	Santos.	153.558.716,00	183,02		
1	Santos e Bauru.	150.247.494,00	179,07	2,16%	
2	Santos, Bauru e São Carlos.	147.557.278,00	175,87	1,79%	
3	Santos, Bauru, São Carlos e Ourinhos.	146.061.067,00	174,09	1,01%	
4	Santos, Bauru, São Carlos, Ourinhos e Tatuí.	145.162.025,00	173,01	0,62%	
5	Santos, Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí e Catanduva.	144.306.253,00	172,00	0,58%	6,02%
6	Santos, Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva e Araçatuba.	143.688.336,00	171,30	0,41%	
7	Santos, Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva, Araçatuba e Piracicaba	143.209.574,00	170,69	0,36%	
8	Santos, Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva, Araçatuba, Piracicaba e Bebedouro.	142.749.276,00	170,14	0,32%	
9	Santos, Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva, Araçatuba, Bebedouro, São José dos Campos e Piracicaba.	142.308.638,00	169,61	0,31%	
10	Santos, Bauru, São Carlos, Ourinhos, Tatuí, Catanduva, Araçatuba, Cajati, Piracicaba, Bebedouro e São José dos Campos.	141.915.613,00	169,15	0,27%	7,58%

6.3 Resultados conseguidos na condição 2

O programa definiu os seguintes locais como pontos promissores:

9 Instalações: Existentes e São Carlos;

10 Instalações: Existentes, São Carlos e Ourinhos;

11 Instalações: Existentes, São Carlos, Ourinhos e Catanduva;

12 Instalações: Existentes, São Carlos, Ourinhos, Catanduva e Araçatuba;

13 Instalações: Existentes, São Carlos, Ourinhos, Catanduva, Araçatuba e Bebedouro.

Ao se observar as figuras 6.12 a 6.16, percebe-se que:

- Dos terminais já existentes, baseado no modelo montado, somente Bauru, Sumaré e Tatuí justificam sua presença. São Paulo, Suzano, Itaquaquecetuba, Jundiaí e Paulínia, com base no modelo utilizado, não se justificam, não atendendo nem mesmo as próprias cidades onde estão os terminais.
- Com Bauru e sem a presença de um terminal em Ourinhos, cidades como Assis e Presidente Prudente, mais afastados de Santos que Bauru, são atendidas por Tatuí, até que o terminal de Ourinhos seja incluído na segunda simulação.
- Pelo fato de já existir o terminal de Sumaré, não há a seleção de Piracicaba, sendo que Bebedouro aparece na quinta simulação após Araçatuba, seguindo a lógica da condição um.

6.4 Comparativo de custos da rede na condição 2

Observando-se a tabela 6.2, nota-se que a redução dos custos marginais das alternativas na condição dois, não atingem os valores encontrados na condição um, sendo que, a partir da quarta simulação, a redução do custo de rede passa a ser abaixo de 0,5%. Os decréscimos percentuais dos custos marginais de rede na condição dois, também não atingem a amplitude dos valores alcançados na condição um.

TABELA 6.2 – Tabela comparativa de custos de rede (condição 2):

Local	Custo Total	Custo médio	Decréscimo	Decréscimo total
	(US\$)	(US\$)	de custo	de custo
Existentes	148.907.302,97	177,48		
Existentes, São Carlos	146.217.086,68	174,27	1,81%	
Existentes, São Carlos e Ourinhos	144.858.498,70	172,65	0,93%	
Existentes, São Carlos, Ourinhos e Catanduva	144.002.726,58	171,63	0,59%	
Existentes, São Carlos, Ourinhos, Catanduva e Araçatuba.	143.384.809,44	170,90	0,43%	
Existentes, São Carlos, Ourinhos, Catanduva, Araçatuba e Bebedouro.	142.924.511,29	170,35	0,32%	4,02%

6.5 Considerações finais

Em um trabalho de estudo de rede intermodal, JOURQUIN & BEUTHE (1996) fazem uma análise de todas as operações de transporte (movimentação, carregamento, descarregamento, transbordo e trânsito em terminais) numa rede multimodal de transporte de cargas na Europa, analisando cada *link* com funções específicas de custo, aplicado, principalmente, na transferência de carga para diferentes modos de transporte. Os autores citam que o transporte ferroviário apresenta grande sensibilidade a uma possível variação de custo no transporte rodoviário e que um aumento do custo do transporte rodoviário implicaria maior participação do modo ferroviário no mercado europeu, se esse modo tiver capacidade (e infra-estrutura) para esse aumento da demanda.

No presente trabalho podemos perceber o mesmo acontecendo com o transporte ferroviário no estado de São Paulo. O transporte ferroviário é bastante sensível a um

aumento nos custos de transporte, sendo que a diminuição de custos do mesmo aliada ao decréscimo dos custos de transbordo, poderia acarretar maior participação do modo ferroviário na rede.

Os valores obtidos com o modelo proposto neste trabalho não atingiram a amplitude dos altos valores percentuais de redução encontrados por TONDO (1992) em sua pesquisa. Pelas tabelas 6.1 e 6.2, o maior ganho marginal da instalação do primeiro terminal em Bauru foi de 2,16%, sendo que para a inclusão do primeiro terminal na rede de sua pesquisa, TONDO (1992) encontrou um valor de variação de 41,3% na sua função-objetivo.

Na figura 6.17 mostra-se um comparativo das duas condições simuladas no presente trabalho, sendo que, na condição 1, a partir da terceira simulação, já se supera o custo médio da condição dois com os terminais já existentes. Na sétima simulação (condição um), praticamente já se atinge o custo médio de rede na condição dois, com 13 terminais.

FIGURA 6.17 – Comparativo das duas condições

Quanto ao modelo teórico, escolheu-se locais estratégicos não levando em consideração detalhes políticos ou a influência de grandes clientes como, por exemplo: Paulínia, que atende clientes de contêineres em Camaçari (BA), ou empresas de produtos petroquímicos; Tatuí, que pode ter sido escolhido como melhor ponto para a ALL, que opera a linha Centro-Sul e tem volume movimentado no trem expresso Tatuí (SP) – Buenos Aires (Argentina); e terminais existentes na região metropolitana de São Paulo e próximos à mesma. Esses detalhes poderiam levar à escolha de outras alternativas que possam ser mais atraentes economicamente para o operador dos possíveis terminais, sejam eles privados ou da própria empresa ferroviária.

Na teoria de terminais e localização industrial, há a diferenciação entre a macro-localização, em que se analisa o planejamento estratégico (busca de uma área geográfica apropriada para a localização) e a micro-localização, em que se faz uma análise tática (identificação do local exato). Na pesquisa, visou-se a macro-localização de terminais intermodais de contêineres. Nos resultados encontrados, a adição de Catanduva poderia, por exemplo, ser substituída por São José do Rio Preto, ou por algum ponto entre as duas cidades, que pudesse atender ambas e toda a área de influência, ou, então, atender São José do Rio Preto, sua área de influência e também, cargas vindas do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e sul de Goiás, levando Catanduva e as cidades próximas à mesma, a usarem o terminal de São Carlos ou outro que otimizasse a operação. Outro caso semelhante é o da escolha de Cajati, que só atende a própria cidade, Jacupiranga e Apiaí. Para atender melhor as outras cidades da área de influência, o terminal poderia ser instalado em Registro, podendo atender melhor a região e, também, contêineres vindos de cidades vizinhas do estado do Paraná.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 Conclusões

Conclui-se que a técnica de modelagem com a ferramenta de localização do *TransCAD* é eficaz na geração de soluções. A montagem do banco de dados e de obtenção de soluções, as quais parecem tecnicamente defensáveis, são bem mais simples do que a técnica disponível à época da elaboração da Tese de Doutorado de TONDO (1992).

A simulação, utilizando dados estimados a partir das informações de fluxos de contêineres de e para o porto de Santos, e a descrição detalhada das características da malha rodoviária e ferroviária no SIG *TransCAD*, apresenta resultados numéricos que diferem substancialmente, dos valores encontrados na pesquisa de TONDO (1992).

Esses resultados numéricos para os modelos de estimativa de custos adotados nesta pesquisa, mostram que a seleção da alternativa ferroviária é bastante sensível à relação entre as tarifas rodoviárias e ferroviárias, e aos custos envolvidos com as operações de transbordo.

Os resultados numéricos mostram também que, em termos de movimentação global na rede estabelecida, vários dos locais onde hoje existem terminais de contêineres no Estado poderiam ser substituídos por outros de maior potencial de atração de tráfego.

Em particular, regiões mais próximas do porto de Santos, como São Paulo, Campinas, Mogi-Guaçu e São José dos Campos, não se viabilizam como candidatos no modelo proposto.

Dadas as características da interface de entrada de dados, geração de soluções do *TransCAD* e a velocidade de obtenção de soluções, conclui-se que o modelo proposto

serve de base para a investigação de alternativas de investimento pelos gestores do sistema ferroviário do Estado de São Paulo, em cenários não contemplados na estrutura proposta nesta pesquisa.

Analogamente, o modelo pode ser utilizado para estudos semelhantes em outras regiões do país, ou considerando uma área maior do país, além de São Paulo.

7.2 Sugestões

Como sugestão para continuação do trabalho, pode-se estudar a capacidade da ferrovia e saber se a mesma poderia suportar aumento na demanda por contêineres, visto que a ferrovia, além de apresentar certas restrições de capacidade, tem dado preferência ao transporte de grãos (principalmente, a soja vinda do Centro-Oeste). A ferrovia também apresenta alguns problemas de transporte, como na passagem por São Paulo, onde a mesma tem que passar pelas linhas da Companhia de Trens Metropolitanos. Como essa tem usado um *headway* cada vez menor e a preferência é sempre dada ao transporte de passageiros, a ferrovia acaba enfrentando sérios problemas para transportar cargas por essa região.

O trabalho pode vir a contribuir para a instalação de futuros EADI e terminais retroportuários de interior no estado, visto que a instalação dos mesmos com desvio ferroviário, torna-se mais interessante para sua área de ação, diferindo, por exemplo, do EADI de Jacareí, que não opera com desvio ferroviário e tem suas operações restringidas a desembarço aduaneiro e ‘estufamento’ e ‘desova’ de contêineres. Os terminais retroportuários de interior podem desempenhar importante papel nas operações de exportação, visto que evitam certos trâmites na região portuária.

Com o crescimento do transporte intermodal, o transporte ‘doméstico’ de contêineres pode vir a se inserir no cenário nacional. Acredita-se que mudanças físicas, operacionais, tecnológicas e de planejamento podem ser feitas nos locais sugeridos, transformando os terminais já existentes em terminais rodo-ferroviários intermodais, como em casos já citados no capítulo 2 de portos (Los Angeles, Long Beach, Halifax, Nova Scotia e Portsmouth) e terminais de linhas férreas americanas (ver TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1986)). O transporte doméstico já vem

começando a ser praticado, como exemplo, no transporte de contêineres que a FCA vem desempenhando para a Ambev na linha Anápolis – Sumaré (CNAGA). A FCA adquiriu contêineres para fazer tal transporte e pode estar iniciando um mercado promissor na área, que ainda poderia ser melhorado com esses novos terminais. Sugere-se a extensão deste trabalho, considerando-se uma área mais ampla no território nacional (e não só São Paulo), estudando operações como esta desenvolvida para a Ambev.

Algumas operações como o trem expresso Sumaré (CNAGA) – Santos também podem ser estudadas, visto que ocorre uma redução de frete onde descontos são dados quando não há paradas efetuadas pela modalidade que transporta o contêiner.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L. M. W.; GONÇALVES, M. B. (1996). Um Estudo Sobre Modelos de Localização e Alocação e Critérios de Equidade Para os Serviços Públicos. In: X ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, Brasília, DF, 1996. Anais.Vol. 1, p. 189 - 197.
- ARAGÃO, C. F. (1990). Perspectivas para o Transporte Multimodal. Anuário de Portos e Navios – 1988/1989, Rio de Janeiro, RJ.
- BAUMOL, W. J.; WOLFE, P. (1958). A Warehouse-Location Problem. Operations Research, Vol. 6, n.º 2, March-April, págs. 252-263.
- BLUMENFELD, D. E.; BURNS, L. D.; DILTS, J. D.; DAGANZO, C. F. (1985). Analyzing Trade-Offs Between Transportation, Inventory and Production Costs on Freight Networks. Transportation Research B, Vol. 19B, n.º 5, págs. 361-380.
- BRANDEAU, M. L.; CHIU, S. S. (1989). An Overview of Representative Problems in Location Research. Management Science, Vol.35, n.º 6, June, págs. 645 – 674.
- BURG, G. V. D. (1975). Containerisation And Other Unit Transportation. Hutchinson Benham, London.
- BUZAI, G. D.; DURÁN, D. (1997). Enseñar e Investigar Con Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). Ed. Troquel, Buenos Aires, Argentina.
- CALIPER (1996a). TransCAD (Versão 3.0) User's Manual and Reference Guide. Caliper Corporation, Newton, Massachusetts.
- CALIPER (1996b). Routing And Logistics With TransCAD 3.0. Caliper Corporation, Newton, Massachusetts.

- CÂMARA BRASILEIRA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO (1991). Um Novo Modelo de Transporte de Carga no Eixo Rio – São Paulo. Relatório Preliminar, 59 p., Dezembro, 1991.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. (1996). Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. 10ª Escola de Computação. Biblioteca do IMECC – UNICAMP, Campinas, SP.
- CAMPBELL, J. F. (1990). Locating Transportation Terminals to Serve an Expanding Demand. *Transportation Research - B*, Vol. 24B, n.º 3, págs. 173-192.
- CAMPBELL, J. F. (1994). Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problems. *European Journal of Operational Research*, Vol. 72, Issue 2, January, pp. 388-406.
- CITY BRAZIL (2002). <http://www.citybrazil.com.br/> (*site* visitado em Mar 2002).
- CLARKE, D. B.; CHATERJEE, A.; RUTNER, S. M.; SINK, H. L. (1996). Intermodal Freight Transportation and Highway Safety. *Transportation Quarterly*, Vol. 50, n.º 2, Spring, págs. 97-110.
- CODESP - COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1999). *Movimento de Contêineres no Porto de Santos*. http://www.portodesantos.com/authority/infra/mcont_p.html.
- COOPER, L. (1972). The Transportation-Location Problem. *Operations Research*, Vol. 20, n.º 1, January-February, págs. 94-108.
- DANTAS, A. S.; TACO, P. W. G.; YAMASHITA, Y. (1996). Sistemas de Informação Geográfica em Transportes: O Estudo do Estado da Arte. In: X ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, Brasília, DF, 1996. Anais. Vol. 1, p. 211 - 222.
- DAVIS JR., C. A.; FONSECA, F. T. (1995). Fundamentos de SIG (Sistemas de Informações Geográficas), Editora Sagres Ltda.
- DREZNER, Z. (1995). Facility Location: A Survey of Applications and Methods, Springer Series in Operations Research, Springer-Verlag New York, Inc.

- DUTRA, N. G. S. (1998). Planejando Uma Rede Escolar Municipal Para Reduzir Custos de Deslocamento, dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 94p.
- FRANCIS, R. L.; MIRCHANDANI, P. B. (1990). Discrete Location Theory. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- GAVETT, J. W.; PLYTER, N. V. (1966). The Optimal Assingment Of Facilities To Locations By Branch And Bound. Operations Research, Vol. 14, n.º 2, March-April, págs. 210-232.
- GEIPOT (1999). *Anuário Estatístico dos Transportes*. <http://www.geipot.gov.br/integracao/mercosul/mercosul2.htm> (12 Jun.).
- GOETZ, A. R.; RODRIGUE, J. P. (1999). Transport Terminals: New Perspectives. Journal of Transport Geography, Vol. 7, págs. 237-240.
- GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. (2000). Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos. Ed. Campus Ltda, Rio de Janeiro, RJ.
- GUALDA, N. D. F. (1995). Terminais de Transportes: Contribuição ao Planejamento e Dimensionamento Operacional. São Paulo. 277p. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP.
- GUIA RODOVIÁRIO 4 RODAS (2001). Ed. Abril Ltda. São Paulo, SP.
- HAKIMI, S. L. (1964). Optimum Location of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. Operations Research, Vol. 12, n.º 3, págs. 450-459.
- HAKIMI, S. L. (1965). Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems. Operations Research, Vol. 13, September-October, n.º 5, págs. 462-475.
- HOWARD, S. G. (1982). Inland Intermodal Terminals – Do Economies of Scale Really Exist?. Cargo Systems, December, 1982.
- HOWARD, S. G. (1983). Large or Small Terminals in Intermodal Transport: What is the Optimun Size?. Transportation Research Record, 907, págs. 14-21.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. www.ibge.gov.br (site visitado em Março/2002).

- ISARD, W. (1956). *Location and Space-Economy*. The MIT Press, Massachussets Institute of Technology, Massachussets, 350p, 1965.
- JANE'S FREIGHT CONTAINERS (1983). *An International Survey of Container and Roll-On/ Roll-Off Operations*.
- JOURQUIN, B.; BEUTHE, M. (1996). *Transportation Policy With a GIS: The Virtual Network of Freight Transportation in Europe*. *Transportation Research Part C: Emerging Tecnologies*, Vol. 4, Issue 6, págs. 359-371.
- JOURQUIN, B.; BEUTHE, M.; DEMILIE, C. L. (1999). *Freight Bundling Network Models: Methodology and Aplication*. *Transportation Planning and Technologies*, Vol. 23, págs. 157-177.
- KAGAN, H. et al. (1992). *Uso de Sistemas de Informações Geográficas no Planejamento de Transportes*. *Anais do VI Congresso de Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET*, Rio de Janeiro, 1992.
- KAWAMOTO, E. (1994). *Análise de Sistemas de Transportes*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; São Carlos, SP, 1993.
- KUHN, H. W.; KUENNE, R. E. (1962). *An Efficient Algorithm for the Numerical Solution of the Generalized Weber Problem in Spatial Economics*. *Journal of Regional Science*, Vol.4, nº 2, p.21-33.
- KUEHN, A. A.; HAMBURGER, M. J. (1963). *A Heuristic Program for Locating Warehouses*. *Management Science*, Vol. 9, n.º 4, July, págs. 643-666.
- LARSON, C.; ODONI, A. R. (1981). *Urban Operations Research*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- LEME, R. A. S. (1965). *Contribuições a Teoria da Localização Industrial*. Boletim nº39, cadeira XXIV. X+365p. Faculdade de Ciências Econômicas e Administrativas, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- LOUREIRO, C. F. G., RALSTON, B. A. (1996). *SIG como Plataforma para Modelos de Análise de Redes de Transporte*. In: X ANPET. *Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes*, Brasília, DF, 1996. *Anais*. Vol.1, p. 235 - 244.
- MAGEE, J. F. (1977). *Logística Industrial: Análise e Administração dos Sistemas de Suprimento e Distribuição*. Livraria Pioneira Editora, São Paulo, SP.

- MAHONEY, J. H. (1985). *Intermodal Freight Transportation*. ENO Foundation for Transportation Inc., Wesport, Connecticut.
- MANNE, A. S. (1964). Plant Location Under Economies-of-Scale – Decentralization and Computation. *Management Science*, Vol.11, nº2, November, págs. 213-235.
- MAPA FERROVIÁRIO DO ESTADO DE SÃO PAULO (1995). Governo do Estado de São Paulo, SP.
- MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO (1974). CONTAINER, Guia do Exportador. STI / IPT. São Paulo.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (1999). *Dados Históricos e Planos de Ação Brasil 2000*. <http://www.transportes.gov.br/denys/pbea/pbsant.htm> (11 Jun.).
- NIÉRAT, P. (1998). Anatomie D'Un Reseau Intermodal Hub-And-Spoke. *Rapports INRETS*, nº 220, 80 p., Jan./1998.
- NIÉRAT, P. (1997). Market Área of Rail-Truck Terminals: Pertinence on the Spatial Theory. *Transportation Research A*, Vol. 31, nº 02, págs. 109-127.
- NIÉRAT, P. (1990). Transport Combiné – Organisation des Dessertes Terminales. *Rapports INRETS*, nº 110, 49 p., Jan./1990.
- NOVAES, A. G. (1995). Aproximações em Redes Logísticas Com Auxílio de Um SIG. In: IX ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, São Carlos, SP, 1995. *Anais*. Vol.3, p. 1161 - 1172.
- NOVAES, A. G. e ROSSETO, C. F. (1993). Localização de Depósitos Numa Rede Logística Com Auxílio de um SIG. In: VII ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, São Paulo, SP, 1993. *Anais*. Vol. 2, p. 605 - 616.
- NOVAES, A.G. N. (1989). *Sistemas Logísticos: Transporte Armazenagem e Distribuição Física de Produtos*. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, SP.
- OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. (1998). Strategic facility Location: A Review. *European Journal Of Operational Research*, nº 111, págs. 423-447.
- PAREDES, E. A. (1994). *Sistema de Informação Geográfica: Princípios e Aplicações (Geoprocessamento)*. Ed. Érica Ltda, 1ª Edição.

- PELIZARO, C. (2000). Avaliação de Desempenho do Algoritmo de um Programa Comercial para Roteirização de Veículos. São Carlos, SP. 153p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PEREIRA, A. L., DAVID, E. G. (1996). Técnicas de Transporte Intermodal Mais Adequadas Para o Brasil: Estudo na Ligação Rio de Janeiro a São Paulo. In: IX ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, Brasília, DF, 1996. Anais.Vol. 2, p. 791 - 800.
- RAIA JR., A. A.; SILVA, A. N. R. (1998). Um Método Expedito para Verificação da Consistência de Redes para Uso em um SIG-T. In: XII ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, Fortaleza, CE, 1998. Anais.Vol.2, p. 10-17.
- REVISTA CNT (1998). <http://www.cnt.org.br/revista/ago98/pg22a24.htm> (Acessado em Agosto, 1999).
- RODRIGUE, J. P. (1999). Globalization and the Synchronization of Transport Terminals. Journal of Transport Geography, Vol. 7, págs. 255-261.
- RONDINELLI, D.; BERRY, M. (2000). Multimodal Transportation, Logistics and the Environment: Managing Interactions in a Global Economy. European Management Journal, Vol. 18, nº 4, págs. 398-410.
- RORATO, R. J. (2002). Perspectivas de Transporte Doméstico de Contêineres Frigoríficos Utilizando a Integração Modal Rodo-Hidroviária. Dissertação em Edição - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SANT'ANNA, J. A. (1997). Comportamento de Pesos e Valores de Cargas no Corredor São Paulo – Buenos Aires. São Carlos. 160p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SILVA, A. N. R.; MOTTA, S. H. S. (1995). Avaliação do Desempenho de um Sistema de Transporte Público Urbano com o Auxílio de um Software para Sistemas de Informação Geográfica. IX ANPET, Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, São Carlos, Novembro de 1995.
- SILVA, A. N. R.; LIMA, R. S.; RAIA JR., A. A. (1995). Utilizando um Sistema de Informação Geográfica para Estimar Viagens em uma Cidade de Porte Médio. IX

- ANPET, Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, São Carlos, Novembro de 1995.
- SILVA, A. N. R.; MELO, J. J. O.; BRONDINO, N. C. M. (1997). Uma Introdução ao Planejamento de Transportes com Sistemas de Informação Geográfica. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; São Carlos, SP.
- SILVA, A. N. R.; WAERDEN, P. V. D. (1997). First Steps with a Geographic Information System for Transportation. São Francisco Gráfica e Editora, Ribeirão Preto, SP.
- SILVA, A. N. R. (1998). Sistemas de Informações Geográficas para Planejamento de Transportes. São Carlos. 112p. Tese de Livre Docência. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- SILVA, A. N. R., org. (1999). Ferramentas Específicas de um Sistema de Informações Geográficas para Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; São Carlos, SP.
- SISC – SISTEMA SCANIA DE SIMULAÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS (1991). Scania do Brasil, São Bernardo do Campo, SP.
- SLACK, B. (1999). Satellite Terminals: A Local Solution to Hub Congestion?. Journal of Transport Geography, Vol. 7, págs. 241-246.
- SOUTHWORTH, F.; XIONG, D.; MIDDENDORF, D. (1997). Development of Analytical Intermodal Freight Networks for Use within a GIS, GIS-T Symposium, Greensboro, North Carolina, March 23-26.
- SOUTHWORTH, F.; PETERSON, B. E. (2000). Intermodal and International Freight Network Modeling. Transportation Research C, Vol. 8, págs. 147-166.
- SOUZA, J. M. (2000). Uso do Sistema de Informações Geográficas na Análise e Otimização do Atendimento a Locais de Potencial Risco de Incêndios, para a Cidade de São Carlos (SP). São Carlos, SP. 56p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TANSEL, B. C.; FRANCIS, R. L.; LOWE, T. J. (1983a). Location on Networks: A Survey – Part I. The p-Center and p-Medians Problems. Management Science, Vol.29, nº 4, p.482-497, (April, 1983).

- TANSEL, B. C.; FRANCIS, R. L.; LOWE, T. J. (1983b). Location on Networks: A Survey – Part II. The p-Center and p-Medians Problems. *Management Science*, Vol.29, nº 4, p.498-511, (April, 1983).
- TCHA, D.; MYUNG, Y.; CHUNG, K. (1995). Parametric Uncapacited Facility Location. *European Journal of Operational Research*, Vol. 86, n.º 3, November, págs. 469-479.
- TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZER, Y. A.; FRAZELLE, E. H.; TANCHOCO, J. M. A.; TREVINO, J. (1996). *Facilities Planning*. Second Edition. Part four, Cap. 12, p. 533 – 656. John Wiley & Sons, Inc.
- TONDO, C. M. (1992), Um Modelo Matemático para a Localização Estratégica de Terminais de Contêineres no Interior: Aplicação ao Estado de São Paulo, Tese Apresentada à Escola Politécnica da USP - Universidade de São Paulo; São Paulo, SP.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1986). State-Of-The-Art, Facing the Challenge: The Intermodal of the Fututre. Report 4, 142p., Washington, DC, 1986.
- TSAMBOULAS, D.; BALLIS, A.; ERCOLANI, F. (1997), Appraisal of European Freight Trasnpot Corridors, *Transportation Quaterly*, Vol. 51, nº 1, Winter, págs. 63-77.
- VALENTE, A. M.; PASSAGLIA, E.; NOVAES, A. G. (1997). *Gerenciamento de Transporte e Frotas*. Ed. Pioneira, São Paulo, SP.
- VERGIN, R. C., ROGERS, J. D. (1967). An Algorithm and Computacional Procedure for Locating Economic Facilities. *Management Science*, Vol.13, nº6, p. B-240 – B-254, (February, 1967).
- VIVIANI, E.; SÓRIA, M. H. A. (1995). Aplicação de um SIG no Desenvolvimento de Sistema de Gerência de Vias Não-Pavimentadas, IX ANPET, Congresso de Ensino e Pesquisas em Transportes, Novembro (1995), São Carlos, SP.
- VONDEROHE, A. P.; TRAVIS, L.; SMITH, R. L., TSAI, V. (1993), Adaptation of Geographic Information Systems for Transportation. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Report 359.

- WIEGMANS, B. W.; MASUREL, E.; NIJKAMP, P. (1999). Intermodal Freight Terminals: An Analysis of the Terminal Market. *Transportation Planning and Technology*, Vol.23, p.105-128.
- YOUNGER, K. E.; MURRAY, D. G. (1994). Developing a Method of Multimodal Priority Setting for Transportation Projects in the San Francisco Bay Area in Response to Opportunities in ISTEA. *Transportation Research Record*, 1429, págs. 1-6.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AKINC, U.; KHUMAWALA, B. M. (1977). An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem. *Management Science*, Vol.23, nº6, p.585-594, (February, 1977).
- ARMOUR, G. C.; BUFFA, E. S. (1963). A Heuristic Algorithm And Simulation Approach to Relative Location of Facilities. *Management Science*, Vol. 9, nº 2, January, págs. 294-309.
- AVERSA, R. (2001). *Modelagem de Um Sistema Hub-Feeder Service Para o Transporte Marítimo Containerizado*. São Paulo. 169p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP.
- AYKIN, T. (1995). The Hub Location And Routing Problem. *European Journal Of Operational Research*, Vol. 83, nº 1, May, págs. 200-219.
- BALLOU, R. H. (1995). *Logística Empresarial*. Ed. Atlas S. A., 1ª Edição, 2ª Tiragem, São Paulo, SP.
- BARAHONA, F.; JENSEN, D. (1998). Plant Location With Minimum Inventory. *Mathematical Programming*, Vol. 83, nº 1, September, págs. 101-111.
- BERMAN, O.; LARSON, R. C.; CHIU, S. S. (1985). Optimal Server Location On A Network Operating As An M/G/1 Queue. *Operations Research*, Vol. 33, nº 4, July-August, págs. 746-771.
- BERTSIMAS, D.; VOHRA, R. (1998). Rounding Algorithms for Covering Problems. *Mathematical Programming*, Vol. 80, nº 1, p.63-89, (Jan.,1998).

- BOWERMAN, R. L.; CALAMAI, P. H.; HALL, G. B. (1999). The Demand Partitioning Method For Reducing Aggregation Errors In p -Median Problems. *Computers & Operations Research*, Vol. 26, n.º 10-11, September, págs. 1097-1111.
- BRIMBERG, J. (1995). The Fermat-Weber Location Problem Revisited. *Mathematical Programming*, Vol. 71, n.º 1, November, págs. 71-76.
- CALIJURI, M. L. (1995). *Sistemas de Informações Geográficas II*. Apostila n.º 355, p. 9, Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, MG.
- CALIJURI, M. L.; RÖHM, S. A. (1994). *Sistemas de Informações Geográficas*. Apostila n.º 344, Imprensa Universitária, 1ª Reimpressão (1995), Universidade Federal de Viçosa, MG.
- CÂMARA, G. et alii (2000). *Geoprocessamento: Teorias e Aplicações*. www.dpi.inpe.br/gilberto/livro (Mar 28, 1999).
- CÂMARA, G. (1994). Anatomia De Um SIG. *Revista Fator GIS*, n.º 04, pág. 11.
- CAMARGO, P.; WAISMAN, J. (1995). Desenvolvimento e Organização de Redes de Transporte: Modelos de Análise Selecionados. In: IX ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, São Carlos, SP, 1995. *Anais*. Vol.3, p. 1038 - 1046.
- CARRIZOSA, E.; MÁRQUEZ, M. M.; PUERTO, J. (1998). Location And Shape of a Retangular Facility in R^n . Convexity Properties. *Mathematical Programming*, Vol. 83, n.º 2, October, págs. 277-290.
- CHEN, G.; ZHANG, G. (2000). A Constrained Minimum Spanning Tree Problem. *Computers & Operations Research*, Vol. 27, n.º 9, August, págs. 867-875.
- CHADWIN, M. L.; TALLEY, W. K. (1992). Vessel And Port Technologies At The Turn Of The Century. Transportation Research Board. *Transportation Research Record* 1333, p.1-8.
- COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1999b). Visita Interativa ao Porto de Santos. <http://www.portodesantos.com/interativa/html/index2.html>.
- COOPER, L. (1963). Location-Allocation Problems. *Operations Research*, Vol. 11, n.º 3, May-June, págs. 331-343.

- CORNUEJOLS, G.; FISHER, M. L.; NEMHAUSER, G. L. (1977). Location of bank Accounts to Optimize Float: An Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms. *Management Science*, Vol.23, n°8, p.789-810, (April, 1977).
- CORNUEJOLS, G.; NEMHAUSER, G. L.; WOLSEY, L. A. (1980). Worst-Case And Probabilistic Analysis of Algorithms for a Location Problem. *Operations Research*, Vol. 28, n.º 4, July-August, págs. 847-858.
- CRÓSTA, A. P. (1996). Século XXI Em Alta Resolução, revista Fator GIS, n.º 15, p. 14.
- DAGANZO, C. F. (1985). Supplying a Single Location From Heterogeneous Sources. *Transportation Research - B*. Vol.19-B, n°5, p.409-419.
- DASARATHY, B.; WHITE, L. J. (1980). A Maxmin Location Problem. *Operations Research*, Vol. 28, n.º 6, November-December, págs. 1385-1401.
- DEARING, P. M.; FRANCIS, R. L.; LOWE, T. J. (1976). Convex Location Problems On Tree Networks. *Operations Research*, Vol. 24, n.º 4, July-August, págs. 628-641.
- DENYS, P. (1998). *Anuário Estatístico do Ministério dos Transportes e Banco de Informações dos Transportes*. <http://www.transportes.gov.br/Denys/Atest26.htm>
- DÖKMECI, V. F. (1977). A Quantitative Model to Plan Regional Health Facility Systems. *Management Science*, Vol.24, n°4, p.411-419, (December, 1977).
- DREZNER, Z. (1995). On The Conditional p - Median Problem. *Computers Operation Research*, Vol. 22, n.º 5, May, págs. 525-530.
- DREZNER, Z.; WESOLOWSKY, G. O. (1978). A Trajectory Method for the Optimization of the Multi-Facility Location Problem With l_p Distances. *Management Science*, Vol.24, n°14, p.1507-1514, (October, 1978).
- EFROYMSON, M. A.; RAY, T. L. (1966). A Branch-And-Bound Algorithm For Plant Location. *Operations Research*, Vol. 14, May-June, n.º 3, págs. 361-368.
- EL-SHAIEB, A. M. (1973). A New Algorithm for Locating Sources Among Destinations. *Management Science*, Vol.20, n°2, p.221-231, (October, 1973).
- ERKUT, E.; BOZKAYA, B. (1999). Analysis Of Aggregation Errors For The p -Median Problem. *Computers & Operations Research*, Vol. 26, n.º 10-11, September, págs. 1075-1096.

- ERLENKOTTER, D. (1977). Facility Location With Price-Sensitive Demands: Private, Public, and Quasi-Public. *Management Science*, Vol.24, n°4, p.378-386, (December, 1977).
- ERLENKOTTER, D. (1978). A Dual-Based Procedure For Uncapacited Facility Location. *Operations Research*, Vol. 26, n.º 6, págs. 992-1009.
- ERLBAUM, N.S.; VAUGHAN, T.M. (1997). Using Geographic Information System Technology to Synthesize Census Areawide and Linear Highway Data for Location of Weight-In-Motion Sites. *Transportation Research Board. Transportation Research Record 1570*, p.172-180.
- ESRI (1999). GIS And Mapping Software. www.esri.com/ , (10 Dez. 1999).
- EVERETT III, H. (1965). Generalized Lagrange Multiplier Method for Solving Problems of optimum Allocation of Resources. *Operations Research*, Vol. 11, n.º 3, May-June, págs. 399-417.
- FATORGIS (1999). Informações e Definições Técnicas. www.fatorgis.com.br, (10 Dez. 1999).
- FELDMAN, E.; LEHRER, F. A.; RAY, T. L. (1966). Warehouse Location Under Continuous Economies of Scale. *Management Science*, Vol.12, n°9, p.670-684, (May, 1966).
- FORD JR., L. R.; FULKERSON, D. R. (1962). *Flows In Transportation Networks*. Princeton University Press, 1974.
- FRANCIS, R. L. (1967). Some Aspects of a Minimax Location Problem. , Vol. 15, n.º 6, November-December, págs.1163-1169.
- FRANK, H. (1966). Optimum Locations on a Graph with Probabilistic Demands. *Operations Research*, Vol. 14, n.º 3, May-June, págs. 409-421.
- GALVÃO, R. D.; REVELLE, C. (1996). A Lagrangean Heuristic for the Maximal Covering Location Problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 88, n.º 1, January, págs. 114-123.
- GARFINKEL, R. S.; NEEBE, A. W.; RAO, M. R. (1977). The *m*-Center Problem: Minimax Facility Location Problem. *Management Science*, Vol.23, n°10, p.1133-1142, (June, 1977).

- GASPARRO, M. G.; REDDICK, R.; CORNWELL, N. (1996). Pola's On-Dock Rail Terminal: the Intermodal Container Terminal Container of the Future. Transportation Research Board. Transportation Research Circular 459, p.201-209, June.
- GEIPOT (1988). Contêiner ISO – Industrialização no Brasil. Série: Estudos Sobre Navegação Marinha, 122p. Brasília – DF.
- GENDRON, B.; CRAINIC, T. G. (1997). A Parallel Branch-And-Bound Algorithm For Multicommodity Location With Balancing Requirements. Computers Operation Research, Vol. 24, n.º 9, September, págs. 829-847.
- GONÇALVES, M. B., SOUZA, J. C.; SELINKE, F. L. (1996). Localização de Silos de uma Cooperativa Agrícola: Um Estudo de Caso. In: X ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, Brasília, DF, 1996. Anais.Vol.1, p. 351 - 360.
- GOODWIN, A. B. (1986). Design Considerations for Intermodal Container Transfer Facilities. Transportation Research Board. State-Of-The-Art report 4, p.48-51.
- GRÖTSCHEL, M.; MARTIN, A.; WEISMANTEL, R. (1996). Packing Steiner Trees: Polyhedral Investigations. European Journal of Operational Research, Vol. 72, nº 2, p.101-123, (February, 1996).
- GRÖTSCHEL, M.; MARTIN, A.; WEISMANTEL, R. (1996). Packing Steiner Trees: A Cutting Plane Algorithm and Computacional Results. European Journal of Operational Research, Vol. 72, nº 2, p.125-145, (February, 1996).
- HAKIMI, S. L.; MAHESHWARI, S. N. (1972). Optimum LocationS Of Centers. Operations Research, Vol. , n.º , págs. 967-973.
- HALPERN, J. (1978). Finding Minimal Center-Median Convex Combination (Cent-Dian) of a Graph. Management Science, Vol.24, nº5, p.535-544 (September, 1978).
- HALPERN, J. (1980). Duality In The Cent-Dian Of A Graph. Operations Research, Vol. 28, n.º 3, Part II, May-June, págs. 722-735.
- HATZITHEODOROU. G. C. (1983). Gate Requirements For Intermodal Facilities. Transportation Research Board. Transportation Research Record 907, p.52-57.
- HILLIER, F. S.; CONNORS, M. M. (1966). Quadratic Assignment Problem Algorithms and the Location of Indivisible Facilities. Management Science, Vol.13, nº1, p. 44-57, (September, 1966).

- HODDER, J. E. (1984). Financial Market Approaches to Facility Location Under Uncertainty. *Operations Research*, Vol. 32, n.º 6, November-December, págs. 1374-1380.
- HOHL, PAT (1998). *GIS Data Conversion: Strategies, Techniques and Management*, on Word Press, ISBN 1-56690-175-8, On Word Press.
- HOLGUIN-VERAS, J.; WALTON, C.M. (1996). State of the Practice of Information Technology At Marine Container Ports. *Transportation Research Board. Transportation Research Record 1522*, p.87-93.
- HOROWITZ, A. J. (1997). Integrating GIS Concepts Into Transportation Network Data Structures. *Transportation Planning and Technology*, Vol.21, p.139-153.
- HOUCK, C. R.; JOINES, J. A.; KAY, M. G. (1996). Comparison of Genetic Algorithms, Random Restart and Two-Opt Switching for Solving Large Location-Allocation Problems. *Computers Operation Research*, Vol. 23, n.º 6, June, págs. 587-596.
- JÄRVINEN, P.; RAJALA, J.; SINERVO, H. (1972). A Branch-And-Bound Algorithm For Seeking The p -Median. *Operations Research*, Vol. 20, n.º 1, January-February, págs. 173-178.
- JUCKER, J. V.; CARLSON, R. C. (1976). The Simple Plant-Location Problem Under Uncertainty. *Operations Research*, Vol. 24, n.º 6, November-December.
- KAPLAN, W.; YANG, W. H. (1997). Duality Theorem For A Generalized Fermat-Weber Problem. *Mathematical Programming*, Vol. 76, n.º 2, February, págs. 285-297.
- KENT, P. A.; HOCHSTEIN, A. (1997). Port Developments Trends in Latin America. *Transportation Quaterly*, Vol. 51, n.º 2, Spring, págs. 15-22.
- KHUMAWALA, B. M. (1972). An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Warehouse Location Problem. *Management Science*, Vol.18, n.º 12, p. B-718 - B-733, (August, 1972).
- KÖKSALAN, M.; SÜRAL, H.; KIRCA, Ö. (1995). A Locatio-Distribution Application for a Beer Company. *European Journal Of Operational Research*, Vol. 80, n.º 1, January, págs. 16-24.

- KORTE, G. B. (1990). The GIS Book. OnWord Press, 4th Edition, Santa Fe, NM, 1997.
- KUSIAC, A.; CHOW, W. S. (1988). Decomposition of Manufacturing Systems. IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.4, n°5, October, págs. 457-471.
- LOPEZ, J. M. C. (2000). Os Custos Logísticos do Comércio Exterior Brasileiro. Ed. Aduaneiras, São Paulo, SP.
- LOTUS COMUNICAÇÕES (2002). Economia e Transportes <http://www.economiaetransporte.com.br/index2.html> (Mar 2002).
- LOVE, R. L. (1976). One-Dimensional Facility Location-Allocation Using Dynamic Programming. Management Science, Vol.22, n°5, p.614-617, (January, 1976).
- MACLEOD, R. L. (1986). New Intermodal Concepts At The Port of Tacoma. Transportation Research Board. State-Of-The-Art, Report 4, p.55-61.
- MARÍN, A.; PELEGRÍN, B. (1997). A Branch-And-Bound Algorithm For The Transportation Problem With Location Of p Transshipment Points. Computers Operations Research, Vol. 24, n° 7, July, págs. 659-678.
- MAVRIDES, L. P. (1979). An Indirect Method for the Generalized k-Median Problem Applied to Lock-Box Location. Management Science, Vol.25, n°10, p. 990-996, (October, 1979).
- MENDELSON, H.; PLISKIN, J. S.; YECHIALI, U. (1980). A Stochastic Allocation Problem. Operations Research, Vol. 28, n° 3, Part II, May-June, págs. 687-693.
- MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO (1999). Secretaria de Cobriu Exterior. <http://www.mdic.gov.br/secex/scxindex.htm> (28 Jul.).
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (1999a). Site do Ministério dos Transportes. <http://www.transportes.gov.br> (18 Abr. 1999).
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (1999b). Fotografias do Porto de Santos. <http://www.transportes.gov.br/denys/PORTOS/santos/psantos.htm> (11 Jun.).
- MOON, D.; PAPAYANOPOULOS, L. (1995). Facility Location On A Tree With Maximum Distance Constraints. Computers Of Operation Research, Vol. 22, n° 9, November, págs. 905-914.
- MOORE, G. C.; REVELLE, C. (1982). The Hierarchical Service Location Problem. Management Science, Vol.28, n°7, p. 775-780, (July, 1982).

- MOURA, R. A.(1998). *Sistemas e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais*. Vol.1, Instituto de Movimentação e Armazenagem de Cargas. Santo André, SP.
- MOURA, R. A. (1997a). Armazenagem e Distribuição Física. Vol. 2, Instituto de Movimentação e Armazenagem de Cargas. Santo André, SP.
- MOURA, R. A. (1997b). *Embalagem, Unitização e Containerização*, Vol.3, Instituto de Movimentação e Armazenagem de Cargas. Santo André, SP.
- MOURA, R. A. (1997c). Equipamentos de Movimentação e Armazenagem, Vol. 4, Instituto de Movimentação e Armazenagem de Cargas. Santo André, SP.
- MOURA, R. A. (1997d). Aplicações Práticas de Equipamentos de Movimentação e Armazenagem de Materiais. Vol. 5, Instituto de Movimentação e Armazenagem de Cargas. Santo André, SP.
- MURRAY, A. T.; CHURCH, R. L. (1997). Solving The Anti-Covering Location Problem Using Lagrangian Relaxation. *Computers Operation Research*, Vol. 24, n.º 2, February, págs. 127-140.
- MULLER, G. (1996). Intermodalism: 40 Years Young. *Transportation Quaterly*, Vol. 50, n.º 4, Anniversary Issue, págs. 87-94.
- NEUMILLER, G. (1989). Preparing The Port Of Seattle For The 21ST Century. Transportation Research Board. *Transportation Research Circular 350*, p.13-15.
- NOVAES, A.G. N.; ALVARENGA, A.C. (1994). *Logística Aplicada*. Ed. Pioneira, 2^a Edição, São Paulo, SP.
- NOVAES, A. G. (1993). *Relações Métricas e Aproximações em Redes Logísticas*. In: VII ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, São Paulo, SP, 1993. Anais. Vol. 2, p. 579 - 587.
- NOVAES, A. G. N. (1978). *Métodos de Otimização: Aplicação aos Transportes*. Ed. Edgard Blücher Ltda., 1^a Edição, TRANSESP. São Paulo, SP.
- PATEL, N. R. (1979). Locating Rural Social Service Centers in India. *Management Science*, Vol.25, n.º1, p. 22-30, (January, 1979).
- PERL, J.; DASKIN, M. S. (1985). A Warehouse Location-Routing Problem. *Transportation Research – B*, Vol.19B, n.º 5, págs. 381-396.

- PIRKUL, H.; JAYARAMAN, V. (1998). A Multy-Commodity, Mutli-Plant, Capacited Facility Location Problem: Formulation And Efficient Heuristic Solution. *Computers Operation Research*, Vol. 25, n.º 10, October, págs. 869-878.
- POTTS, R. B.; OLIVER, R. M. (1972). *Flows In Transportation Networks*. New York and London Academic Press.
- RAYCO, M. B.; FRANCIS, R. L.; TAMIR, A. (1999). A *p*-Center Grid-Positioning Aggregation Procedure. *Computers & Operations Research*, Vol. 26, n.º 10-11, September, págs. 1113-1124.
- REVELLE, C.; MARKS, D.; LIEBMAN, J. C. (1970). An Analysis of Private and Public Sector Location Models. *Management Science*, Vol.16, nº11, July, págs. 692-707.
- ROSA, R.; BRITO, J. L. S. (1996). *Introdução ao Geoprocessamento, Sistema de Informação Geográfica*. Universidade de Uberlândia, Departamento de Geografia, Lab. de Geoprocessamento.
- ROSENWEIN, M. B.; WONG, R. T. (1995). A Constrained Steiner Tree Problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 81, nº , p. 430-439, (March, 1995).
- ROSS, G. T.; SOLAND, R. M. (1977). Modeling Facility Location Problems as Generalized Assignmrnt Problems. *Management Science*, Vol.24, nº3, p.345-357, (November, 1977).
- SENNA, L. A. S.; AZAMBUJA, A. M. V. (1996). Escolha Modal e Integração nos Transportes Urbanos: o Valor do Tempo de Transbordo. In: X ANPET. Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, Brasília, DF, 1996. *Anais*.Vol. 1, p. 119-125.
- SETTI, J. R.; WIDMER, J. A. (1994). *Tecnologia de Transportes*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; São Carlos, SP.
- SOUTHWORTH, F.; XIONG, D.; MIDDENDORF, D. (1997). "Development of Analytical Intermodal Freight Networks for Use within a GIS," GIS-T Symposium, Greensboro, North Carolina, March 23-26.
- SRIDHARAN, R. (1995). The Capacited Plant Location Problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 87, n.º 2, December, págs. 203-213.

- TAMIR, A.; MITCHELL, J. S. B. (1998). A Maximun b-Matching Problem Arising From Median Location Models With Applications To The Roommates Problem. *Mathematical Programming*, Vol. 80, n.º 2, January, págs. 171-194.
- TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. (1992). Introdução aos Sistemas de Informações Geográficas. Edição do Autor. Rio Claro, SP.
- TEIXEIRA, A. A.; MATIAS, L.; NOAL, R.; MORETTI, E. (1995a). A História dos SIGs. *Revista Fator GIS*, n.º 10, Jul/Ago/Set, p. 21.
- TEIXEIRA, A. A.; MATIAS, L.; NOAL, R.; MORETTI, E. (1995b). Qual a Melhor Definição de SIG. *Revista Fator GIS*, n.º 11, Out/Nov/Dez, p. 20.
- TEODOROVIC, D.; RADOS, J.; VUKANOVIC, S.; SARAC, M. (1986). Optimal Location of Emergency Services Cars in Urban Areas: Case Study of Belgrade. *Transportation Planning and Technology*, Vol.11, p.177-188.
- TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A. (1984). Facilities Planning. Part Four, Cap.15, p. 487 – 567. John Wiley & Sons, Inc.
- TONGZON, J. L. (1995), Determinants of Port Performance and Efficiency, *Transportation Research A*, Vol. 29-A, n.º 3, págs. 245-252.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1998). Policy Options For Intermodal Freight Transportation, Special Report 252, 315p., Washington, DC, 1998.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1993). ISTE A and Intermodal Planning: Concept Practice Vision. Special Report 240, 171p., Washington, DC, 1993.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1992). Intermodal Marine Container Transportation: Impediments and Opportunities, Special Report 236, 128p., Washington, DC, 1992.
- TZENG, G.; CHEN, Y. (1999). The Optimal Location of Airport Fire Stations: A Fuzzy Multi-Objective Programming and Revised Genetic Algorithm Approach. *Transportation Planning and Technology*, Vol.23, p.37-55.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de engenharia de São Carlos. Serviço de Biblioteca (1996). Diretrizes para Elaboração de Dissertações e Teses na EESC-USP. São Carlos.

- VAN ROY, T. J.; ERLINKOTTER, D. (1982). A Dual-Based Procedure for Dynamic Facility Location. *Management Science*, Vol.28, nº10, p.1091-1105, (October, 1982).
- VASCO, R. A. (1995), Sobre o Uso de "Paletes" no Transporte Rodoviário de Cargas. São Carlos, SP. 56p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- VERROEN, E. J.; JANSEN, G. R. M. (1992), Location Planning for Companies and Public Facilities: A Promising Policy to Reduce Car Use. *Transportation Research Record*, nº 1364, Transportation Planning, Programming, Land Use and Applications of Geographic Information System, págs. 81 – 88.
- WARD JR.; L. E. (1957). On The Optimal Location Of Limited Resources. *Operations Research*, Vol. 5, n.º 6, December, págs. 815-819.
- WARD, J. E.; WENDELL, R. E. (1980). A New Norm For Measuring Distance Which Yields Linear Location Problems. *Operations Research*, Vol. 28, n.º 3, Part II, May-June, págs. 836-844.
- WEAVER, J. R.; CHURCH, R. L. (1986). A Location Model Based On Multiple Metrics And Multiple Facility Assignment. *Transportation Research - B*, Vol. 20B, n.º 4, págs. 283-296.
- WESOLOWSKY, G. O.; LOVE, R. F. (1972). A Nonlinear Approximation Method for Solving a Generalised Rectangular Distance Weber Problem. *Management Science*, Vol.18, nº11, p.656-663, (July, 1972).
- WESOLOWSKY, G. O.; TRUSCOTT, W. G. (1975). The Multiperiod Location-Allocation Problem With Relocation of Facilities. *Management Science*, Vol.22, nº1, p.57-65, (September, 1975).

ÓRGÃOS CONSULTADOS:

1. Alfândega do Porto de Santos
2. Centro de Navegação – Sindamar – Datamar
3. CODESP – Companhia Docas do Estado de São Paulo
4. DERSA – Desenvolvimento Rodoviário S. A.
5. GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes.
6. Ministério dos Transportes.
7. DER-SP (Departamento de Estradas de Rodagem), São Carlos – SP.
8. Abepra – Associação Brasileira das Empresas Operadoras de Regimes Aduaneiros.
9. ABTTC - Associação Brasileira de Transportes de Contêineres e Terminais Retroportuários

TERMINAIS E DESPACHANTES CONSULTADOS:

10. Rio-Cubatão Logística Portuária Ltda (COSIPA).
11. Santos Brasil S. A. (TECON).
12. Wilson Sons Agência Marítima Ltda.
13. Libra Port – Companhia Libra de Navegação.
14. Terminal Cnaga (Sumaré, SP).
15. Terminal Katoen Natie (Paulínea, SP).
16. Terminal Embragem (São Paulo, SP).
17. Terminal Cragea (São Paulo, SP)
18. Terminal Cipagem (Bauru, SP)

19. Terminal Integral Logística (Jundiaí, SP)

20. Terminal Universal (Jacareí, SP)

ARMADORES E EMPRESAS DE *LEASINGS* CONSULTADOS:

21. Evergreen

22. Hamburg Süd

23. Maersk

24. P&O Nedlloyd.

25. Triton Rio.

26. Paulista Containers S. A.

EMPRESAS FERROVIÁRIAS CONSULTADAS:

27. FERROBAN – Ferrovia Bandeirantes S. A.

28. Ferronorte S. A.

29. Ferrovia Novoeste S. A.

30. MRS Logística S. A.

31. ALL – América Latina Logística S. A.

EMPRESAS DE TRANSPORTES CONSULTADAS:

32. A. Gracioso Cargas Internacionais Agencia Ltda.

33. Álamo Transportes Ltda.

34. Armazéns Gerais Columbia S. A.

35. Caravel Serviços de Containers S. A.

36. Deicmar – S. A. Despachos Aduaneiros Assessoria de Transportes.

37. Despachos Aduaneiros Maia Ltda.

38. Din Transportes Ltda.

39. Empresa de Transportes Ma-Pin Ltda.

40. Empresas de Transportes Covre Ltda.

41. Essemaga Transportes e Serviços Ltda.

42. Estrada Transportes Ltda.

43. Eudmarco S/A Serviços e Comércio Internacional.
44. Expresso Aratu Ltda.
45. Hipercon Terminais de Cargas Ltda.
46. Logic Port Serviços e Transportes Ltda.
47. Mesquita S/A Transportes e Serviços.
48. Multicargas Transportes Ltda.
49. Orly Comércio Exterior e Transportes Ltda.
50. Ozores Transportes Rodoviários Ltda.
51. Probo Transportes Ltda.
52. Rodrimar S/A Transportes, Equipamentos e Armazéns Gerais.
53. Transbrasa – Transítania Brasileira Ltda.
54. Transjofer Transportes Ltda.
55. Transportadora Bandeirantes Ltda.
56. Transportadora Benatti Ltda.
57. Transportadora Cortês Ltda.
58. Transportadora Dinver Ltda.
59. Transportadora Meca Ltda.
60. Transporte e Comércio Fassina Ltda.
61. Transportes Sancap S. A.
62. Vel Transportes e Serviços Ltda.
63. Coopercarga

OUTRAS EMPRESAS CONSULTADAS:

64. Lapônia Sudeste Ltda. (Volvo)
65. Postos da Rede Graal
66. Califórnia Pneus S. A.
67. Itaú Seguros
68. Renemar Seguros
69. Sigma Seguros
70. CBM Despachante

ANEXO B

DADOS GERAIS**(R\$)**

Cavalo mecânico: Volvo NH 12 380cv, cabine leito normal L2H1; entre eixos 4300
(FEITO SEGUINDO MEIOS LEGAIS C/ RESOL. CONTRAN 725/88, TAXAS C/ AET E ÚNICA VIÁRIA)

Câmbio (Dólar americano):	2,3487	1 US\$ - R\$
Data Câmbio:	11/03/02	
Período pretendido de uso do chassi (nc):	5 Anos	
Período pretendido de uso do equipamento (ne):	5 Anos	
Taxa anual de juros:	12 %	
Salário mensal médio do motorista:	1.000,00	425,77 US\$
Número de motoristas por veículo:	2	
Encargos sociais:	77,63 %	
Horas úteis trabalhadas por dia	8 h / dia	
Horas extras trabalhadas por dia	0,5 h / dia	
Custo aquisição do sistema monitoramento veículos (Autotrac / Controlsat)	4.000,00	1.703,07 US\$
Custo médio transmissão sistema monitoramento (Smagalhães, Cooper carga, Fassina)	180,00	76,64 US\$ / mês
Seguro do casco:		
Período de utilização do veículo - porta contêiner:	12 meses / ano	
Custo de uma apólice para frota média padrão - porta contêiner (cavalo R\$15.000,00; pc R\$5.000,00): (Volvo, Itaú Seguros, ABC Despachante)	20.000,00	8.515,35 US\$/ano
Relação histórica entre custos indiretos e custos diretos para a empresa: (C. Administrativos) (Valente et al., 1997)		20 %

DADOS DE PREÇOS**a) Veículo (unidade tratora)**

Preço do chassi zero Km, com pneus:	156.000,00	66.419,72 US\$
Valor de revenda do chassi com N anos de uso:	62.400,00	26.567,89 US\$
Seguro obrigatório do chassi:	55,43	23,60 US\$/ano
Imposto sobre propriedade de veículos automotores (IPVA) 2% valor unidade:	3.120,00	1.328,39 US\$/ano
Licenciamento Anual	40,00	17,03 US\$/ano
Autorização Especial de Trânsito (AET) - até 45 ton.:	14,04	5,98 US\$/ano
Valor do pneumático novo do chassi (eixo dianteiro) 295/80R22,5 (Liso - Sem câmara):	820,00	263,98 US\$
Valor do pneumático novo do chassi (eixo traseiro) 295/80R22,5 (Borrachudo - tração - Sem câmara):	890,00	293,78 US\$
Custo da recapagem / recauchutagem 295/80R22,5 (Liso - Sem câmara):	215,00	91,54 US\$
Custo da recapagem / recauchutagem 295/80R22,5 (Borrachudo - tração - Sem câmara):	230,00	97,93 US\$
Custo da câmara:	-	0,00 US\$
Custo de uma lavagem:	60,00	25,55 US\$
Custo de uma lubrificação (mão-de-obra):	40,00	17,03 US\$
Custo por litro de combustível	0,88	0,37 US\$
Custo do óleo para:		
Caixa de mudanças (Shell - Rímula D 40) Galão 20l - R\$ 78,00:	3,50	1,49 US\$/l
Eixo traseiro, caixa de transferência - diferencial (Spirax A 85W - 140) 1l - R:	5,90	2,51 US\$/l
Sistema de direção (Shell - Donax TG) 1l - R\$7,50:	7,50	3,19 US\$/l
Motor (Shell - Rímula X) Galão 20l - R\$79,90 :	4,00	1,70 US\$/l
Radiador (Aditivo Bardall RadCool 18l - R\$270,00):	15,00	6,39 US\$/l
Óleo para diferencial (Lubrax CRN5 SAE140 1l - R\$4,30):	-	0,00 US\$/l
Custo de:		
Filtro separador de água:	180,00	76,64 US\$
Coxim do motor (conjunto de 4):	2.000,00	851,53 US\$
Baterias:	480,00	204,37 US\$
Filtro de combustível:	15,00	6,39 US\$
Lonas de freio (2 jogos):	360,00	153,28 US\$
Filtro de ar (1 grande + 1 pequeno):	470,00	200,11 US\$
Reparo de um motor (peças + mão-de-obra):	5.000,00	2.128,84 US\$
Revisão Básica:	600,00	255,46 US\$
Custo de uma manutenção do chassi (Balancins, lub. eixos freios e outros):	500,00	212,88 US\$

INFORMAÇÃO DE DADOS:

Peso Cavalo Mecânico (Volvo NH 12 380cv, cabine L2H1)	9.180 Kg
Peso do Chassi Porta-Contêiner:	11.000 Kg
Peso do Contêiner 20":	2.990 Kg
Peso do Contêiner 40":	4.530 Kg
Contêiner 20":	
Comprimento interno:	5,558 m
Largura interna:	2,300 m
Altura interna:	2,345 m
Contêiner 40":	
Comprimento interno:	11,580 m
Largura interna:	2,288 m
Altura interna:	2,249 m

b) Equipamento de carga (Reboque porta-contêiner)

Custo do semi-reboque porta-contêiner (c/ 3 eixos) com pneus:	26.240,00	11.172,14 US\$	(Itaú Seguros, Empresas de Transporte, Volvo)
Valor estimado para revenda do equipamento com N anos de uso:	10.498,00	4.468,86 US\$	
Seguro obrigatório do reboque / semi-reboque:	9.291,00	3.955,81 US\$	
Valor do pneumático novo do chassi (eixo traseiro) 295/80R22,5 (Borrachudo - tração - Sem câmara):	690,00	293,78 US\$	
Custo da recapagem / recauchutagem:	180,00	76,64 US\$	
Custo da câmara:	-	0,00 US\$	
Custo de uma lavagem (considera-se a lavagem cavalo + reboques):	-	0,00 US\$	
Custo de uma lubrificação (mão-de-obra):	20,00	8,52 US\$	
Custo de manutenção do equipamento (porta-contêiner):		US\$/ano	
Custo médio do aluguel de contêiner dry (carga seca) 20':		45,00 US\$/mês	
Custo médio do aluguel de contêiner dry (carga seca) 40':		69,00 US\$/mês	

DADOS DA OPERAÇÃO DO VEÍCULO

a) Unidade tratora (veículo):

Índice médio de recapagens / recauchutagens:	2,3	Variáveis Teóricas - Valente et al. (1997)
Índice de manutenção do chassi:	0,01	http://www.geipot.gov.br/estudos_realizados/cartilha01/ANEXO%20I.htm (28/01/2002)
Vida média do pneumático novo:	130.000 Km	
Vida média do pneumático recapado / recauchutado:	130.000 Km	
Número de pneumáticos do chassi (eixo dianteiro):	2,00 un.	
Número de pneumáticos do chassi (eixo traseiro):	6,00 un.	
Intervalos para lavagem:	3.000 Km	
Intervalo para lubrificação e manutenção:	6.000 Km	
Autonomia média para o combustível (2,3 - 2,7 Km/l):	2,50 Km/l	
Capacidade para:		
Caixa de mudanças:	17 l	
Eixo traseiro (diferencial - c/ redução):	36 l	
Sistema de direção:	3 l	
Motor:	36 l	
Motor - Complementação:	2 l	
Fluido para radiador:	18 l	
Diferencial	- l	
Intervalos de troca para:		
Caixa de mudanças:	60.000 Km	
Eixo traseiro:	120.000 Km	
Sistema de direção:	400.000 Km	
Motor:	30.000 Km	
Motor - Complementação:	10.000 Km	
Fluido para radiador:	120.000 Km	
Óleo diferencial:	- Km	
Intervalos de troca para:		
Filtro separador de água:	0.00047	162.000 Km
Coxim de motor (conjunto de 4):	0.00175	486.000 Km
Baterias:	0.00042	486.000 Km
Filtro de combustível:	0.00021	30.000 Km
Lonas de freio (2 jogos):	0.00153	100.000 Km
Filtro de ar (1 grande + 1 pequeno):	0.00200	100.000 Km
Reparo de um motor (peças + mão-de-obra):	0.00355	600.000 Km
Revisão Básica:	0.00511	50.000 Km
Manutenção básica:	0.02129	10.000 Km
	0,05 US\$ / Km	

Volvo: Técnico Júnior (16) 629.9550 - US\$ 0,07 / Km (valor máximo)

b) Equipamento de carga (Reboque porta-contêiner)

Índice médio de recapagens / recauchutagens:	2,3
Índice de manutenção do porta contêiner:	0,01
Vida média do pneumático novo:	85.000 Km
Vida média do pneumático recapado / recauchutado:	45.000 Km
Número de pneumáticos do reboque:	12
Intervalos para lavagem:	3.000 Km
Intervalo para lubrificação e manutenção:	9.000 Km
Dias de operação no mês (porta-contêiner):	24 dias
Tempo de funcionamento do sistema por dia de viagem:	16 h
Horas de operação por dia (porta-contêiner):	17,0 h

Variáveis Teóricas - Valente et al. (1997)

http://www.geipot.gov.br/estudos_realizados/cartilha01/ANEXO%20I.htm (28/01/2002)

Adotado - Índices S Magalhães, Cooper carga, Fassina

DADOS DA OPERAÇÃO DO TRANSPORTE

Quilometragem média para a frota de veículos porta-contêiner:	13.500,00 Km
Dias de operação no mês:	24 dias
Dias de manutenção por mês (porta-contêiner):	2 dias
Horas de operação por dia:	17,0 h
Tempo Médio de Carregamento (Estufamento) dos Contêineres (20' e 40') - Fábrica:	60,0 min.
Tempo Médio de Transbordo dos Contêineres (20' e 40') do trem para o caminhão e vice-versa:	10,0 min.
Tempo Médio de Desova Contêineres (20' e 40') - CDs:	40,0 min.
Capacidade máxima de carga seca do veículo (porta-contêiner):	28,3 t
Índice de aproveitamento do veículo - porta-contêiner (porto - uf ou cd - porto):	50,00
Número de Eixos (ne):	5,0 eixos

Adotado - Índices S Magalhães, Cooper carga, Fassina

Adotado - Índices S Magalhães, Cooper carga, Fassina

Adotado - Índices S Magalhães, Cooper carga, Fassina

Adotado - Índices S Magalhães, Cooper carga, Fassina

Libra, Aliança, Hamburg Süd

Adotado - Índices S Magalhães, Cooper carga, Fassina

A - CUSTOS FIXOS

A.1 Chassi

A.1.1 Custo Mensal da Depreciação do Chassi (Cdc)

Usando-se Método Linear:

$$Cdc = (Pc - Vc) / nc$$

Pc: Preço do chassi novo, sem pneus

Vc: Valor de revenda do chassi, com (nc) anos de uso

Cdc =	635,81 US\$/mês
-------	-----------------

A.1.2 Custo Mensal da Remuneração do Capital do Chassi (Rcc)

$$Rcc = (((Pcp - Vcp) \times (nc + 1)) \times j + (Vcp \times j)) / (2 \times nc)$$

Pcp: Preço do chassi novo com pneus

Vcp: Valor de revenda do chassi com N anos de uso

nc: Período pretendido de uso do chassi em anos

j: Taxa anual de juros = 12%

Cdc =	285,68 US\$/mês
-------	-----------------

A.1.3 Mensal de Salário de Operação (Cso)

$$Cso = (Sm \times Nt \times (100 - Es)) / 100$$

Sm: salário mensal médio da operação

Nt: número de pessoas da tripulação

Es: encargos sociais

Cdc =	190,49 US\$/mês
-------	-----------------

A.1.4 Custo mensal do Licenciamento do Chassi (Cic)

$$Cic = (Csc + ipc + Lao) / 12$$

Csc: custo do seguro obrigatório do chassi

ipc: imposto sobre propriedade de veículos automotores

Lao: licenciamento anual obrigatório

Cdc =	823,70 US\$/mês
-------	-----------------

A.1.5 Custo mensal do Sistema de Monitoramento (Cmsm)

$$Cmsm = (Cem / (nc \times 12)) + Cmts$$

Cem: custo do sistema de monitoramento por veículo

Cmts: custo mensal de transmissão do sistema

nc: Período pretendido de uso do chassi em anos

Cmsm =	105,02 US\$/mês
--------	-----------------

A.1.6 Custo Fixo Mensal do Chassi (Cfc)

Cdc =	2020,70 US\$/mês
-------	------------------

A.2 Equipamento (Semi-Reboque)

A.2.1 Custo Mensal da Depreciação do Equipamento (Cde)

$$Cde = (Pe - Ve) / ne$$

Pe: Preço do reboque/semi-reboque novo, sem pneus

Ve: Valor de revenda do equipamento, com (ne) anos de uso

Cde =	52,97 US\$/mês
-------	----------------

A.2.2 Custo Mensal da Remuneração do Capital do Equipamento (Rce)

$$Rce = (((Pep - Vep) \times (ne + 1)) \times j + (Vep \times j)) / (2 \times ne)$$

Pep: Preço do equipamento novo com pneus

Vep: Valor de revenda do equipamento com N anos de uso

ne: Período pretendido de uso do equipamento em anos

j: Taxa anual de juros = 12%

Cde =	553,02 US\$/mês
-------	-----------------

A.2.3 Mensal do Licenciamento do Equipamento (Cle)

$$Cle = (Cse + lpe + Laoe) / 12$$

Cse: custo do seguro obrigatório do equipamento

lpe: imposto sobre propriedade de reboques/semi-reboques

Laoe: licenciamento anual obrigatório

*** Já pagos p/ chassi

Cde =	0,00 US\$/mês
-------	---------------

A.2.4 Custo Fixo Mensal do Equipamento (Cfe)

Cde =	605,99 US\$/mês
-------	-----------------

B - CUSTOS VARIÁVEIS

B.1 Chassi

B.1.1 Custo de Pneumáticos do Chassi por Quilômetro (Cpc)

Cálculo do preço de um pneu e uma câmara (Pcp):

$$Ppc = Ppn + Pca$$

Ppc: preço do pneumático novo

Pca: preço da câmara

Pcp (liso) =	263,98	US\$
--------------	--------	------

Pcp (borrachudo) =	263,78	US\$
--------------------	--------	------

Cálculo dos Gastos com Recapagem (Gre):

$$Gre = Pre \times Imr$$

Pre: preço da recapagem/recauchutagem

Imr: índice médio de recapagens/recauchutagens

Gre (liso) =	210,54	US\$
--------------	--------	------

Gre (borrachudo) =	225,23	US\$
--------------------	--------	------

Cálculo dos Gastos com Câmara quando da Recapagem (Gcr):

$$Grc = Pca \times Imr$$

Pca: preço da câmara

Imr: índice médio de recapagens/recauchutagens

Grc (liso) =	-	US\$
--------------	---	------

Grc (borrachudo) =	-	US\$
--------------------	---	------

Cálculo do Custo Unitário por Pneumático do Chassi (Upc):

$$Upc = Ppc + Gre + Gcr$$

Upc (liso) =	474,52	US\$
--------------	--------	------

Upc (borrachudo) =	519,01	US\$
--------------------	--------	------

Cálculo da Vida Útil do Pneumático do Chassi (ntp):

$$ntp = npr \times Imr + npn$$

npr: vida média do pneumático recapado/recauchutado

npn: vida média do pneumático novo

ntp (liso) =	429.000,00	Km
--------------	------------	----

ntp (borrachudo) =	429.000,00	Km
--------------------	------------	----

Cálculo do Custo Total em Pneumáticos do Chassi por Quilômetro (Cpc):

$$Cpc = (Upc \times Qpc) / ntp$$

Cpc (liso) =	0,002	US\$ / Km
--------------	-------	-----------

Cpc (borrachudo) =	0,005	US\$ / Km
--------------------	-------	-----------

Cpc (Total) =	0,01	US\$ / Km
---------------	------	-----------

B.1.2 Custo de Manutenção do Chassi por Quilômetro (Cmc):

Cmc = (Pcn x Imc) / Mac	
Pcn: preço do chassi novo, sem pneus	
Imc: índice de manutenção do chassi	
Mac: intervalo médio entre manutenções = 10.000 Km	
Cmc (Val. et al., 1997) =	0,16 US\$ / Km
Cmc =	0,07 US\$ / Km

B.1.3 Custo de Lavagem/Lubrificação por Quilômetro (Cic):

Cic = (Pla / Ila) + (Plu / Ilu)	
Pla: preço de uma lavagem	
Plu: preço de uma lubrificação	
Ila: intervalo entre lavagens	
Ilu: intervalo entre lubrificações	
Cic =	0,027 US\$ / Km

B.1.4 Custo de Combustível por Quilômetro (Ccq):

Ccq = Plc x Ami	
Plc: preço do combustível por litro	
Ami: autonomia média por litro	
Ccq =	0,35 US\$ / Km

B.1.5 Custo de Óleos Lubrificantes por Quilômetro (Coq):

Óleo para a Caixa de Mudanças (Ocm):	
Ocm = (Pom x Qom) / lom	
Pom: preço por litro de óleo	
Qom: quantidade (capacidade) de óleo a ser colocada	
lom: intervalo para troca de óleo	
Ocm =	0,00042 US\$ / Km

Óleo para o Eixo Traseiro/Caixa de Transferência (Oct):

Oct = (Pct x Qct) / lct	
Pct: preço por litro de óleo	
Qct: quantidade (capacidade) de óleo a ser colocada	
lct: intervalo para troca de óleo	
Oct =	0,00075 US\$ / Km

Óleo para o Sistema de Direção (Osd):

Osd = (Psd x Qsd) / lsd	
Psd: preço por litro de óleo	
Qsd: quantidade (capacidade) de óleo a ser colocada	
lsd: intervalo para troca de óleo	
Osd =	0,00002 US\$ / Km

Troca de óleo para o motor (Tom):

Tom = (Pom x Qto) / lto	
Pom: preço por litro de óleo	
Qto: quantidade (capacidade) de óleo a ser colocada	
lto: intervalo para troca de óleo	
Tom =	0,00204 US\$ / Km

Complementação de óleo para o motor (Com):

Com = (Pom x Qco) / lco	
Pom: preço por litro de óleo	
Qco: quantidade (capacidade) de óleo a ser colocada	
lco: intervalo para troca de óleo	
Com =	0,00034 US\$ / Km

Cálculo do Custo Total para Óleos Lubrificantes por Quilômetro (Coq):

Coq = Ocm + Oct + Osd + Tom + Com	
Coq =	0,004 US\$ / Km

B.1.6 Custo Variável por Quilômetro do Chassi (Cvc):

Cvc = Cpc + Cmc + Cic + Coq + Coq	
Cvc =	0,458 US\$ / Km

B.2 Equipamento

B.2.1 Custo de Pneumáticos do Chassi por Quilômetro (Cpe)

Cálculo do preço de um pneu e uma câmara (Pcp):

Ppc = Ppn + Pca	
Ppc: preço do pneu novo	
Pca: preço da câmara	
Pcp (borrachudo) =	293,78 US\$

Cálculo dos Gastos com Recapagem (Gre):

Gre = Pre x lmr	
Pre: preço da recapagem/recauchutagem	
lmr: índice médio de recapagens/recauchutagens	
Gre (borrachudo) =	176,27 US\$

Cálculo dos Gastos com Câmara quando da Recapagem (Gce):

Gre = Pca x lmr	
Pca: preço da câmara	
lmr: índice médio de recapagens/recauchutagens	
Gre (borrachudo) =	- US\$

Cálculo do Custo Unitário por Pneumático do Equipamento (Upe):

Upe = Ppe + Gre + Gce	
Upe (borrachudo) =	470,05 US\$

Cálculo da Vida Útil do Pneumático do Chassi (ntpe):

ntpe = npr x lmr + npn	
npr: vida média do pneu novo	
npn: vida média do pneu usado	
ntpe (borrachudo) =	183.500,00 Km

Cálculo do Custo Total em Pneumáticos do Chassi por Quilômetro (Cpc):

Cpc = (Upe x Qpe) / ntpe	
Cpc (Total) =	0,03 US\$ / Km

B.2.2 Custo de Manutenção do Equipamento por Quilômetro (Cme):

Cme = (Pen x lme) / Mae	
Pen: preço do equipamento novo, sem pneus	
lme: índice de manutenção do equipamento	
Mae: intervalo médio entre manutenções = 10.000 Km	
Cme =	0,01 US\$ / Km

B.2.3 Custo de Lavagem/Lubrificação por Quilômetro (Cile):

Cile = (Pla / lla) + (Plu / llu)	
Pla: preço de uma lavagem	
Plu: preço de uma lubrificação	
lla: intervalo entre lavagens	
llu: intervalo entre lubrificações	
Cile =	0,001 US\$ / Km

B.2.4 Custo Variável por Quilômetro do Equipamento (Cve):

Cve = Cpe + Cme + Cile	
Cve =	0,039 US\$ / Km

C - CUSTOS DIRETOS FINAIS PARA O VEICULO**C.1 Custo Fixo Mensal do Chassi e Equipamento (CFM)**

$$CFM = Cfc + Cfe$$

$$CFM = 2.626,69 \text{ US\$ / mês}$$

C.2 Custo Variável por Quilômetro do Chassi e Equipamento (CVQ)

$$CVQ = Cvc + Cve$$

$$CVQ = 0,50 \text{ US\$ / Km}$$

C.3 Custo Direto Operacional Mensal (CDM)

$$CDM = CVQ \times QMV + CFM$$

$$CDM = 9.338,34 \text{ US\$ / mês}$$

D - CUSTO INDIRETO OPERACIONAL MENSAL PARA O VEICULO (CIM)

$$CIM = CDM \times IDI$$

IDI: índice que representa a relação histórica entre custos indiretos e diretos

$$CIM = 1.897,27 \text{ US\$ / mês}$$

E - CUSTO OPERACIONAL TOTAL POR MES PARA O VEICULO (COM)

$$COM = CDM + CIM$$

$$COM = 11.203,61 \text{ US\$ / mês}$$

E.1 Custo Operacional Total por Quilômetro Rodado (COQ)

$$COQ = COM / QME$$

$$COQ = 0,83 \text{ US\$ / Km}$$

E.2 Custo Operacional Total por Dia Trabalhado (COD)

$$COD = COM / NDO$$

$$COD = 466,82 \text{ US\$ / dia}$$

E.3 Custo Operacional Total por Hora Trabalhada (COH)

$$COH = COD / NHD$$

$$COH = 27,46 \text{ US\$ / hora}$$

E.4 Custo Oper. Total da Tonelada Transportada por Quilômetro (CTQ)

$$CTQ = COQ / (CCV \times IAV)$$

$$CTQ = 0,059 \text{ US\$ / hora}$$