

RODRIGO MUNIZ FERREIRA CAVENAGHI

ESTUDO DA LOCALIZAÇÃO DE EQUIPES DE MANUTENÇÃO

São Paulo

2009

RODRIGO MUNIZ FERREIRA CAVENAGHI

ESTUDO DA LOCALIZAÇÃO DE EQUIPES DE MANUTENÇÃO

Trabalho de Formatura Apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do diploma de Engenheiro de Produção

São Paulo

2009

RODRIGO MUNIZ FERREIRA CAVENAGHI

ESTUDO DA LOCALIZAÇÃO DE EQUIPES DE MANUTENÇÃO

Trabalho de Formatura Apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do diploma de Engenheiro de Produção

Orientador:
Prof. Dr. Alberto Wunderler Ramos

São Paulo

2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Cavenaghi, Rodrigo Muniz Ferreira
Estudo da localização de equipes de manutenção / R.M.F.
Cavenaghi. -- São Paulo, 2009.
119 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Terceirização 2. Logística 3. Localização da empresa
4. Otimização matemática I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II. t.

À minha mãe,
Pelo apoio e compreensão durante a realização deste trabalho.
Em memória de meu pai.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Lucia, pelo seu apoio incondicional ao longo de todos os anos do meu curso.

Ao meu orientador, Professor Alberto Ramos, pela sua orientação, paciência e confiança em meu trabalho ao longo deste ano.

Ao gerente da Conbras, Marcos Paulo, por abrir as portas da empresa para a execução deste trabalho.

À minha namorada, Fernanda, pelo companheirismo ao longo do andamento desse trabalho.

Ao meu tio Admir, que durante todos os anos deste curso apoiou e ajudou a mim e minha mãe.

Aos meus colegas da Poli, em especial aos da Turma 7 de 2005 (Tiago, Isa, Pará e tantos outros), pela amizade principalmente fora da faculdade, aos integrantes da equipe Sinergia (Lemos, Julia, Rafa e Rogério), pela paciência que tiveram comigo.

Em memória de meu pai, Carlos Cavenaghi, que sempre sonhou com este momento de minha formatura me dando forças para seguir meu caminho.

RESUMO

Nas últimas décadas, a evolução da tecnologia aplicada em construções criou uma necessidade de um maior cuidado na manutenção dos sistemas prediais, o que obrigou as empresas a investirem nessa área, apesar de estar fora de seu ramo de atuação, dessa maneira a manutenção feita por funcionários da própria empresa não tinha tanta qualidade e deixava a desejar. Com o passar do tempo, as empresas iniciaram uma onda de terceirização de serviços menos importantes para sua operação, como limpeza e transporte, já no início da década de noventa, começaram a terceirizar serviços mais importantes, como a manutenção predial, que tem importância fundamental na operação da empresa. Com essa expansão da terceirização, a disputa no setor de manutenção predial tornou-se acirrada, com muitas empresas com qualidade similar, dessa forma, o preço tornou-se um diferencial competitivo. Este trabalho pretende buscar alternativas para diminuição dos custos operacionais da empresa Conbras Engenharia no atendimento às demandas de manutenção da empresa Claro no estado de São Paulo. Através de modelos propostos na teoria, será feito um modelo aplicado às características da operação da Conbras, a fim de obter melhorias nos custos da operação, através da localização de bases de atendimento e alocação de equipes de manutenção de acordo com os pontos de demanda. Será feito um levantamento dos dados dessa operação e após a resolução do modelo proposto, a solução obtida será comparada com a atual e os passos para sua implantação serão definidos.

Palavras-chave: Manutenção predial. Prestação de serviços. Modelos de localização. Equipes de atendimento. Terceirização.

ABSTRACT

In the last decades, the evolution of the technology applied in constructions created a necessity of a stronger care with the building system's maintenance, which obliged the companies to invest in this area, even though it was out of its branch of acting, therefore the maintenance done by its employees had not such a quality and didn't fulfill the expectations. After a while, the companies started a wave of outsourcing less important services for its operation, such as cleaning and transport, right in the beginning of the nineties, started to outsource more important services, like buildings maintenance, which is basic for the company operation. With this expansion of the outsourcing, the competition in the sector of buildings maintenance became stiff, with many companies with similar quality, therefore, price became a competitive differential. This work intends to look for alternatives to reduce operational costs for Conbras Engenharia involved with the service of maintenance of the company Claro in the state of São Paulo. Through models proposed in theory, there will be made a model applied to the characteristics of Conbras operation, in order to obtain improvements in costs, through the location of service bases and allocation of teams of maintenance in accordance with the points of demand. There will be done a data collection of the operation and after the resolution of the model proposed, the obtained solution it will be compared with the current one and the steps for its set up will be defined.

Keywords: Buildings maintenance. Delivering service. Models of location. Teams of service. Outsourcing.

Lista de Ilustrações

Figura 1: Localização das filiais da Conbras no Brasil	24
Figura 2: Regionais da Claro e DDDs do Brasil	30
Figura 3: Modelo da analogia mecânica de Varignon.....	41
Figura 4: Passos para aplicação do modelo de Weber sucessivamente.....	44
Figura 5: Processo de atendimento às demandas de manutenção – Localização dos pontos feita aleatoriamente, apenas para ilustrar o processo	51
Figura 6: Decisão de alocação de equipes para cada ponto de demanda	52
Figura 7: Quadrantes das classificações de Hollaender (1978) para os modelos de localização	53
Figura 8: Localização do problema da Conbras em um dos quadrantes	54
Figura 9: Localização dos modelos nos quadrantes das características de Hollaender (1978)	56
Figura 10: Distribuição das Lojas da Claro no Estado de São Paulo	76
Figura 11: Diagrama de Dispersão de Distâncias Reais e Calculadas	81
Figura 12: Gráfico da Composição dos Custos na Solução Obtida.....	94
Figura 13: Distribuição dos Pontos Atendidos de Acordo com seu Atendimento	94
Figura 14: Gráfico da Composição dos Custos na Operação Real da Conbras.....	100
Figura 15: Gráfico Comparativo entre Componentes dos Custos Reais e Otimizados (valores em milhares de reais).....	101

Lista de Tabelas

Tabela 1: Segmentos dos clientes atendidos pela Conbras.....	27
Tabela 2: Relação de DDDs e suas respectivas regionais na Claro.....	29
Tabela 3: Tendência de contratação de serviços de manutenção nos últimos anos (Fonte: Pesquisa Abraman 2007).....	31
Tabela 4: Composição dos custos de manutenção nos últimos anos (Fonte: Pesquisa Abraman 2007).....	32
Tabela 5: Critérios utilizados pelas empresas para contratação de serviços de manutenção (Fonte: Pesquisa Abraman 2007)	32
Tabela 6: Avaliação das empresas do serviço de manutenção prestado (Fonte: Pesquisa Abraman 2007).....	33
Tabela 7: Pesos e critérios da matriz de decisão	58
Tabela 8: Matriz de decisão para escolha do método a ser utilizado para resolução do problema.....	61
Tabela 9: Lojas Próprias da Claro no Estado de São Paulo.....	75
Tabela 10: Candidatas a Bases de Atendimento.....	76
Tabela 11: Fatores de Sinuosidade para Vários Países.....	78
Tabela 12: Latitude e Longitude das Bases de Atendimento	79
Tabela 13: Pontos de Demanda Sorteados para Cálculo do Coeficiente de Sinuosidade	79
Tabela 14: Distâncias Reais (em km) entre Pontos de Demanda e Bases de Atendimento	80
Tabela 15: Distâncias Calculadas (em km) entre Pontos de Demanda e Bases de Atendimento	80
Tabela 16: Distâncias Reais e Calculadas (em km).....	81
Tabela 17: Distâncias Calculadas (em km)	82

Tabela 18: Distâncias Corrigidas (em km)	83
Tabela 19: Tempos (horas) de Atendimento entre os Pontos	84
Tabela 20: Demandas por Ponto de Atendimento em Agosto de 2009	85
Tabela 21: Custos de Bases Abertas nas Diferentes Cidades	86
Tabela 22: Custos de técnicos de Equipes Externas	87
Tabela 23: Custos Totais por Equipe de Manutenção.....	87
Tabela 24: Custos de Horas-Extras dos Técnicos de Manutenção	88
Tabela 25: Valores de Pedágios (em R\$) para Diversas Cidades no Estado de São Paulo	89
Tabela 26: Valores de Custos Fixos de Transporte entre Pontos de Demanda e Bases (em R\$)	89
Tabela 27: Limitações de Softwares de Otimização nas Versões para Estudante	91
Tabela 28: Componentes do Custo Total no Problema Otimizado.....	93
Tabela 29: Valores Obtidos com a Modificação do Custo por Quilômetro Rodado	95
Tabela 30: Valores Obtidos com a Modificação do Custo de Equipes Subcontratadas	96
Tabela 31: Valores Obtidos com a Modificação da Demanda.....	97
Tabela 32: Valores Obtidos com a Modificação do Custo de Equipes Externas.....	98
Tabela 33: Obtidos com a Modificação das Velocidades de Percurso	98
Tabela 34: Resumo dos Dados Reais de Operação.....	99
Tabela 35: Componentes do Custo Total da Operação Real da Conbras	100

Sumário

1. Introdução.....	21
2. Contexto do Trabalho	23
2.1. Empresa Estudada.....	23
2.1.1 Histórico	23
2.1.2 Valores da Empresa	24
2.1.3 Serviços Oferecidos.....	25
2.1.4 Segmentos Atendidos	26
2.1.5 Clientes e Casos de Sucesso	27
2.1.6 Serviços Prestados à Claro	29
2.2. Mercado de Serviços de Manutenção	31
2.3. Definição do Problema: <i>Diminuição de Custos de Operação</i>	33
3. Revisão Bibliográfica – Modelos Disponíveis	35
3.1. Formas Alternativas para Abordar o Problema de Localização	35
3.2. Modelos para Localização de Somente um Centro de Distribuição.....	38
3.2.1 Modelo de Weber	38
3.2.1.1 Gradiente Modificado de Kuhn.....	40
3.2.1.2 Aproximação pelo Hiperbolóide	40
3.2.1.3 Analogia Mecânica de Varignon.....	41
3.2.2 Método do Centro de Gravidade	42
3.2.3 Transportes Vinculados a Grafos	43
3.3. Modelos para Localização de Mais de Um Centro de Distribuição	43
3.3.1 Técnicas Numérico-Analíticas	44
3.3.2 Programação Matemática	45
3.3.3 Simulação em Computadores	49

3.3.4	Técnicas Heurísticas	49
4.	Metodologia	51
4.1.	Descrição do Problema.....	51
4.2.	Características do Problema	52
4.3.	Análise dos Modelos Existentes.....	54
4.4.	Escolha do Método para Resolução do Problema.....	57
5.	Modelagem do Problema	63
5.1.	Modelo Inicial	63
5.2.	Modelo Revisado.....	70
6.	Levantamento de Dados.....	75
6.1.	Candidatas a Bases e Pontos de Demanda	75
6.2.	Distâncias Entre os Pontos	77
6.3.	Tempos de Deslocamento e Atendimento entre os Pontos	83
6.4.	Demandas dos Pontos.....	84
6.5.	Custos de Bases Abertas.....	85
6.6.	Custos de Equipes e Horas-Extras.....	87
6.7.	Custos de Transportes	88
7.	Resolução do Problema.....	91
7.1.	Solução do Modelo Revisado.....	91
7.2.	Análise de Sensibilidade	95
7.3.	Operação Atual da Empresa	99
7.4.	Comparação entre Solução Obtida e Operação Real e Implementação	100
8.	Conclusão.....	103

9. Referências Bibliográficas.....	105
Apêndice A – Relação de Lojas da Claro em São Paulo.....	107
Apêndice B - Latitude e Longitude dos Pontos de Demanda.....	109
Apêndice C – Programação do Problema em Linguagem Mosel.....	111
Apêndice D – Saída do Programa XPress	115
Apêndice E – Dados da Operação Atual da Conbras	117
Anexo A – Reportagem do Portal de Notícias G1.....	119

1. Introdução

Nas últimas décadas, a evolução da tecnologia aplicada em construções criou uma necessidade de um maior cuidado na manutenção dos sistemas prediais. Essa necessidade acabou fazendo com que muitas empresas fizessem investimentos nessa área, apesar de estar fora de seu ramo de atuação, dessa maneira a manutenção feita por seus próprios funcionários não tinha tanta qualidade e deixava a desejar.

Com o passar do tempo, as empresas iniciaram uma onda de terceirização de serviços menos importantes para sua operação, como, por exemplo, limpeza e transporte, mas ainda não havia confiança em terceirizar partes chave dos processos que participavam intensamente dos resultados.

Já no início da década de noventa, essa situação começou a mudar, as empresas criaram mais confiança nas atividades terceirizadas e começaram a contratar serviços mais importantes, chegando, até, como no caso das montadoras, a terceirizar partes da produção de automóveis, surgiram então os sistemistas que fornecem sub-sistemas para a montagem do automóvel pelas montadoras. No ramo de serviços, uma atividade que começou a ser terceirizada é a manutenção, que tem papel importante nas atividades da empresa.

Percebendo um nicho no mercado de serviços de manutenção onde a demanda superava a oferta, várias empresas se especializaram não somente na manutenção em si, mas em outras operações prediais de apoio, como limpeza e mensageria, podendo, assim, oferecer pacotes de serviços de maior valor para seus clientes.

Como muitas empresas se especializaram para atuar nesse ramo de operações prediais, a qualidade desses serviços também aumentou, pois antes as próprias empresas, hoje clientes, realizavam esses serviços fora de seu ramo de negócio principal, sem essa qualidade necessária. A partir de então, podem se focar apenas em suas próprias atividades.

Hoje em dia, de acordo com uma pesquisa realizada em 2007, pela Abraman (Associação Brasileira de Manutenção), o critério mais importante para os clientes na escolha da empresa que lhe prestará o serviço é a qualidade, ficando o preço em segundo lugar. Como há uma competição acirrada no setor, as empresas oferecem hoje serviços com qualidade muito semelhante e dessa forma, o preço torna-se um diferencial.

2. Contexto do Trabalho

O autor do trabalho estagia na empresa Claro S.A., empresa do setor de telefonia móvel, na área de vendas no Varejo Nacional, no entanto o trabalho de formatura está sendo na Conbras Engenharia, empresa terceirizada responsável pela gestão da área de Facilities e manutenção predial da Claro, tendo um contrato de prestação de serviços com amplitude nacional.

2.1. Empresa Estudada

2.1.1 Histórico

A Conbras Engenharia é uma empresa nacional, fundada em 1961 no Rio de Janeiro, inicialmente tinha suas atividades voltadas principalmente para a engenharia civil, executando controle de materiais de construção, recuperação de estruturas e ensaios especiais.

Na década seguinte, anos setenta, devido à aceitação do mercado e à experiência adquirida, a empresa fez sua primeira expansão, abrindo filiais em São Paulo e Maceió.

Nos anos oitenta, para que estivesse presente nos principais pólos da construção civil no Brasil, a Conbras instalou filiais em Brasília, Belo Horizonte e Porto Alegre.

Hoje, 48 anos após ter sido fundada, a empresa ampliou sua gama de serviços focando-se em soluções em infra-estrutura predial e industrial, oferecendo serviços de operação e gestão de manutenção predial, tendo como clientes grandes organizações públicas e privadas, buscando excelência e eficiência em suas atividades.

Atualmente a Conbras tem filiais em São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília, Ribeirão Preto e Jundiaí. Essas localidades são mostradas na Figura 1.



Figura 1: Localização das filiais da Conbras no Brasil

2.1.2 Valores da Empresa

A direção da Conbras definiu valores para comunicar aos funcionários o alinhamento da empresa no contato e relação com seus clientes. Os valores são os seguintes (fonte: site da empresa):

- ***Clientes***: “Buscamos relações estáveis e duradouras. Devemos entender o negócio do cliente, sua demanda, a oportunidade apresentada, agregando valor continuamente. A satisfação do cliente é o que conduzirá ao crescimento e à perpetuação do relacionamento.”

- ***Mercado/Concorrência***: “Criatividade e eficácia na entrega é o que nos diferenciará no mercado. Uma forma inovadora, que agregue valor, é o nosso eterno desafio - nosso diferencial.”

- **Gente:** “O nosso maior patrimônio são as pessoas. Devemos atrair, desenvolver, estimular e reter “gente com talento”.”

- **Reconhecimento:** “Na Conbras as oportunidades estão ao alcance dos que trabalham e adicionam valor. O desempenho individual e de equipe será reconhecido.”

- **Equipe:** “Somos um time coeso que trabalha para o mesmo objetivo. O trabalho em equipe produz um resultado melhor que o esforço individual isolado. Ao trabalhar bem em equipe o valor da empresa será a multiplicação de suas grandezas individuais.”

- **Organização:** “Queremos uma organização ágil, simples, eficaz, comunicativa e transparente.”

- **Ética:** “Buscamos integridade e ética em nossas relações, em toda a cadeia produtiva.”

- **Responsabilidade Social:** “Nossas ações são sempre orientadas a preservar os valores sociais e o meio ambiente. Praticarmos estes valores assegurará uma empresa sólida, um ambiente feliz, contribuindo efetivamente para a evolução do país.”

2.1.3 Serviços Oferecidos

Os serviços oferecidos pela empresa são:

- Manutenção e Operação Predial

A Conbras atua na monitoração de instalações e equipamentos, mesmo os críticos para a operação do cliente, e, através de sistemas de manutenção preventiva, preditiva e corretiva, toma ações contínuas para garantir disponibilidade e confiabilidade do sistema predial do cliente.

- Manutenção e Operação Industrial

A manutenção industrial inclui serviços de apoio à produção, além das atividades do processo produtivo. São oferecidas as clientes praticas de gestão, tai como, estudos de confiabilidade, análise de falhas e manutenção preditiva, entre outras.

- Gerenciamento e Serviços de Facilities

A Conbras oferece serviços de Facilities, que são suporte à infra-estrutura predial nas áreas técnicas e administrativas. A contratação de uma empresa especializada neste setor possibilita redução de custos e permite que o cliente foque suas atividades em sua área de atuação.

- Serviços de Engenharia

Os serviços de engenharia incluem diagnósticos e relatórios para o setor de negócios imobiliários, comissionamento de obras, gestão do lançamento de empreendimentos, gerenciamento de obras, além de consultoria em soluções de infra-estrutura.

- Serviços Logísticos

Na área de serviços logísticos a Conbras oferece tanto serviços de gestão interna de logística, como: gestão de estoques, armazenagem, embalagem, movimentação interna, desenvolvimento de soluções logísticas internas, além do gerenciamento e coordenação de operações logísticas.

2.1.4 Segmentos Atendidos

A Conbras atende clientes de diversos segmentos do mercado, que podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Segmentos dos clientes atendidos pela Conbras

<u>Segmentos Atendidos pela Conbras</u>
Edificações Comerciais e Corporativas
Condomínios Empresariais
Indústrias
Energia e Utilidades
Bancos e Instituições Financeiras
Saúde e Hospitais
Serviços
Shopping Centers
Infra-estrutura
Telecomunicações
Datacenters
Instituição de Ensino e Educação
Call Centers
Conglomerados de Negócios Imobiliários
Centros de Distribuição
Fundos de Investimentos Imobiliários

2.1.5 Cientes e Casos de Sucesso

Podemos dividir os clientes da Conbras em dois principais grupos de serviços prestados: Predial e Industrial.

- Serviços Prediais:

Para este grupo, são prestados basicamente serviços de limpeza, manutenção predial e gestão de facilities.

Dentro dos clientes de serviços prediais, podemos dividi-los em três categorias:

- **Segmento financeiro:** os clientes nesta categoria são *American Express* (âmbito nacional), *Banco do Brasil* (Complexo Central de Tecnologia), *Banco Santander* (Centro Administrativo Bancário – Prédio da Mesa de Operações), *Banco Unibanco* (prédios administrativos do estado de São Paulo e Brasília).

- **Shopping Centers:** os shoppings atendidos pela Conbras são *Rio Sul Center*, *São Conrado Fashion Mall*, *Shopping Center Downtown* (estes três no Rio de Janeiro) e *Shopping Jardim Sul* (em São Paulo).

- **Serviços e Demais Empresas:** os clientes desta categoria são *Camargo Corrêa* (Complexo Administrativo em São Paulo), *Capemi* (prédios administrativos no Rio de Janeiro), *Chevron/Texaco* (âmbito nacional), *Claro* (âmbito nacional), *Ipiranga* (unidade de fabricação e estocagem de lubrificantes no Rio de Janeiro) e *Unimed* (agências e escritórios no Rio de Janeiro).

- Serviços Industriais:

Para este grupo, são prestados serviços de manutenção de equipamentos, confiabilidade, gestão de estoque, movimentação interna e outros relacionados à gestão específicos para cada caso.

Os clientes da Conbras para estes serviços são:

- Caterpillar (unidade industrial de Piracicaba - SP);
- Ks Pistões (unidade industrial de Nova Odessa - SP);
- Laboratório Nacional Agropecuário – Lanagro (laboratório de Belo Horizonte – MG);
- Michelin do Brasil (âmbito nacional);
- Pirelli (fábricas de Campinas – SP e Sumaré – SP);
- Shell Brasil (Prédio Administrativo e Fábrica de Lubrificantes no Rio e Janeiro);
- Tetra Pak (unidades industriais de Ponta Grossa – PR e Monte Mor – SP);
- Transpetro (âmbito nacional).

2.1.6 Serviços Prestados à Claro

Para a Claro, cliente do segmento de serviços, a Conbras presta serviços prediais em âmbito nacional para lojas próprias e prédios administrativos, que são divididos em 9 regionais por questões administrativas:

- BA/SE – Bahia e Sergipe;
- CO – Centro-Oeste;
- MG – Minas Gerais;
- NE – Nordeste;
- PR/SC – Paraná e Santa Catarina;
- RJ/ES – Rio de Janeiro e Espírito Santo;
- RS – Rio Grande do Sul;
- SP – São Paulo;
- NO – Norte.

As regionais da Claro são definidas de acordo com os DDDs da região, seguindo a Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Relação de DDDs e suas respectivas regionais na Claro

DDD	Regional
11 a 19	SP
21 a 27	RJ
31 a 39	MG
41 a 49	PR/SC
51 a 54	RS
61 a 69	CO
71 a 79	BA
81 a 89	NE
91 a 99	NO

A distribuição geográfica das regionais da Claro pode ser vista no mapa da Figura 2, onde são mostrados os Estados do Brasil e as regiões de cada DDD.

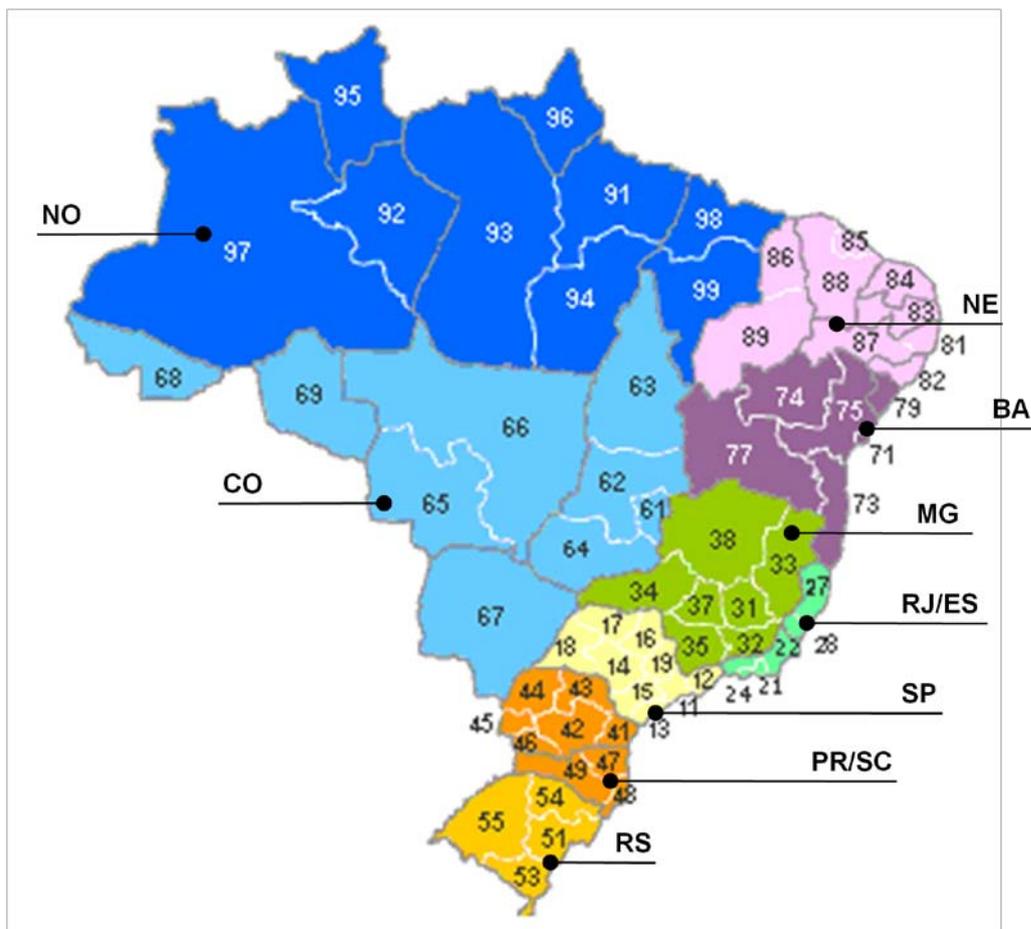


Figura 2: Regionais da Claro e DDDs do Brasil (Fonte: Dados internos da Claro)

O escopo dos serviços da Conbras na Claro é a atividade de operação, manutenção preventiva e corretiva de:

- Instalações elétricas;
- Instalações hidrossanitárias;
- Ar condicionado;
- Engenharia Civil;
- Gerenciamento de empresas especializadas;
- Serviços administrativos;
- Recepção, copa, motoristas, correspondências, limpeza e paisagismo.

2.2. Mercado de Serviços de Manutenção

De acordo com Bagur (2007), em meados da década de oitenta, as empresas entendiam que havia um risco muito alto em terceirizar serviços que afetavam diretamente sua produtividade, dessa forma, o movimento foi de terceirização de atividades menos importantes, com um volume maior, porém com pouca evolução tecnológica, como é o caso de: limpeza, transporte e segurança.

Com o passar dos anos, esse conceito de risco de terceirização foi mudando e as empresas começaram a terceirizar serviços de maior valor agregado, como por exemplo, manutenção, logística interna e informática. As indústrias automobilísticas, por exemplo começaram a terceirizar sua principal atividade, a produção das peças, ficando então denominadas como montadoras, ou seja, houve uma transferência de responsabilidades pela produção das peças das próprias indústrias para os sistemistas (fornecedores das peças para as montadoras).

Podemos perceber também esse movimento de terceirização de serviços de manutenção que teve seu auge nos anos noventa, ao analisar os dados da Tabela 3. No entanto, a partir de 2003 a tendência desse aumento vem diminuindo, enquanto que a tendência de manter o mesmo nível ou diminuir vem aumentando.

Tabela 3: Tendência de contratação de serviços de manutenção nos últimos anos (Fonte: Pesquisa Abraman 2007)

Ano	Tendência de Contratação de Serviços (%)		
	Aumentar	Manter Mesmo Nível	Diminuir
2007	34,81	50,63	14,56
2005	42,37	45,77	11,86
2003	44,44	49,21	6,35
2001	51,77	41,14	7,09
1999	46,43	45,53	8,04
1997	64,1	28,21	7,69
1995	66,49	27,32	6,19

Além disso, podemos perceber pela Tabela 4 que as empresas tem investido mais na contratação dos serviços de manutenção, o que é evidenciado pelo aumento da participação dos custos de serviços nos custos totais de manutenção.

Tabela 4: Composição dos custos de manutenção nos últimos anos (Fonte: Pesquisa Abraman 2007)

Ano	Composição dos Custos de Manutenção (%)			
	Pessoal	Material	Serviços Contratados	Outros
2007	32,35	30,52	27,2	9,93
2005	32,53	33,13	24,84	9,5
2003	33,97	31,86	25,31	8,86
2001	34,41	29,36	26,57	9,66
1999	36,07	31,44	23,68	8,81
1997	38,13	31,1	20,28	10,49
1995	35,46	33,92	21,57	9,05

Com a evolução desse mercado, muitas empresas perceberam uma oportunidade de crescimento e entraram nesse setor oferecendo serviços de infra-estrutura e manutenção. Devido ao grande número de concorrentes, os clientes começaram utilizar alguns critérios para escolher seu fornecedor de serviços. Uma pesquisa da Abraman (Associação Brasileira de Manutenção) sobre o setor de manutenção no Brasil, feita a cada dois anos, mostrou em 2007 quais critérios eram priorizados na escolha do fornecedor, esses dados são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Critérios utilizados pelas empresas para contratação de serviços de manutenção (Fonte: Pesquisa Abraman 2007)

Ano	Critérios Utilizados na Contratação de Serviços pelas Empresas				
	Preço	Tecnologia	Prazo	Qualidade	Experiência
2007	II	V	IV	I	III
2005	II	V	IV	I	III
2003	III	IV	V	I	II
2001	II	IV	V	I	III
1999	II	III	V	I	IV
1997	I	V	III	II	IV

Na mesma pesquisa, a Abraman mostrou a evolução da avaliação das empresas quanto ao serviço de manutenção prestado. Os dados obtidos na pesquisa são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6: Avaliação das empresas do serviço de manutenção prestado (Fonte: Pesquisa Abraman 2007)

Ano	Conceito dos Serviços Contratados (% de Empresas)					
	Excelente	Muito Bom	Bom	Regular	Deficiente	Insuficiente
2007	0,63	13,21	61,01	22,64	2,51	0
2005	0,86	18,1	56,04	22,41	1,73	0,86
2003	0,79	15,75	56,69	24,41	2,36	0
2001	0,7	12,68	57,75	25,35	3,52	0
1999	0	14,16	58,41	23,89	3,54	0
1997	0,87	8,7	45,22	40,86	4,35	0
1995	3,13	8,33	48,44	33,85	5,21	1,04

Podemos perceber pela tabela 5 que a partir de 1999, a qualidade do serviço tomou a liderança entre os critérios de contratação do serviço de manutenção. Pela tabela 6, vemos também a partir de 1999 que, na avaliação das empresas quanto ao serviço prestado, mais de 60% consideravam o serviço de manutenção como muito bom ou bom, número que era próximo de 50% dois anos antes.

Esses dados evidenciam que as empresas de manutenção perceberam a importância dada à qualidade na contratação dos serviços por parte de seus clientes e tomaram as ações necessárias para melhorar a satisfação deles.

Outro critério importante competitivamente entre as empresas de manutenção é o preço, que está em segundo lugar nos critérios dos clientes, dessa forma, torna-se um ponto de diferenciação quando se oferece esse tipo de serviços.

2.3. Definição do Problema: *Diminuição de Custos de Operação*

Como foi mostrado no item 2.1.6 (Serviços Prestados à Claro), o contrato entre a Claro e a Conbras tem abrangência nacional, em diversas lojas e prédios administrativos. Para cumprir esse contrato, a Conbras tem bases de equipes de atendimento espalhadas pelo país que enviam as equipes de acordo com a demanda nos pontos de atendimento.

Essa abrangência territorial gera muitos custos na operação, principalmente pela necessidade de deslocamento de equipes conforme a necessidade de atendimento.

Já no item 2.3 (Mercado de Serviços de Manutenção) foi mostrado que o preço cobrado é um fator importante na competição entre empresas prestadoras de serviços de manutenção tornando-se assim, um fator de diferenciação perante aos concorrentes.

Como o preço cobrado está diretamente relacionado com os custos da operação, para diminuí-lo devemos também diminuir os custos, assim a empresa obterá uma vantagem competitiva em relação aos concorrentes. Dessa forma, esse trabalho pretende, através da utilização de modelos de localização apresentados pela literatura, diminuir os custos de operação no atendimento às demandas espalhadas territorialmente a partir de bases fixas de atendimento, decidindo então quais bases serão abertas e atenderão cada ponto de demanda e em quais pontos seria menos custosa a instalação de uma equipe local subcontratada de outra empresa apenas para seu próprio atendimento.

3. Revisão Bibliográfica – Modelos Disponíveis

De acordo com Ballou (2006) a localização das instalações é um importante problema que dá forma, estrutura e contornos ao conjunto de operações de uma empresa. Essa decisão está ligada à definição de alternativas de acordo com os custos e investimentos associados a elas, definindo o número, a localização e a proporção das instalações a serem utilizadas. Neste capítulo serão apresentados alguns modelos disponíveis na literatura para a resolução do problema de localização de instalações.

3.1. Formas Alternativas para Abordar o Problema de Localização

Segundo Hollaender (1978), muitos métodos quantitativos foram e tem sido desenvolvidos para ajudar administradores a obterem uma solução inicial para o problema de localização, seja de fábricas (modelos onde há principalmente um fluxo de saída de materiais), centros de distribuição (modelos onde a entrada e saída de materiais são ambos relevantes) e até mesmo de lojas de varejo (onde o fluxo de entrada, no caso de clientes tem maior relevância). Percebemos, portanto que uma generalização desses modelos é a aplicação para centros de distribuição, onde as entradas e saídas do sistema são relevantes, exigindo então para outras instalações algumas modificações, e até mesmo simplificações.

Esses modelos apresentam uma solução inicial para o problema, uma vez que em um modelo dificilmente serão consideradas todas as variáveis qualitativas e quantitativas que afetariam a solução final. Dessa forma, esses modelos quantitativos apresentam-se adequados para a definição da macrolocalização (definição de uma determinada região ou cidade). Os métodos quantitativos levam em conta fatores econômicos, como por exemplo, custo de transporte, de operação e volume de vendas. Os modelos visam maximizar o lucro, diminuindo o custo.

Há variáveis que influenciam na decisão que não são facilmente mensuradas, como posição relativa aos concorrentes, amenidade do clima, oferta de trabalho, produtividade na região, atitude da comunidade com relação à indústria, ambiente para a administração, infraestrutura de apoio da região, entre outros, que variam em cada caso estudado. Essas variáveis são tratadas por um método chamado Método dos Orçamentos Comparados, que segundo

Hollaender (1978), foi desenvolvido por administradores e considera simultaneamente a macro e a microlocalização (escolha do terreno propriamente dito). A grande dificuldade da aplicação desse método é o levantamento de dados que se torna muito custoso quando o número de alternativas aumenta.

Leme (1969) apud Hollaender (1978) descreve as três etapas necessárias para a aplicação desse método:

a) Uma lista exhaustiva de quesitos, que deve ser adequada à própria empresa para explicar todos os aspectos que devem ser considerados no estudo da localização.

b) Uma lista exhaustiva de quesitos que deve ser feita sobre qualquer localidade antes de julgá-la como uma possível escolha para localização.

c) Um exame comparativo das localidades que responderem favoravelmente aos quesitos feitos no item b, tendo em vista as repostas aos quesitos do item a.

De acordo com Costa (2004), o item a) elenca os fatores localizacionais mais importantes para a empresa em um dado problema. Esses fatores podem ser divididos em algumas categorias:

- Fatores que orientam a localização pelas entradas;
- Fatores que orientam a localização pelas saídas;
- Fatores que orientam a localização pelo processo;
- Fatores qualitativos.

Esse método não será aprofundado, pois não se aplica aos objetivos deste trabalho, uma vez que a localização das bases de atendimento já está definida, sendo a decisão final a alocação de equipes aos pontos de demanda.

Hollaender (1978) decompõe o problema de localização de centros de distribuição em um conjunto de problemas inter-relacionados, que responderão às seguintes questões:

- *Qual o número ideal de centros de distribuição?*
- *Qual deve ser a localização dos centros de distribuição?*
- *Qual deve ser o volume de operação de cada um dos centros de distribuição?*
- *Qual parcela do mercado deve ser alocada para cada centro de distribuição?*
- *Como será a alocação de fábricas a cada centro de distribuição?*

- *Quando cada centro de distribuição deve iniciar ou encerrar suas atividades?*

De acordo com Hollaender (1978), devido à complexidade de resolução desses problemas em apenas uma etapa, eles devem ser tratados em estágios múltiplos, buscando-se a solução de cada um dos problemas acima descritos supondo fixos os parâmetros que resolvem outros problemas.

Quando se formula um problema de localização de centros de distribuição as localizações e número de fábricas e lojas do sistema são supostamente pré-fixadas, caso essa simplificação não fosse feita, exigiria um modelo mais complexo, incluindo as localizações como variáveis.

Outra simplificação é ignorar o período de abertura e fechamento dos centros de distribuição. Hollaender (1978) classifica esse tipo de modelo como estático em oposição a modelos que considerariam essa variação ao longo do tempo, classificados como dinâmicos.

Outra classificação de Hollaender (1978) dos modelos de localização é quanto ao número de centros de distribuição a serem localizados, podendo ser modelos de:

- Somente um centro de distribuição;

- Mais de um centro de distribuição.

O primeiro tipo de modelo (somente um centro de distribuição) é utilizado em duas ocasiões:

- Quando se sabe, inicialmente, que deverá existir apenas um centro de distribuição em toda região atendida;

- Quando fatores geográficos ou políticos permitem a divisão da região em regiões menores que serão atendidas por apenas um centro de distribuição, dessa forma, o problema de localizar n centros de distribuição torna-se n problemas de localizar apenas um centro de distribuição.

Caso essas condições não sejam atendidas, será necessário adotar o modelo de localização de mais de um centro de distribuição.

A maior parte dos modelos de localização leva em conta os custos de transporte e operação, buscando minimizá-los, no entanto há alguns problemas que consideram outros fatores, como por exemplo, o tempo de atendimento dos pedidos, como é o caso da localização de equipes de socorro de emergências, em que o tempo até a chegada da equipe ao local de atendimento é crucial na operação.

Hollaender (1978) propõe ainda duas grandes divisões dos modelos existentes para determinação de localização de centros de distribuição. A primeira divisão engloba os modelos em que os centros de distribuição podem ser localizados em qualquer ponto da área estudada. A segunda divisão engloba modelos onde apenas um conjunto finito de pontos é candidato a ser localização de um centro de distribuição. Eilon e Watson-Gandy (1970) apud Hollaender (1978) denominam os modelos dessas divisões como conjunto inicial infinito e conjunto inicial finito, respectivamente.

A seguir serão apresentados os principais modelos estáticos de localização de centros de distribuição.

3.2. Modelos para Localização de Somente um Centro de Distribuição

Neste item serão apresentados os modelos de localização de apenas um centro de distribuição que podem ser aplicados para os casos que atendam as condições descritas no item anterior. Deve-se ressaltar que a maioria dos modelos apresentados neste item são de conjunto inicial infinito.

3.2.1 Modelo de Weber

De acordo com Hollaender (1978), o modelo de Weber fornece a solução de mínimo custo de transporte para o problema de localização de um centro de distribuição se as hipóteses abaixo forem satisfeitas:

- Localização das fontes de demanda e oferta são conhecidas e definidas inicialmente;
- Os volumes de abastecimento e consumo transportados não dependem da localização final do centro de distribuição;
- Os transportes podem ser considerados como em linha reta;
- O custo do transporte é proporcional ao peso transportado e à distância percorrida.

A formulação matemática do problema é:

Min T, sendo

$$T = \sum_{i=1}^m c_i p_i d_i$$

T = custo total de transporte;

c_i = custo de transporte por unidade de distância e de peso (\$/ton.km);

p_i = peso total transportado entre o ponto de demanda/oferta e o centro de distribuição;

d_i = distância em linha reta entre o centro de distribuição e o ponto de oferta/demanda;

m = número total de pontos de oferta e demanda.

Para cada ponto da área estudada é associado um par de coordenadas cartesianas (a_i , b_i) e dessa maneira, sendo o par (x , y) a localização do centro de distribuição, é possível calcular a distância euclidiana, através da expressão:

$$d_i = h\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}$$

Onde o termo h é um fator de conversão que depende da escala adotada no modelo.

Para simplificar a expressão, uniremos os termos c_i , p_i e h em um só termo, w_i , sendo então:

$$w_i = hc_i p_i$$

O termo w_i mostra a importância relativa de cada localidade.

Utilizando o termo w_i e a distância euclidiana, podemos reescrever a função objetivo:

$$T = \sum_{i=1}^m w_i \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}$$

Como a função da distância euclidiana é quadrática, não é possível resolver esse problema com uma programação linear, deve-se então utilizar algumas ferramentas do cálculo diferencial para a determinação de máximos e mínimos, como, por exemplo, o cálculo de derivadas parciais.

Não nos aprofundaremos nas expressões e passagens de cálculo diferencial necessárias para a resolução do problema, mas apresentaremos alternativas de soluções propostas por alguns autores.

3.2.1.1 *Gradiente Modificado de Kuhn*

Para a resolução do problema, Kuhn (1962) apud Hollaender (1978), através de cálculos de derivada parciais e algumas modificações dessas derivadas, chegou a um método iterativo para determinar o par da solução ótima (x^* , y^*), sendo que a partir de um par inicial (x^0 , y^0) calcula-se:

$$x^{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^m a_i g_i^k}{\sum_{i=1}^m g_i^k}$$

e

$$y^{k+1} = \frac{\sum_{i=1}^m b_i g_i^k}{\sum_{i=1}^m g_i^k}$$

Onde k é o número da ordem da iteração e:

$$g^k = \frac{w_i}{\sqrt{(x^k - a_i)^2 + (y^k - b_i)^2}}$$

As iterações são feitas até que a modificação do custo seja muito pequena, ou até que o custo mínimo satisfaça as necessidades do sistema estudado.

3.2.1.2 *Aproximação pelo Hiperbolóide*

A aproximação pelo hiperbolóide é muito parecida com o método de Kuhn (1962). A vantagem desse método em relação ao anterior é o menor número de iterações até que o resultado convirja. A diferença é a substituição do termo g_i^k pelo termo \bar{g}_i^k , sendo calculado como:

$$\bar{g}_i^k = \frac{w_i}{\sqrt{(x^k - a_i)^2 + (y^k - b_i)^2 + \varepsilon}}$$

Sendo ε um valor positivo, arbitrariamente pequeno. Este método foi descrito por Eyster et al (1973) apud Hollaender (1978) que mostrou que a convergência é mais rápida conforme ε aumenta, entretanto isso causa uma diminuição da precisão.

3.2.1.3 Analogia Mecânica de Varignon

Esse método, apresentado por Hollaender (1978), é uma analogia de um modelo mecânico de Varignon, tem esse nome, pois se baseia em um modelo inventado por Varignon para demonstrar o método do paralelogramo usado para calcular resultante de vetores. Essa analogia é mostrada na Figura 3:

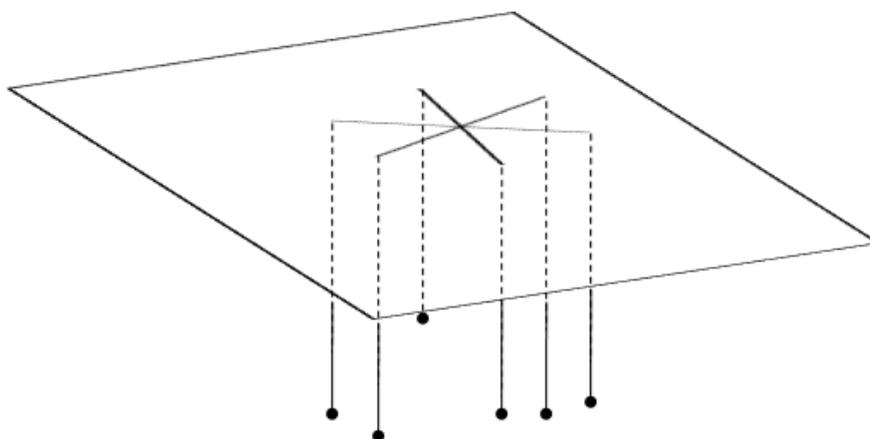


Figura 3: Modelo da analogia mecânica de Varignon

O modelo mecânico é constituído de um mapa rígido da região a ser estudada, no qual cada ponto de oferta/demanda é representado por um orifício no plano. São colocados m fios, que são todos ligados por um nó na parte superior, passam pelos orifícios e em sua parte inferior são pendurados pesos proporcionais ao produto do peso a ser transportado entre o ponto de oferta/demanda e o centro de distribuição pela tarifa de transporte, por tonelada-quilômetro.

Supondo-se que o atrito entre os fios orifícios é desprezível, é possível provar através de cálculos mecânicos que levam em consideração a energia potencial do sistema que o nó que liga os fios, no momento em que o sistema entra em equilíbrio, está na posição que

minimiza os custos de transporte. Isso não será provado, pois foge do foco deste item, que é apresentar alternativas para a solução do modelo de Weber.

3.2.2 Método do Centro de Gravidade

O modelo do centro de gravidade é muito simples e fácil de ser aplicado, e, segundo Hollaender (1978), provavelmente devido a essas características ele tenha se tornado um tão difundido.

Esse modelo é, assim como, o modelo de Varignon uma analogia mecânica. Esse método consiste em calcular as coordenadas do centro de gravidade considerando os pontos de oferta e demanda. As coordenadas do centro de gravidade, (x_g, y_g) podem ser calculadas com as seguintes expressões:

$$x_g = \frac{\sum_{i=1}^m c_i p_i a_i}{\sum_{i=1}^m c_i p_i}$$

$$y_g = \frac{\sum_{i=1}^m c_i p_i b_i}{\sum_{i=1}^m c_i p_i}$$

Esse ponto calculado, (x_g, y_g) , será a solução de menor custo desde que os custos sejam proporcionais ao quadrado da distância e as hipóteses do modelo de Weber sejam satisfeitas.

Hollaender (1978) ressalta que a solução obtida com esse modelo é diferente da solução obtida com o modelo de Weber, exceto em alguns problemas muito específicos. Essa solução pode também servir como uma aproximação inicial para os métodos iterativos de Kuhn (1962) e da hiperbolóide.

Vergin e Rogers (1967) apud Hollaender (1978) verificaram que para alguns problemas, pode-se utilizar os estimadores (x'_g, y'_g) , pois estes apresentam melhores resultados, sendo:

$$x'_g = \frac{\sum_{i=1}^m c_i^2 p_i^2 a_i}{\sum_{i=1}^m c_i^2 p_i^2}$$

$$y'_g = \frac{\sum_{i=1}^m c_i^2 p_i^2 b_i}{\sum_{i=1}^m c_i^2 p_i^2}$$

3.2.3 Transportes Vinculados a Grafos

Até agora, consideramos nos modelos os transportes como feitos em linha reta, o que, de acordo com Hollaender (1978), pode ser justificado pelos seguintes motivos:

a) Uma rede eficiente de transportes na região estudada permite que o deslocamento entre dois pontos seja considerado como uma linha reta;

b) Apesar de algumas ligações entre pontos não existirem no momento da decisão de localização, como o horizonte de planejamento é longo, é muito provável que essa ligação seja implantada durante a operação da instalação;

c) Há a necessidade de se simplificar a realidade para aplicá-la a um modelo, que seja facilmente manipulado.

Nos casos em que essas condições não sejam satisfeitas ou essas simplificações gerem erros muito grandes, torna-se necessário utilizar a rede de transportes que existe realmente. Para considerar isso, pode-se utilizar modelos de transportes vinculados a grafos, onde as distâncias reais podem ser representadas.

3.3. Modelos para Localização de Mais de Um Centro de Distribuição

Hollaender (1978) afirma que os modelos para a localização de mais de um centro de distribuição são utilizados quando se sabe que é possível que exista mais de um centro de distribuição e não conseguimos estabelecer inicialmente que parte do mercado será atendida por cada centro e normalmente não se sabe também a quantidade de centros de distribuição a serem abertos.

Diversas técnicas foram desenvolvidas para resolver esse problema, Hollaender (1978) propõe as seguintes classificações para essas técnicas:

- Numérico-analíticas;
- Programação matemática;

- Simulação em computador;
- Heurísticas.

3.3.1 Técnicas Numérico-Analíticas

De acordo com Hollaender (1978), para resolver o problema de localização de mais de um centro de distribuição, é possível aplicar sucessivamente a resolução do modelo de Weber, conforme o fluxograma da Figura 4.

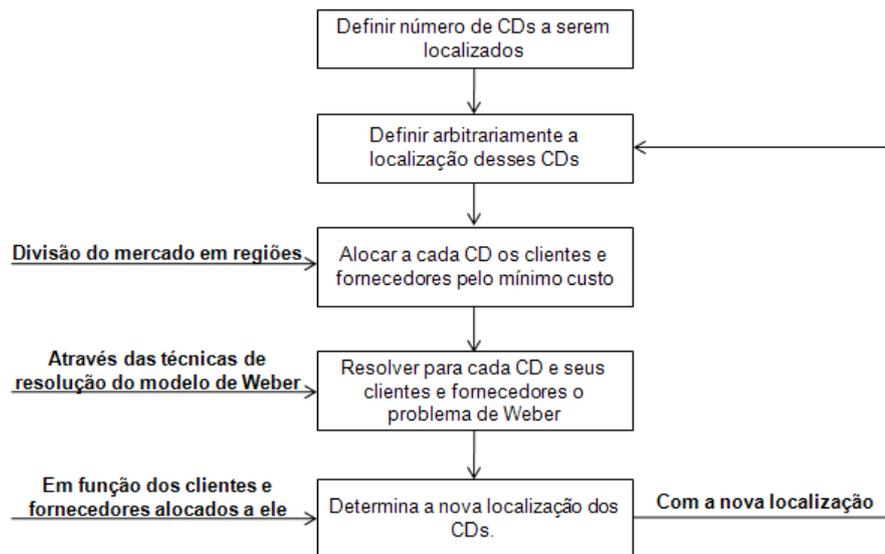


Figura 4: Passos para aplicação do modelo de Weber sucessivamente

Hollaender (1978) cita as vantagens e desvantagens desse método:

- Vantagem:

- Com essa técnica, o problema é resolvido com um conjunto inicial infinito, mesmo sendo um problema de mais de um centro de distribuição;

- Desvantagens:

- Com a utilização dessa técnica, a solução encontrada para um determinado número de centros de distribuição depende da solução inicial adotada, e não se pode garantir a proximidade entre essa solução e a solução ótima. Para contornar isso, uma alternativa é aplicar diversas vezes a técnica com várias soluções iniciais e adotar a de menor custo, que estará mais próxima do ótimo;

- Essa técnica apresenta uma solução para um dado número de centros de distribuição, mas deve ser aplicada novamente caso esse número seja mudado.

3.3.2 Programação Matemática

Se não houver restrições de capacidade de armazenagem e de atendimento, Hollaender (1978) propõe a seguinte formulação para o problema de localização de vários centros de distribuição, neste caso, este é um problema de conjunto inicial finito.

$$\text{Min.} \quad \text{CT} = \text{T1} + \text{Y} + \text{T2}$$

Sendo:

T1: Custo total de transporte entre as fábricas e os centros de distribuição;

Y: Custo total de operação de todos os centros de distribuição;

T2: Custo total de transporte entre os centros de distribuição e os clientes;

Esses termos são calculados da seguinte maneira:

$$T1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}(P_j, D_{ij}) \cdot \bar{X}_{ij}$$

$$Y = \sum_{j=1}^n \delta_j [F_j + \Phi(P_j)]$$

$$T2 = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{jk}(p'_k, d_{jk}) \cdot x_{jk}$$

Onde:

P_j : volume total a ser distribuído pelo centro de distribuição j ;

D_{ij} : distância entre a fábrica i e o centro de distribuição j ;

$C_{ij}(P_j, D_{ij})$: custo total para transportar da fábrica i para o centro de distribuição j todo o volume a ser distribuído;

\bar{X}_{ij} : porcentagem do volume distribuído pelo centro de distribuição j que é efetivamente enviada pela fábrica i ;

δ_j : variável binária que, quando igual a um, o centro de distribuição j está aberto, caso contrario, o valor é zero;

F_j : termo independente da função de custo de operação de um centro de distribuição, não se refere a custos fixos de curto prazo;

$\Phi(P_j)$: parcela da função de custo de operação de um centro de distribuição dependente de P_j ;

p'_k : demanda total do cliente k ;

d_{jk} : distância entre o centro de distribuição j e o cliente k ;

$c_{jk}(p'_k, d_{jk})$: custo total de transportar, do centro de distribuição j , toda a demanda do cliente k ;

x_{jk} : porcentagem da demanda do cliente k que é efetivamente enviada pelo centro de distribuição j ;

m : número total de fábricas;

n : número total de centros de distribuição;

r : número total de clientes.

Há ainda as seguintes restrições para o problema:

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = 1 \quad \forall k - \text{Toda a demanda de um determinado cliente será atendida;}$$

$$\sum_{i=1}^m \bar{X}_{ij} = 1 \quad \forall j - \text{Toda a produção de uma dada fábrica será recebida;}$$

$$0 \leq x_{jk} \leq \delta_j \quad \forall j - \text{Caso haja fluxo em um centro de distribuição ele será aberto;}$$

$$0 \leq \bar{X}_{ij} \leq \delta_j \quad \forall j - \text{Caso haja fluxo em um centro de distribuição ele será aberto;}$$

$$\delta_j = 0 \text{ ou } 1 \quad \forall j - \text{Caso o CD } j \text{ esteja aberto vale } 1, \text{ caso contrario, } 0;$$

$$P_j = \sum_{k=1}^r p'_k x_{jk} \quad \forall j - \text{O volume distribuído por um centro de distribuição é a soma dos volumes que os clientes recebem dele.}$$

Esse problema possui funções descontínuas e, em alguns casos, não lineares, dessa maneira, não pode ser resolvido por métodos comuns de programação linear, como por

exemplo, o Simplex. No caso de funções não lineares, é possível aproximá-las por segmentos de reta através da utilização de variáveis inteiras. Para resolver esse problema com variáveis binárias e inteiras deve-se utilizar outros algoritmos para resolvê-lo.

Geoffrion e Marsten (1972) apud Hollaender (1978) classificaram os algoritmos para a resolução desse tipo de programação em quatro categorias:

- Enumeração implícita – branch and bound;
- Decomposição de Benders;
- Planos de corte;
- Teoria dos grupos.

Segundo Hollaender (1978), em 1978 a principal desvantagem desses algoritmos é a grande capacidade de processamento requerida para resolução dos problemas, essa grande utilização de processamento, mesmo com a evolução tecnológica ainda é relevante caso o número de variáveis seja muito grande.

Outro exemplo de modelo mais simples de programação matemática foi apresentado por Current, Daskin e Schilling apud Drezner(2002).

O modelo é apresentado como FCLP (*Fixed Charge Location Problem*), esse problema é do tipo de conjunto inicial finito e tem como objetivo minimizar os custos totais de armazéns abertos e transportes, dando automaticamente o número ótimo de armazéns e os clientes atendidos por cada um deles.

O problema considera também os custos de abertura de cada armazém de maneira diferente dos outros, não tem necessidade de determinação inicial do número de armazéns a serem localizados, e principalmente considera a capacidade de cada armazém.

O problema é formulado da seguinte maneira:

$$\text{Min.} \quad \sum_{j=1}^m f_j x_j + c \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h_i d_{ij} y_{ij}$$

Sujeito a:

x_j pertence a $\{0,1\}$ – indica se o armazém j esta aberto ($x_j=1$) ou fechado ($x_j=0$)

y_{ij} pertence a $\{0,1\}$ – indica se a demanda do ponto i é atendida pelo armazém j ($y_{ij}=1$) ou não ($y_{ij}=0$)

$\sum_{j=1}^m y_{ji} = 1$, $\forall i$ – a demanda do ponto i deve ser atendida e somente por um armazém j

$y_{ij} - x_j \leq 0$, $\forall i$ e $\forall j$ – caso alguma demanda seja atendida pelo armazém j ele deverá ser aberto ($x_j=1$)

$\sum_{j=1}^m h_i y_{ji} - C_j x_j \leq 0$, $\forall i$ – a demanda atendida por um armazém não pode superar sua capacidade

A função objetivo é composta por:

Custo dos armazéns abertos: $\sum_{j=1}^m f_j x_j$

Custos de transportes: $c \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h_i d_{ij} y_{ij}$

O problema tem as seguintes constantes:

f_j : é o custo fixo do armazém j caso ele seja aberto;

C_j : é a capacidade de atendimento do armazém j ;

c : é o custo por unidade de demanda e distância (considerado constante);

h_i : demanda do ponto i ;

m : número de armazéns;

n : número de pontos de demanda;

d_{ij} : distância entre o ponto de demanda i e o armazém em j ;

i : índice do ponto de demanda;

j : índice do armazém.

Esse problema pode ser resolvido como um modelo de programação linear, uma vez que não há funções descontínuas, ou não-lineares em sua formulação.

3.3.3 Simulação em Computadores

De acordo com Ballou (2006), um modelo de simulação de localização de instalações é uma representação matemática de um sistema logístico por demonstrações algébricas e lógicas manipuláveis em computador, com a finalidade de reproduzir o comportamento do sistema estudado.

A principal vantagem dos modelos de simulação é maior fidelidade à realidade, uma vez que os modelos otimizadores nem sempre conseguem representar tão bem a realidade, pois requerem muitas simplificações. Além disso, os modelos de simulação podem ser de mais fácil entendimento do que os otimizadores que requerem um maior conhecimento técnico que muitos gerentes não possuem.

Como desvantagens, não se pode garantir a otimalidade da solução obtida, assim, ao se escolher a simulação como método a ser utilizado, prefere-se obter uma solução melhorada para um problema descrito com exatidão do que uma solução otimizada para um problema simplificado. Há ainda a necessidade de repetidas aplicações do modelo com modificação dos parâmetros para que se obtenha a melhor solução possível, e a eficiência desse processo depende da habilidade e intuição do usuário nessas modificações.

3.3.4 Técnicas Heurísticas

Segundo Ballou (2006), heurísticos são princípios ou conceitos que contribuam para a redução do tempo médio na busca de soluções. São muitas vezes regras básicas de orientação para a resolução do problema. Na aplicação de heurísticas aos problemas de localização, essas regras permitem encontrar boas soluções com rapidez a partir de muitas alternativas.

Assim como a simulação, as técnicas heurísticas não garantem que a solução ótima será obtida, mas há benefícios em termos de tempos, necessidades computacionais e fidelidade na representação da realidade que justificam a escolha desse método de resolução.

Não nos aprofundaremos nessas técnicas, pois fogem dos objetivos desse trabalho.

4. Metodologia

Neste capítulo, vamos descrever o problema da localização de equipes de manutenção na empresa estudada, levantaremos suas características e a partir de então, baseados no levantamento de alternativas feito no Capítulo 3, escolheremos a melhor alternativa para a resolução deste problema.

4.1. Descrição do Problema

A Conbras tem um contrato em âmbito nacional com a Claro S. A. ficando responsável pela manutenção predial das instalações da empresa, que são prédios administrativos, além de lojas próprias espalhadas pelo território nacional. Neste estudo focaremos as operações no estado de São Paulo.

A operação da Conbras é feita através de bases fixas que enviam equipes de atendimento aos pontos de demanda conforme necessidade, como pode ser visto na Figura 5, mas sem a busca de nenhuma otimização neste processo.



Figura 5: Processo de atendimento às demandas de manutenção – Localização dos pontos feita aleatoriamente, apenas para ilustrar o processo

Como discutido no Capítulo 2, neste mercado de manutenção, a diminuição de custos é muito importante para que as empresas consigam obter mais contratos de prestação de serviços.

Buscaremos aqui diminuir os custos de operação da Conbras no atendimento ao contrato com a Claro S. A., através de uma melhor alocação das equipes e bases de atendimento.

Para resolver esse problema, tomaremos para cada ponto de demanda, a decisão de atendê-lo com uma equipe local subcontratada ou uma equipe externa, decidindo também de qual base a equipe externa será enviada, esse processo pode ser visto na Figura 6:

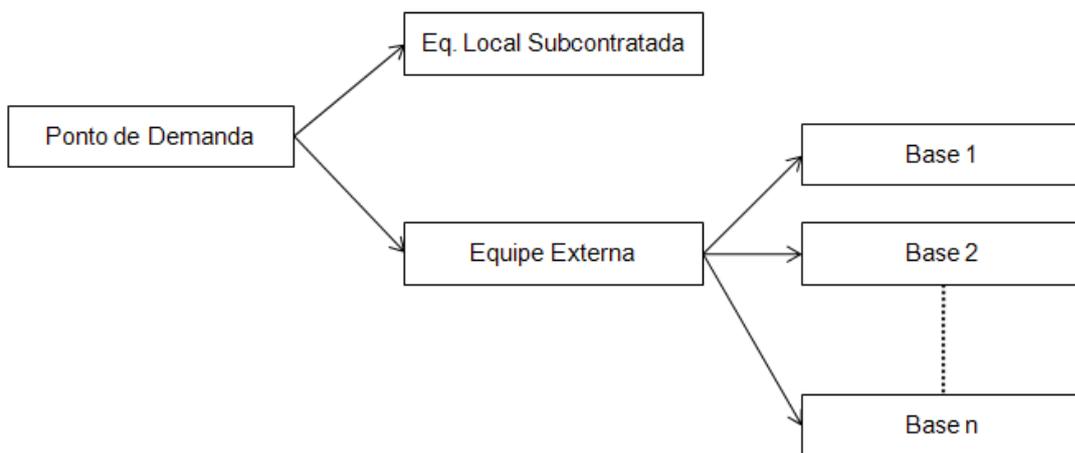


Figura 6: Decisão de alocação de equipes para cada ponto de demanda

Podemos entender as bases de atendimento como centros de distribuição do serviço, e as equipes como veículos que farão a entrega desse serviço. Dessa forma, a partir de agora, para modelar e resolver essa operação da Conbras, faremos uma analogia deste problema com o problema de localização de centros de distribuição, assim, será possível utilizar um dos métodos apresentados no Capítulo 3 para resolvê-lo.

4.2. Características do Problema

No problema apresentado no item anterior, temos algumas características a respeito de modelos de localização, apresentadas por Hollander (1978), que nos auxiliarão na escolha do melhor método para sua resolução.

A primeira classificação de Hollaender (1978) é quanto ao número de centros de distribuição a serem localizados, podendo ser um problema de:

- *Somente um centro de distribuição*, quando:

a) Sabe-se, inicialmente, que deverá existir apenas um centro de distribuição em toda região atendida;

b) Quando fatores geográficos ou políticos permitem a divisão da região em regiões menores que serão atendidas por apenas um centro de distribuição, dessa forma, o problema de localizar n centros de distribuição torna-se n problemas de localizar apenas um centro de distribuição.

- *Mais de um centro de distribuição*, caso as condições acima não sejam atendidas.

Uma segunda classificação de Hollaender (1978) consiste em duas grandes divisões dos modelos existentes para determinação de localização de centros de distribuição:

- *Conjunto inicial infinito*: essa divisão engloba os modelos em que os centros de distribuição podem ser localizados em qualquer ponto da área estudada.

- *Conjunto inicial finito*: essa segunda divisão engloba modelos onde apenas um conjunto finito de pontos é candidato a ser localização de um centro de distribuição.

Podemos esquematizar essas duas classificações de acordo com o diagrama mostrado na Figura 7, em que os modelos podem ser enquadrados em um dos quadrantes.

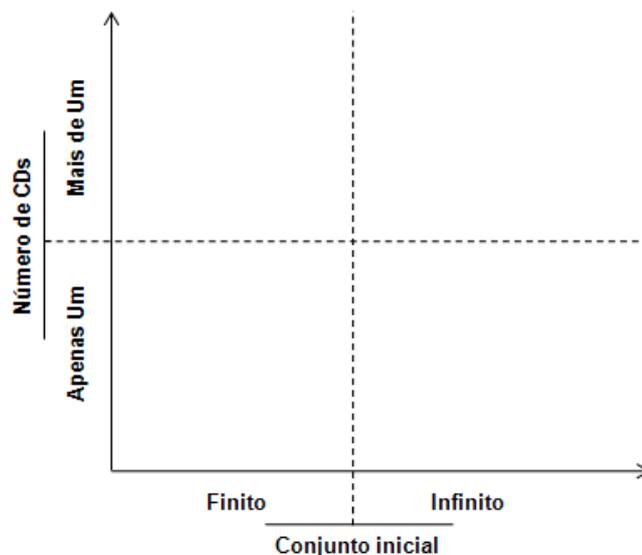


Figura 7: Quadrantes das classificações de Hollaender (1978) para os modelos de localização

Quanto à primeira classificação, podemos verificar que o problema estudado se encaixa como um modelo de mais de um centro de distribuição, uma vez que não temos certeza se existirá apenas uma base de atendimento e também não é possível dividir o espaço geográfico em regiões menores e alocar apenas uma base de atendimento para cada uma dessas regiões.

Já para a segunda característica teremos como candidatas a bases de atendimento, as bases pré determinadas, além de todos os pontos de demanda (pois pode haver atendimento por equipes subcontratadas), assim, temos um problema de conjunto inicial finito.

Podemos, a partir das constatações das características acima descritas, localizar o problema da localização de equipes de manutenção da Conbras no diagrama de quadrantes das classificações de Hollander (1978) para os modelos de localização, como pode ser visto na Figura 8:

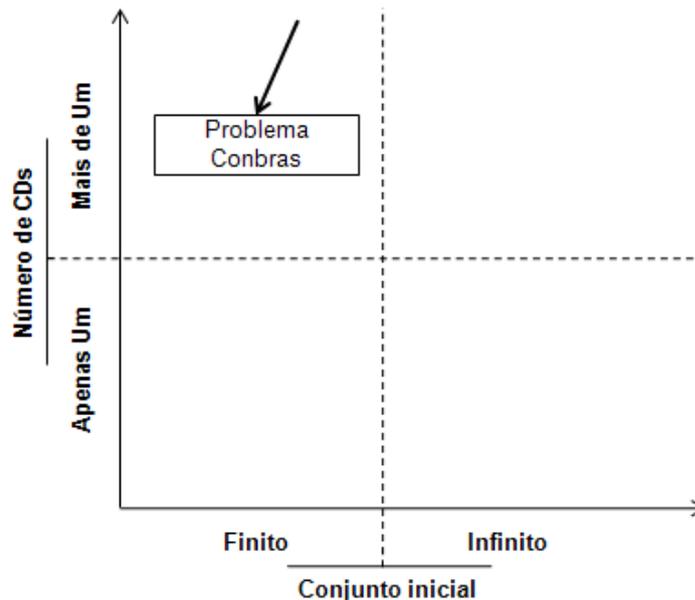


Figura 8: Localização do problema da Conbras em um dos quadrantes

4.3. Análise dos Modelos Existentes

Vamos agora verificar a possibilidade de aplicação dos modelos apresentados no capítulo anterior especificamente para o problema da localização das equipes de atendimento

de manutenção da Conbras. Para cada modelo, verificaremos suas características e se pode ser adotado para resolução do problema.

a) Modelo de Weber

Independentemente de suas formas de resolução (Gradiente Modificado de Kuhn, Aproximação pelo Hiperbolóide e Analogia Mecânica de Varignon), o modelo de Weber parte de um conjunto inicial infinito, chegando a uma solução para a localização de apenas um centro de distribuição, não sendo, assim um modelo possível de ser aplicado ao problema estudado.

b) Método do Centro de Gravidade

O método do Centro de gravidade, apesar de ser uma método mais simples de ser calculado, assim como o método de Weber, tem como partida um conjunto infinito e através de uma analogia mecânica, calcula uma solução para a localização de um centro de distribuição, dessa forma esse método também não é aplicável ao problema das equipes de manutenção.

c) Transportes Vinculados a Grafos

Esses modelos vinculados a grafos são utilizados quando a aproximação da distância entre dois pontos pela fórmula da distância euclidiana gerar muitos erros, dessa forma deve-se levar em consideração a estrutura de transportes existente na região estudada com suas distâncias reais.

Esse modelo pode partir de pontos específicos como candidatos (conjunto inicial finito) ou pode ter como possíveis soluções pontos localizados ao longo da estrutura de transportes estudada (conjunto inicial infinito), para que localize um centro de distribuição. Esse modelo não é aplicável ao problema estudado, pois apesar de poder ser utilizado com um conjunto inicial finito, localiza um único centro de distribuição.

d) Técnicas Numérico-Analíticas

As técnicas numérico-analíticas consistem na sucessiva aplicação do modelo de Weber, para que se consiga localizar vários centros de distribuição a partir de um conjunto inicial infinito. Essa técnica não pode ser utilizada para resolução do problema estudada, pois depende de um conjunto inicial infinito.

e) Programação Matemática

Pelo método da Programação Matemática é possível resolver problemas de conjuntos iniciais finitos ou infinitos, com uma maior complexidade de modelagem caso o conjunto inicial seja infinito. Como solução, podem ser localizados tantos centros de distribuição quanto necessários, ou desejados, caso haja um limite para esse número.

Pelas características desse modelo, é possível que ele seja utilizado para resolver o problema de localização das equipes de manutenção da Conbras no estado de São Paulo.

f) Simulação em Computadores

Através simulação é possível achar uma boa solução para o problema de localização de centros de distribuição, a partir de um conjunto finito de pontos candidatos (conjunto inicial finito), além disso, podem ser localizados vários centros de distribuição de acordo com as simulações feitas.

Esse modelo, assim como a Programação Matemática, tem características que tornam sua aplicabilidade para o problema da Conbras.

Podemos, agora, localizar os modelos discutidos anteriormente nos quadrantes apresentados no item anterior, como mostrado na Figura 9, onde são marcados os modelos que podem ser utilizados para a resolução do problema estudado:

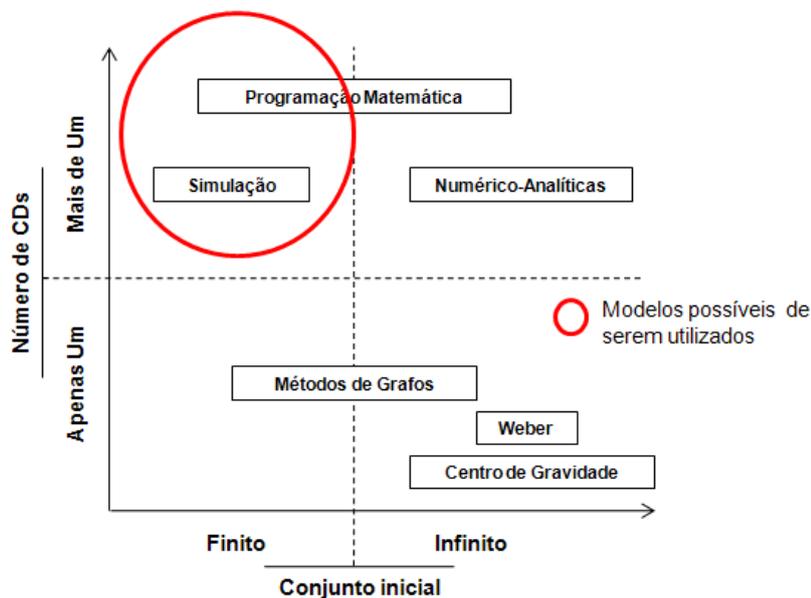


Figura 9: Localização dos modelos nos quadrantes das características de Hollander (1978)

4.4. Escolha do Método para Resolução do Problema

No item anterior, discutimos a aplicabilidade dos métodos apresentados na Revisão Bibliográfica para o problema de localização das equipes de manutenção da Conbras no estado de São Paulo. Verificamos que dois dos métodos são possíveis de serem utilizados para a resolução deste problema.

Foi discutida com a empresa uma lista de critérios para ser utilizada para a escolha do método para resolução do problema de localização, a partir dessa lista foram eleitos os seis critérios mais importantes e seu peso na decisão final.

Para escolher qual dos métodos será utilizado, será feita uma matriz de decisão com pesos de 1 a 5 para os critérios discutidos e notas para cada um deles por método que variam de 1 a 4.

Utilizaremos os seguintes critérios para a matriz:

a) Proximidade entre a solução obtida e a solução ótima

Nesse quesito avaliaremos a capacidade do método escolhido de se aproximar da solução ótima possível para o problema estudado. Como buscamos a melhor solução possível, daremos um peso grande para esse quesito, peso 5.

b) Facilidade de modificação dos pontos de demanda/oferta

Aqui, verificaremos a facilidade de inclusão ou exclusão dos pontos de oferta e demanda durante o estudo do problema, uma vez que esses números podem variar durante a coleta de dados, e deve ser possível modificar facilmente isso no método escolhido para resolução. O peso desse critério é 4.

c) Auto-suficiência para ser rodado

Avaliaremos nesse quesito a capacidade do método de ser resolvido sem a necessidade de modificação de parâmetros, como o método se comporta a partir de definições iniciais de parâmetros, em busca da melhor solução, esse critério terá peso 3.

d) Adequação à realidade

Esse critério avalia como o modelo de resolução representa a realidade, se há muitas divergências e se isso pode causar distorções e erros na solução real obtida, seu peso é 3.

e) Cálculo independente de interferência humana

Nesse critério avaliaremos se a solução obtida depende de quem aplica o modelo ou se será sempre a mesma, independentemente de quem a executa, esse critério tem peso 3.

f) Requisitos computacionais

Aqui será avaliada a dificuldade computacional para a execução do modelo, se há necessidade de computadores de grande porte ou computadores comuns podem ser utilizados para isso. Como essa não é uma grande limitação para o estudo, o peso desse quesito é 1.

Podemos ver os critérios e pesos na Tabela 7:

Tabela 7: Pesos e critérios da matriz de decisão

Critério	Peso
Proximidade entre a solução obtida e a solução ótima	5
Facilidade de modificação dos pontos de demanda/oferta	4
Auto-suficiência para ser rodado	3
Adequação à realidade	3
Cálculo independente de interferência humana	3
Requisitos computacionais	1

Para cada critério da tabela acima, vamos discutir sua aplicação para os modelos de simulação e programação matemática, atribuindo para cada um deles a nota que será levada em conta na matriz de decisão.

a) Proximidade entre a solução obtida e a solução ótima

- Simulação: de acordo com Ballou (2006), a simulação normalmente se aproxima mais das características dos problemas e é utilizada quando é preferível se encontrar uma solução

melhorada para um problema descrito com exatidão ao invés da solução ótima para o problema descrito aproximadamente. Como a solução encontrada está mais distante da ótima, a nota para esse quesito é 3.

- Programação Matemática: dependendo da complexidade do problema estudado, é possível descrevê-lo com uma aproximação muito boa da realidade através da programação matemática, e então obter a solução ótima para o problema, como esse método fornece a solução ótima, no entanto para um problema aproximado, sua nota para esse critério é 4.

b) Facilidade de modificação dos pontos de demanda/oferta

- Simulação: a inclusão/exclusão de novos pontos de oferta/demanda no modelo de simulação não é difícil, basta adicionar regras para o funcionamento desse ponto, Ballou (2006) descreve um modelo de simulação como uma representação matemática de um sistema logístico por demonstrações algébricas e lógicas manipuláveis em computador, nesse quesito receberá nota 4.

- Programação Matemática: de acordo com Ballou (2006), os modelos de programação são muitas vezes de difícil entendimento e exigem qualificações técnicas que muitas vezes os gerentes não possuem, devido a essa dificuldade, a nota nesse critério será 3.

c) Auto-suficiência para ser rodado

- Simulação: segundo Ballou (2006), nos modelos de simulação o analista ou gerente que manipula o modelo precisa especificar as instalações e parâmetros da rede e através de repetidas aplicações do modelo, será obtida a melhor solução. Devido a essa necessidade de ajuste de parâmetros e várias aplicações do modelo, nesse quesito, sua nota é 1.

- Programação Matemática: após a formulação do problema, com seus parâmetros, a resolução dos problemas de programação matemática é fácil de ser feita em computador, sem necessidade de modificação de parâmetros, dessa forma, a nota para esse aspecto é 4.

d) Adequação à realidade

- Simulação: segundo Ballou (2006), os modelos de simulação são escolhidos por aqueles que entendem que uma descrição exata do problema é prioritária, uma vez que a simulação tem uma capacidade grande de representar a realidade com exatidão, nesse quesito, a nota é 4.

- Programação Matemática: de acordo com Ballou (2006), apesar de os modelos de programação matemática proporcionarem uma solução otimizada para o problema modelado, nem sempre pode ser a melhor solução para o problema real, uma vez que algumas simplificações para a adequação do modelo devem ser feitas, dessa forma, ao se optar por esse modelo, será obtida uma solução ótima para uma descrição aproximada do problema. Para esse critério, a nota será 2.

e) Cálculo independente de interferência humana

- Simulação: segundo Ballou (2006), a qualidade dos resultados e a eficiência do modelo de simulação dependem das habilidades e intuição do usuário na seleção das localizações e parâmetros que deverão ser analisadas, dessa forma, percebemos que esse tipo de modelo depende fortemente do usuário que o executa, devido a isso, sua nota é 1.

- Programação Matemática: dado um modelo pronto, independentemente do usuário que o executar, será obtida uma mesma solução ótima para o problema, assim percebe-se que a interferência humana na execução do modelo é praticamente nula, assim sua nota é 4, para esse critério.

f) Requisitos computacionais

- Simulação: a execução do modelo de simulação, em termos computacionais é simples, não requer cálculos complexos, dessa maneira, sua nota para esse quesito é 4.

- Programação Matemática: Hollaender (1978) afirmou que os requisitos computacionais eram o principal problema desse modelo, com o passar dos anos, isso foi amenizado, mas

mesmo com a evolução tecnológica, dependendo do número de variáveis binárias e inteiras a execução pode se tornar bastante demorada, dessa forma a nota para esse critério é 2.

A partir dos pesos e notas acima descritas, montamos a matriz de decisão mostrada na Tabela 8:

Tabela 8: Matriz de decisão para escolha do método a ser utilizado para resolução do problema

Critério	Peso	Simul.	Progr.
Proximidade entre a solução obtida e a solução ótima	5	3	4
Facilidade de modificação dos pontos de demanda/oferta	4	4	3
Auto-suficiência para ser rodado	3	1	4
Adequação à realidade	3	4	2
Cálculo independente de interferência humana	3	1	4
Requisitos computacionais	1	4	2
Total		53	64

Verificamos que pela multiplicação peso x nota, obteremos um total de 53 pontos para simulação e 64 pontos para a programação matemática, dessa forma, pela matriz de decisão, utilizando os critérios acima descritos, o melhor método para a resolução do problema de localização é a programação matemática.

5. Modelagem do Problema

Como discutido no capítulo anterior, vamos utilizar um modelo de programação matemática para a resolução do problema da localização das equipes de manutenção da Conbras no atendimento do contrato da Claro no estado de São Paulo.

5.1. Modelo Inicial

Para a construção do modelo a ser aplicado para o problema estudado, tomaremos como base um dos modelos apresentados na revisão bibliográfica, o modelo FCLP (*Fixed Charge Location Problem*) apresentado por Current, Daskin e Schilling apud Drezner(2002).

O problema original é formulado da seguinte maneira:

$$\text{Min.} \quad \sum_{j=1}^m f_j x_j + c \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h_i d_{ij} y_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m y_{ji} = 1, \forall i$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0, \forall i \text{ e } \forall j$$

$$\sum_{j=1}^m h_i y_{ji} - C_j x_j \leq 0, \forall i$$

$$x_j \text{ pertence a } \{0,1\}$$

$$y_{ij} \text{ pertence a } \{0,1\}$$

Onde:

f_j : é o custo fixo do armazém j caso ele seja aberto;

C_j : é a capacidade de atendimento do armazém j ;

c : é o custo por unidade de demanda e distância (considerado constante);

h_i : demanda do ponto i ;

m : número de armazéns;

n : número de pontos de demanda;

d_{ij} : distância entre o ponto de demanda i e o armazém em j ;

i : índice do ponto de demanda;

j : índice do armazém.

A função objetivo do problema original considera apenas os custos de abertura de armazéns e transportes, no problema estudado deveremos considerar além desses custos, os custos das equipes de atendimento próprias da Conbras, chamadas de equipes externas e o custo das equipes subcontratadas.

Feitas essas considerações, sendo i o índice dos pontos de demanda e j o índice das bases de atendimento, além disso, n é o número de pontos de demanda e m de bases de atendimento, teremos então a seguinte função objetivo:

$$\text{Min. } CT = C.\text{Bases_Abertas} + C.\text{transporte} + C.\text{Equipes_Externas} + C.\text{Equipes_Sub}$$

Sendo:

- Custo das bases abertas (C.Bases_Abertas) calculado como:

$$C.\text{Bases_Abertas} = \sum_{j=1}^m b_j \cdot CBA$$

Onde:

b_j : é uma variável binária que é 1 se a base j estiver aberta e 0, caso contrário;

CBA: custo fixo médio de se manter uma base aberta;

m : número de bases de atendimento;

j : índice da base de atendimento.

- Custo de transportes (C.Transporte), de ida e volta, calculado como:

$$\mathbf{C.Transporte} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m 2 \cdot ct \cdot d_{ij} w_{ij}$$

Onde:

ct: é o custo médio de transporte por unidade de distância;

d_{ij} : é a distância entre o ponto de demanda i e a base j;

w_{ij} : é a demanda da base i atendida pela base j;

m: número de bases de atendimento;

n: número de pontos de demanda;

i: índice do ponto de demanda;

j: índice da base de atendimento.

- Custo das equipes externas (C.Equipes Externas)

$$\mathbf{C.Equipes_Externas} = \sum_{j=1}^m n_j \cdot CEE$$

Onde:

n_j : é o número de equipes alocadas na base j;

CEE: custo unitário médio de cada equipe externa;

m: número de bases de atendimento;

j: índice da base de atendimento.

- Custo de equipes subcontratadas (C.Equipes_Sub):

$$\mathbf{C.Equipes_Sub} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot CES$$

Onde:

a_i : variável binária que, se igual a 1, indica que o ponto i é atendido por uma equipe subcontratada, e 0, caso contrário;

CES: é o custo de uma equipe subcontratada para atendimento de um único ponto de demanda;

n: número de pontos de demanda;

i: índice do ponto de demanda.

Podemos escrever então:

$$CT = \sum_{j=1}^m b_j \cdot CBA + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m 2 \cdot ct \cdot d_{ij} w_{ij} + \sum_{j=1}^m n_j \cdot CEE + \sum_{i=1}^n a_i \cdot CES$$

Como restrições, no problema original temos: a necessidade de se atender cada ponto de demanda de apenas um armazém, a limitação da capacidade do armazém, e caso alguém seja atendido pelo armazém j, ele deverá ser aberto.

No problema estudado, relaxaremos a restrição de atendimento de apenas uma base para cada ponto de demanda, transformaremos a capacidade do armazém j (no caso, da base j) em capacidade de n_j equipes lá presentes, e caso haja equipes presentes ela deverá ser aberta. Além disso há a restrição de que toda demanda do ponto i deve ser atendida (seja por equipes externas ou subcontratadas). Essas restrições serão escritas da seguinte maneira:

- Toda a demanda do ponto i deve ser atendida:

$$\sum_{j=1}^m w_{ij} + AM \cdot a_i \geq D_i \quad \forall i$$

Sendo:

d_{ij} : é a distância entre o ponto de demanda i e a base j;

a_i : variável binária que, se igual a 1, indica que o ponto i é atendido por uma equipe subcontratada, e 0, caso contrário;

b_j : é uma variável binária que é 1 se a base j estiver aberta e 0, caso contrário;

D_i : demanda do ponto i ;

m : número de bases de atendimento;

j : índice da base de atendimento.

- Devem ser alocadas n_j equipes na base j , de acordo com a demanda atendida por ela:

$$AM \cdot n_j - \sum_{i=1}^n w_{ij} \geq 0 \quad \forall j$$

Sendo:

AM : demanda máxima atendida por uma equipe, seja externa ou subcontratada;

n_j : é o número de equipes alocadas na base j ;

w_{ij} : é a demanda da base i atendida pela base j ;

n : número de pontos de demanda;

i : índice do ponto de demanda;

- Caso haja equipes alocadas na base j , a base deve ser aberta

$$NNN \cdot b_j - n_j \geq 0 \quad \forall j$$

Sendo:

NNN : um número grande o suficiente para fazer com que se n_j for maior que 0, necessariamente b_j será 1;

b_j : é uma variável binária que é 1 se a base j estiver aberta e 0, caso contrário;

n_j : é o número de equipes alocadas na base j ;

j : índice da base de atendimento.

- Variáveis a_i e b_j devem ser binárias:

$$a_i, b_j \in \{0, 1\}$$

Sendo:

a_i : variável binária que, se igual a 1, indica que o ponto i é atendido por uma equipe subcontratada, e 0, caso contrário;

b_j : é uma variável binária que é 1 se a base j estiver aberta e 0, caso contrário;

- Variáveis w_{ij} e n_j devem ser inteiras:

$$w_{ij}, n_j \in \mathbb{Z}$$

Sendo:

w_{ij} : é a demanda da base i atendida pela base j ;

n_j : é o número de equipes alocadas na base j ;

i : índice do ponto de demanda;

j : índice da base de atendimento.

Escreveremos então o problema da seguinte forma:

$$\text{Min. CT} = \sum_{j=1}^m b_j \cdot CBA + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m 2 \cdot ct \cdot d_{ij} w_{ij} + \sum_{j=1}^m n_j \cdot CEE + \sum_{i=1}^n a_i \cdot CES$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m w_{ij} + AM \cdot a_i \geq D_i \quad \forall i$$

$$AM \cdot n_j - \sum_{i=1}^n w_{ij} \geq 0 \quad \forall j$$

$$NNN \cdot b_j - n_j \geq 0 \quad \forall j$$

$$a_i, b_j \in \{0, 1\}$$

$$w_{ij}, n_j \in \mathbb{Z}$$

Onde temos:

b_j : é uma variável binária que é 1 se a base j estiver aberta e 0, caso contrário;

CBA: custo fixo médio de se manter uma base aberta;

ct : é o custo médio de transporte por unidade de distância;

d_{ij} : é a distância entre o ponto de demanda i e a base j ;

w_{ij} : é a demanda da base i atendida pela base j ;

n_j : é o número de equipes alocadas na base j ;

CEE: custo unitário médio de cada equipe externa;

a_i : variável binária que, se igual a 1, indica que o ponto i é atendido por uma equipe subcontratada, e 0, caso contrário;

CES: é o custo de uma equipe subcontratada para atendimento de um único ponto de demanda;

D_i : demanda do ponto i ;

NNN: um número grande o suficiente para fazer com que se n_j for maior que 0, necessariamente b_j será 1;

AM: demanda máxima atendida por uma equipe, seja externa ou subcontratada;

m : número de bases de atendimento;

n : número de pontos de demanda;

i : índice do ponto de demanda;

j : índice da base de atendimento.

Como limitação do modelo temos a necessidade de uma determinada demanda ser atendida com uma equipe saindo de uma base, não sendo possível sair de um ponto de demanda e ir atender um ponto vizinho, deve-se retornar para a base e ir para o ponto vizinho a partir da base, portanto esse modelo não se propõe a resolver o problema de roteirização das equipes, mas a sua alocação aos pontos de demanda.

5.2. Modelo Revisado

O modelo descrito no item anterior foi apresentado para a empresa Conbras e alguns pontos foram levantados e algumas limitações do modelo levadas a tona:

a) A constante de atendimento máximo das equipes:

O atendimento máximo de demandas por equipe foi considerado como constante, independente do ponto atendido, mas como há pontos para serem atendidos de distâncias muito diferentes, provavelmente não será correto considerar um número constante de ocorrências atendidas por equipes.

Por exemplo, se uma equipe atende o interior de São Paulo todos os dias atenderá no fim do mês menos ocorrências do que uma outra equipe que atenda somente a capital.

Outra questão levantada relacionada com as equipes de atendimento é a questão de aumentar a capacidade daquela equipe através do pagamento de horas-extras, possibilidade que não foi considerada no modelo inicial.

Para contornar esses dois problemas ao invés de utilizarmos uma capacidade de atendimento por equipes, utilizaremos uma capacidade em horas de trabalho, sendo que para cada ponto de demanda haverá um tempo de atendimento específico, e será possível contratar horas-extras caso necessário.

Assim, modificaremos a restrição da capacidade de atendimento por uma considerando horas disponíveis, ficando a restrição da seguinte maneira:

Onde tínhamos $AM \cdot n_j - \sum_{i=1}^n w_{ij} \geq 0 \quad \forall j$, teremos:

$$T \cdot n_j + h_j - \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot t_{ij} \geq 0 \quad \forall j$$

Onde:

T: é o tempo mensal disponível por equipe externa;

h_j : é número de horas-extras contratadas para a base j;

t_{ij} : é tempo médio necessário para atender a demanda do ponto i a partir da base j .

Além disso, deveremos adicionar na função objetivo os custos de horas-extras:

$$C.Horas-Extras = \sum_{j=1}^m ch \cdot h_j$$

Devemos considerar ainda que, para evitar que ao invés de se contratar uma equipe contrate-se apenas horas-extras, colocaremos uma restrição:

- Caso haja horas-extras, deve haver equipes na base, e além disso deve haver um número máximo de horas-extras para cada equipe, dessa forma, adicionaremos a seguinte restrição que atende esses requisitos:

$$H_m \cdot n_j - h_j \geq 0 \quad \forall j$$

Onde:

H_m : é o tempo máximo mensal de horas-extras por equipe externa;

ch : custo unitário de hora-extra.

b) A constante de custo de base aberta

Como as bases podem estar espalhadas pelo estado, e dependendo da localidade pode ter custos diferentes, como por exemplo, uma base localizada na capital e outra em São José do Rio Preto terão custos diferentes, não podemos considerar os custos como uma constante.

Para resolver esse problema, ao invés de considerar uma constante CBA para todas as bases, consideraremos um CBA_j para cada base j .

Com essa modificação, teremos a seguinte mudança na função objetivo:

Onde tínhamos $\sum_{j=1}^m b_j \cdot CBA$ passaremos a ter:

$$\sum_{j=1}^m b_j \cdot CBA_j.$$

Onde:

CBA_j : é o custo de ter a base j aberta.

c) Componentes do custo de transporte

Além do custo de transporte que varia com a distância percorrida para se fazer o atendimento, há outras como pagamento de estacionamento e pedágios, que existem, mas independem da distância percorrida.

Para contornar esse problema, vamos modificar o custo de transportes na função objetivo da seguinte maneira:

Onde tínhamos $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m 2 \cdot ct \cdot d_{ij} w_{ij}$, teremos:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (2 \cdot ct \cdot d_{ij} + CFA_{ij}) \cdot w_{ij}$$

Onde:

CFA_{ij} : é o custo fixo de atendimento do ponto i a partir da base j , que independe da distância entre os pontos.

Após as modificações citadas, teremos o problema escrito da seguinte forma:

Min. CT=

$$\sum_{j=1}^m b_j \cdot CBA_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (2 \cdot ct \cdot d_{ij} + CFA_{ij}) \cdot w_{ij} + \sum_{j=1}^m n_j \cdot CEE + \sum_{i=1}^n a_i \cdot CES + \sum_{j=1}^m ch \cdot h_j$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m w_{ij} + AM \cdot a_i \geq D_i \quad \forall i$$

$$T \cdot n_j + h_j - \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot t_{ij} \geq 0 \quad \forall j$$

$$Hm \cdot n_j - h_j \geq 0 \quad \forall j$$

$$NNN \cdot b_j - n_j \geq 0 \quad \forall j$$

$$a_i, b_j \in \{0, 1\}$$

$$w_{ij}, n_j \in \mathbb{N}$$

Onde temos:

b_j : é uma variável binária que é 1 se a base j estiver aberta e 0, caso contrário;

CBA_j : é o custo de ter a base j aberta.

ct : é o custo médio de transporte por unidade de distância;

d_{ij} : é a distância entre o ponto de demanda i e a base j ;

w_{ij} : é a demanda da base i atendida pela base j ;

n_j : é o número de equipes alocadas na base j ;

CEE: custo unitário médio de cada equipe externa;

CFA_{ij} : é o custo fixo de atendimento do ponto i a partir da base j , que independe da distância entre os pontos.

a_i : variável binária que, se igual a 1, indica que o ponto i é atendido por uma equipe subcontratada, e 0, caso contrário;

CES: é o custo de uma equipe subcontratada para atendimento de um único ponto de demanda;

D_i : demanda do ponto i ;

NNN: um número grande o suficiente para fazer com que se n_j for maior que 0, necessariamente b_j será 1;

H_m : é o tempo máximo mensal de horas-extras por equipe externa;

T : é o tempo mensal disponível por equipe externa;

h_j : é número de horas-extras contratadas para a base j ;

t_{ij} : é tempo médio necessário para atender a demanda do ponto i a partir da base j ;

m : número de bases de atendimento;

n : número de pontos de demanda;

ch : custo unitário de hora-extra.

i: índice do ponto de demanda;

j: índice da base de atendimento.

Este novo modelo é a concepção final que será utilizada para a resolução do problema da localização das equipes de manutenção.

Como o modelo não se propõe a realizar a roteirização das equipes, a limitação da necessidade de uma determinada demanda ser atendida com uma equipe saindo de uma base, não podendo ser atendida saindo de um ponto vizinho ainda existe, no entanto as limitações levantadas pela empresa foram levadas em consideração, o modelo foi adaptado e fizemos as modificações necessárias para contornar esses problemas.

6. Levantamento de Dados

Até agora modelamos o problema da localização de equipes de manutenção, no entanto, para podermos obter resultados práticos a partir do modelo, devemos alimentá-lo com dados reais da situação da empresa. Para isso, nesse capítulo discutiremos e levantaremos os dados do problema.

Para fazer o levantamento de dados vamos dividi-los nos seguintes grupos: candidatas a bases e pontos de demanda, distâncias entre os pontos, tempos de deslocamento entre os pontos, demandas dos pontos, custos de bases abertas, custos de equipes e horas-extras, custos de transporte.

6.1. Candidatas a Bases e Pontos de Demanda

Os pontos de demanda no estado de São Paulo são as quarenta e cinco lojas próprias da Claro no estado, a lista de lojas é mostrada na Tabela 9.

Tabela 9: Lojas Próprias da Claro no Estado de São Paulo

Cod Loja	Cod Loja
1 SHOP DOM PEDRO CAMPINAS	24 SHOP ANÁLIA FRANCO
2 ARAÇATUBA	25 SHOP ARICANDUVA
3 BAURU	26 SHOP BOURBON POMPEIA
4 FRANCA	27 SHOP CENTRAL PLAZA
5 PRUDENSHOPPING	28 SHOP CIDADE JARDIM
6 RIBEIRÃO PRETO	29 SHOP ELDORADO
7 SHOP IGUAATEMI CAMPINAS	30 SHOP GUARATINGUETA
8 SHOP IGUAATEMI SÃO CARLOS	31 SHOP HIGIENÓPOLIS
9 SHOP PIRACICABA	32 SHOP IBIRAPUERA
10 SHOP PRAIA GRANDE	33 SHOP INTERLAGOS
11 SHOP RIBEIRÃO PRETO	34 SHOP JARDIM SUL
12 SHOP SANTOS	35 SHOP MARKET PLACE
13 SHOP SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	36 SHOP METROPOLE
14 SHOP SÃO JOSÉ DOS CAMPOS	37 SHOP MORUMBI
15 SHOP TAUBATÉ	38 SHOP OSASCO
16 SOROCABA	39 SHOP PLAZA SUL
17 SHOP ABC PLAZA	40 SHOP SANTA CRUZ
18 SHOP CONTINENTAL	41 SHOP TATUAPÊ I
19 SHOP IGUAATEMI SP	42 SHOP TATUAPÊ II
20 SHOP.CENTER NORTE	43 SHOP VILLA LOBOS
21 CENTRO	44 SHOP WEST PLAZA
22 PAULISTA	45 SHOP MAXI JUNDIAI
23 RUA JOÃO CACHOEIRA	

Podemos ver a distribuição das lojas(marcadores amarelos) no estado de São Paulo na Figura 10. A lista completa de lojas e seus respectivos endereços pode ser encontrada no Apêndice A – Relação de Lojas da Claro em São Paulo.

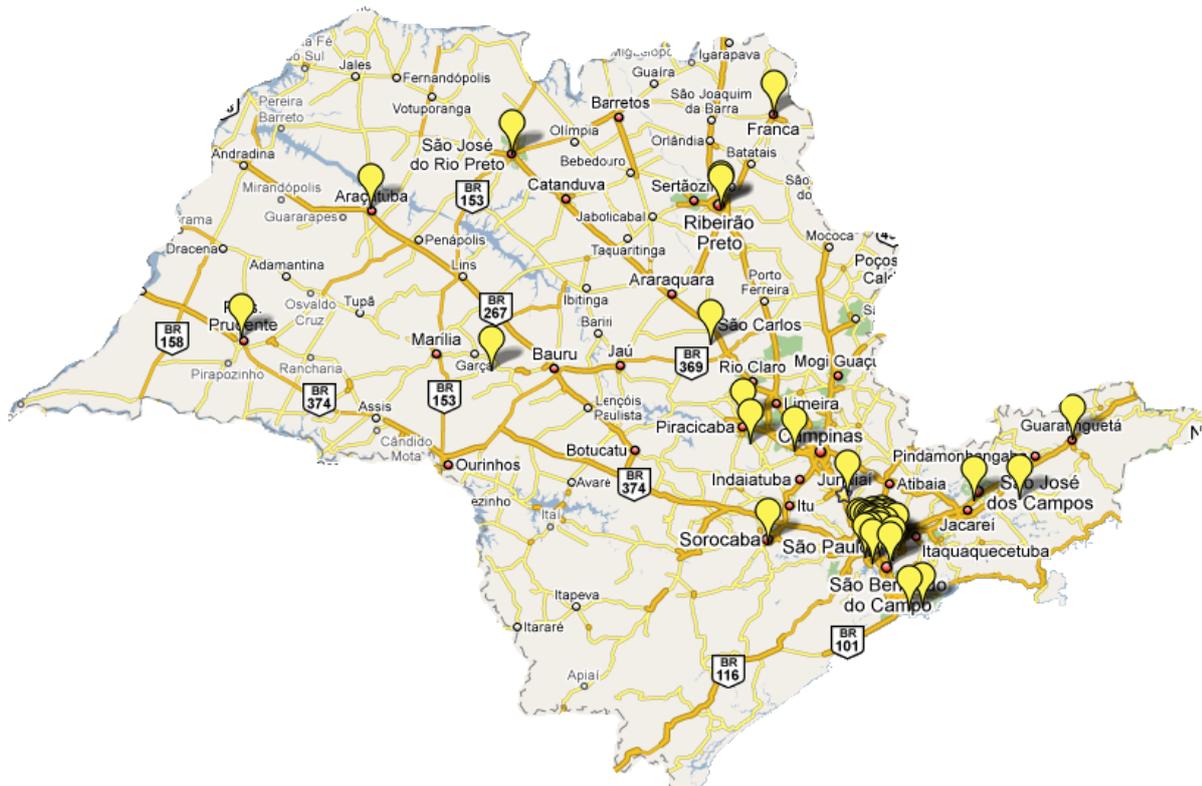


Figura 10: Distribuição das Lojas da Claro no Estado de São Paulo (Elaborado pelo autor utilizando maps.google.com)

Como candidatas a bases de atendimento temos quatro localidades: São Paulo, Campinas, São José do Rio Preto e Ribeirão Preto, sendo que as duas primeiras já existem e as últimas poderiam ser implantadas caso necessário. As bases e seus endereços podem ser vistas na Tabela 10.

Tabela 10: Candidatas a Bases de Atendimento

Cod.	Base-Cidade	Localização
1	São Paulo	Rua Florida, 1970, São Paulo
2	Campinas	Av. John Boyd Dunlop, 1500 - Campinas - SP
3	São José do Rio Preto	São José do Rio Preto - SP
4	Ribeirão Preto	Ribeirão Preto - SP

6.2. Distâncias Entre os Pontos

Um dos principais elementos do modelo apresentado é a distância entre os pontos. Com o advento dos sites de mapas na internet essa tarefa torna-se muito simples para alguns pontos, no entanto o número de combinações para as quais temos que calcular a distância é $m(\text{número de bases de atendimento}) \times n(\text{número de pontos de demanda})$ que para esse problema é $45 \times 4 = 180$ combinações para se calcular, esse número tende a aumentar com a inclusão de bases e pontos de demanda.

Para simplificar esse cálculo, vamos utilizar uma solução proposta por Ballou (2006), que é a de calcular a distância entre dois pontos na superfície da Terra utilizando suas latitudes e longitudes, através da seguinte fórmula:

$$D_{A-B} = 3959 \{ \arccos[\sin(LAT_A) \times \sin(LAT_B) + \cos(LAT_A) \times \cos(LAT_B) \times \cos|LONG_B - LONG_A|] \}$$

Onde:

3959: raio da Terra em milhas.

D_{A-B} : distância em linha entre os pontos A e B na superfície da Terra.

LAT_A e LAT_B : latitude em radianos dos pontos A e B, respectivamente.

$LONG_A$ e $LONG_B$: longitude em radianos dos pontos A e B, respectivamente.

Essa fórmula dá a distância em milhas em linha seguindo a circunferência da Terra entre dois pontos. Para que se converta para quilômetros deve-se, segundo Ballou (2006), multiplicar por 1,61 o resultado obtido.

Outro ponto ressaltado por Ballou (2006) é que as distâncias calculadas sempre vão ser menores do que as distâncias reais, uma vez que não se percorre o percurso em linha reta, mas através de rodovias sinuosas, para corrigir isso deve-se multiplicar a distância obtida através da fórmula por um fator de sinuosidade que varia de país para país, de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11: Fatores de Sinuosidade para Vários Países (Fonte: Ballou(2006))

Fatores de circuito em países selecionados (e nas regiões dos Estados Unidos)			
<i>País</i>	<i>Número de pontos</i>	<i>Fator médio de circuito</i>	<i>Desvio-padrão</i>
África do Sul	91	1,23	0,12
Arábia Saudita	21	1,34	0,19
Argentina	66	1,22	0,15
Austrália	77	1,28	0,17
Bielorússia	21	1,12	0,05
Brasil	120	1,23	0,11
Canadá	49	1,30	0,10
China	66	1,33	0,34
Egito	21	2,10	1,96
Estados Unidos ^a	299	1,20	0,17
Alasca	55	1,79	0,87
Região Leste ^b	143	1,20	0,16
Região Oeste ^c	156	1,21	0,17
Europa	199	1,46	0,58
Alemanha	31	1,32	0,95
Espanha	61	1,58	0,80
França	9	1,65	0,46
Inglaterra	37	1,40	0,66
Itália	11	1,18	0,10
Hungria	36	1,35	0,25
Índia	105	1,31	0,21
Indonésia	16	1,43	0,34
Japão	36	1,41	0,15
México	49	1,46	0,43
Nova Zelândia	4	2,05	1,63
Polônia	45	1,21	0,09
Rússia	78	1,37	0,26
Tailândia	28	1,42	0,44
Ucrânia	36	1,29	0,12

^aAlasca e Havaí excluídos.

^bA leste do Rio Mississippi.

^cA oeste do Rio Mississippi.

Fonte: Ronald H. Ballou, Handoko Rahardja and Noriaki Sakai, "Selected Countries Circuitry Factors for Road Travel Distance Estimation", *Transportation Research*, Part A, Vol. 36 (2002), págs. 843-848.

No Brasil esse fator de sinuosidade é 1,23, porém isso foi calculado no Brasil como um todo, mas como estamos analisando apenas o estado de São Paulo, esse número pode ser diferente, devido à malha rodoviária do estado, para isso há outra solução proposta por Ballou (2006), em que, para uma região específica, pode-se pegar uma amostra de pontos, calcular a distância real e pela fórmula, calculando o fator de sinuosidade através da média das relações entre distâncias reais e calculadas.

Para aplicar esse método, obtivemos através do site maps.google.com a latitude e longitude dos pontos de demanda, conforme Apêndice B - Latitude e Longitude dos Pontos de Demanda.

Os dados de latitude e longitude das bases de atendimento podem ser vistas na Tabela 12.

Tabela 12: Latitude e Longitude das Bases de Atendimento

Base	Latitude (graus)	Longitude (graus)	Latitude (rad)	Longitude (rad)
1	-23,61130	-46,68865	-0,41209	-0,81487
2	-22,93575	-47,13991	-0,40030	-0,82275
3	-20,81264	-49,38215	-0,36325	-0,86188
4	-21,13225	-47,80408	-0,36883	-0,83434

Para utilizar o método de Ballou (2006) para calcular o coeficiente de sinuosidade, foram sorteados dez pontos de demanda, mostrados na Tabela 13.

Tabela 13: Pontos de Demanda Sorteado para Cálculo do Coeficiente de Sinuosidade

Num.	Loja	Endereço
1	18 AV. LEÃO MACHADO	100, São Paulo, SP, BR
2	16 AV. IZORAIDA MARQUES PERES	401, Sorocaba, SP, BR
3	37 AV. ROQUE PETRONI JR	1089, São Paulo, SP, BR
4	40 R. DOMINGOS DE MORAES	2564, São Paulo, SP, BR
5	3 RUA HENRIQUE SAVI	55, Bauru, SP, BR
6	33 AV. INTERLAGOS	2255, São Paulo, SP, BR
7	10 AV. AYRTON SENNA	1511, Praia Grande, SP, BR
8	5 AV. MANOEL GOULART	2400, Presidente Prudente, SP, BR
9	13 AV. JOSE MUNIA	4775, São José do Rio Preto, SP, BR
10	29 AV. REBOUÇAS	3970, São Paulo, SP, BR

Para calcular o coeficiente de sinuosidade vamos calcular a distância entre os dez pontos de demanda sorteados e as quatro bases de atendimento, totalizando assim, quarenta pontos para o cálculo. Utilizamos a fórmula de Ballou (2006), e para calcular as distâncias reais recorreremos ao site maps.google.com, dessa forma, obtivemos os dados de distâncias reais mostradas na Tabela 14.

Tabela 14: Distâncias Reais (em km) entre Pontos de Demanda e Bases de Atendimento

Lojas	Bases			
	1	2	3	4
1	14,5	94,4	437,0	316,0
2	101,0	98,8	436,0	315,0
3	1,8	104,0	447,0	326,0
4	9,0	105,0	448,0	326,0
5	323,0	258,0	225,0	220,0
6	14,4	116,0	459,0	337,0
7	72,9	171,0	514,0	392,0
8	554,0	523,0	275,0	459,0
9	444,0	355,0	2,1	214,0
10	4,2	100,0	443,0	321,0

Os valores calculados através da fórmula proposta por Ballou (2006) são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Distâncias Calculadas (em km) entre Pontos de Demanda e Bases de Atendimento

Lojas	Bases			
	1	2	3	4
1	9,9	78,6	407,1	289,5
2	79,7	74,4	361,4	269,4
3	1,5	88,7	417,2	299,4
4	5,5	89,9	419,5	299,5
5	280,6	207,4	173,1	186,2
6	7,1	94,8	422,9	305,6
7	51,5	139,7	468,0	349,4
8	511,3	447,7	254,9	388,3
9	416,1	329,9	1,7	167,9
10	4,2	84,2	413,4	294,6

A partir desses dados, fizemos uma tabela com as distâncias reais e calculadas e a relação entre elas, como pode ser visto na Tabela 16.

Tabela 16: Distâncias Reais e Calculadas (em km)

Calculada	Real	Real/ Calculada	Calculada	Real	Real/ Calculada
9,9	14,5	1,47	407,1	437	1,07
79,7	101	1,27	361,4	436	1,21
1,5	1,8	1,21	417,2	447	1,07
5,5	9	1,64	419,5	448	1,07
280,6	323	1,15	173,1	225	1,30
7,1	14,4	2,02	422,9	459	1,09
51,5	72,9	1,42	468,0	514	1,10
511,3	554	1,08	254,9	275	1,08
416,1	444	1,07	1,7	2,1	1,24
4,2	4,23	1,00	413,4	443	1,07
78,6	94,4	1,20	289,5	316	1,09
74,4	98,8	1,33	269,4	315	1,17
88,7	104	1,17	299,4	326	1,09
89,9	105	1,17	299,5	326	1,09
207,4	258	1,24	186,2	220	1,18
94,8	116	1,22	305,6	337	1,10
139,7	171	1,22	349,4	392	1,12
447,7	523	1,17	388,3	459	1,18
329,9	355	1,08	167,9	214	1,27
84,2	100	1,19	294,6	321	1,09

Para facilitar a visualização dos dados, foi montado um diagrama da dispersão mostrado na Figura 11, incluindo a linha que mostra a função $y=x$.

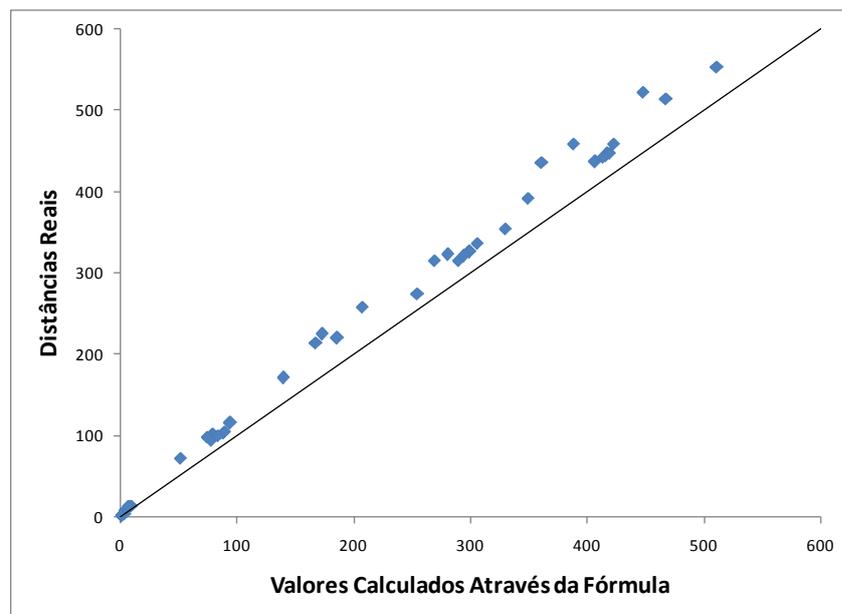


Figura 11: Diagrama de Dispersão de Distâncias Reais e Calculadas

Com os dados da Tabela 16 calculamos a média da relação entre as distâncias reais e calculadas e seu desvio padrão:

Média = 1,200

Desvio Padrão = 0,182

Dessa forma, o coeficiente de sinusidade que será utilizado para o cálculo das distâncias será 1,200.

Utilizando a fórmula de Ballou (2006) podemos calcular as distâncias entre os pontos, conforme Tabela 17.

Tabela 17: Distâncias Calculadas (em km)

Distâncias					Distâncias				
Bases					Bases				
Lojas	1	2	3	4	Lojas	1	2	3	4
1	92,6	12,5	330,1	206,1	24	14,2	91,6	422,0	299,2
2	469,5	390,9	118,4	273,7	25	19,2	95,3	425,9	301,7
3	280,6	207,4	173,1	186,2	26	9,3	80,9	410,7	290,5
4	348,7	267,0	206,9	76,5	27	11,1	93,2	423,3	301,7
5	511,3	447,7	254,9	388,3	28	5,5	82,9	412,0	293,3
6	293,4	206,6	168,4	6,0	29	4,2	84,2	413,4	294,6
7	87,0	12,5	335,8	211,7	30	177,5	201,1	487,7	329,1
8	216,2	128,2	204,3	98,7	31	8,2	83,7	413,6	293,0
9	140,9	58,3	276,2	175,5	32	2,1	89,2	418,3	299,4
10	51,5	139,7	468,0	349,4	33	7,1	94,8	422,9	305,6
11	291,2	204,3	168,7	8,6	34	5,4	87,6	415,3	298,9
12	55,9	143,4	472,9	351,6	35	1,6	88,5	417,0	299,2
13	416,1	329,9	1,7	167,9	36	16,8	103,8	433,4	313,0
14	89,0	129,4	447,5	304,2	37	1,5	88,7	417,2	299,4
15	130,1	159,3	462,4	310,6	38	12,6	76,2	404,5	287,4
16	79,7	74,4	361,4	269,4	39	6,3	92,5	422,0	302,1
17	16,5	100,8	430,9	309,1	40	5,5	89,9	419,5	299,5
18	9,9	78,6	407,1	289,5	41	14,7	89,0	419,5	296,4
19	4,0	84,9	414,1	295,1	42	14,1	88,5	419,0	296,0
20	12,7	83,9	414,3	292,1	43	7,5	80,6	409,7	291,2
21	9,0	85,4	415,5	294,3	44	9,5	81,2	411,1	290,7
22	6,3	85,7	415,5	295,3	45	49,4	40,5	371,2	249,4
23	3,2	86,2	415,5	296,4					

A partir dessas distâncias calculadas, vamos multiplicá-las pelo fator de sinusidade calculado (1,200) para obter finalmente as distâncias corrigidas, conforme Tabela 18.

Tabela 18: Distâncias Corrigidas (em km)

Dist. - Corrigidas					Dist. - Corrigidas				
Lojas	Bases				Lojas	Bases			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	111,2	15,0	396,1	247,3	24	17,1	109,9	506,4	359,0
2	563,4	469,1	142,0	328,4	25	23,0	114,4	511,1	362,1
3	336,7	248,9	207,7	223,4	26	11,2	97,1	492,8	348,6
4	418,4	320,3	248,3	91,8	27	13,3	111,8	508,0	362,1
5	613,6	537,3	305,9	466,0	28	6,6	99,4	494,4	351,9
6	352,1	247,9	202,1	7,2	29	5,1	101,1	496,0	353,5
7	104,4	15,0	403,0	254,1	30	213,0	241,3	585,3	394,9
8	259,4	153,9	245,2	118,4	31	9,9	100,4	496,3	351,6
9	169,1	70,0	331,4	210,6	32	2,5	107,0	501,9	359,2
10	61,8	167,6	561,5	419,3	33	8,6	113,7	507,5	366,7
11	349,5	245,1	202,4	10,3	34	6,4	105,2	498,4	358,7
12	67,1	172,1	567,5	421,9	35	1,9	106,2	500,3	359,1
13	499,3	395,9	2,0	201,5	36	20,2	124,5	520,0	375,6
14	106,8	155,3	537,0	365,0	37	1,8	106,4	500,6	359,3
15	156,2	191,2	554,9	372,8	38	15,1	91,4	485,3	344,8
16	95,6	89,2	433,7	323,3	39	7,6	111,0	506,4	362,6
17	19,8	121,0	517,1	370,9	40	6,6	107,9	503,4	359,4
18	11,9	94,3	488,5	347,4	41	17,7	106,8	503,4	355,7
19	4,8	101,8	496,9	354,1	42	16,9	106,1	502,8	355,2
20	15,3	100,7	497,2	350,5	43	9,1	96,8	491,6	349,4
21	10,8	102,4	498,5	353,2	44	11,4	97,5	493,3	348,8
22	7,5	102,9	498,6	354,3	45	59,2	48,6	445,4	299,2
23	3,9	103,5	498,6	355,6					

6.3. Tempos de Deslocamento e Atendimento entre os Pontos

Outro fator relevante para o problema é o tempo de atendimento entre os pontos, que será calculado com base na distância percorrida para se fazer o atendimento, somado de um tempo médio de atendimento, que, segundo o gerente da Conbras é de uma hora e meia.

Para se calcular o tempo de deslocamento, utilizaremos a seguinte regra:

- Para distâncias menores do que 30 km será considerada uma velocidade média de 25 km/h, por se tratar de uma zona urbana, essa velocidade foi estimada com base nos dados disponibilizados pela CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) de São Paulo, obtidos através do portal de notícias G1, conforme Anexo A – Reportagem do Portal de Notícias G1, pois a velocidade média pela manhã é 25km/h e a tarde é 15km/h, tendo uma média de

20km/h, nas principais vias, foi estimado um ganho de 25% ao se utilizar vias de menor movimento, chegando então aos 25km/h estimados.

- Para distâncias maiores do que 30 km, os primeiros 30 km serão percorridos a uma velocidade de 25 km/h, por se tratar de uma área urbana, e o restante do percurso terá uma velocidade de 80km/h, pois se tratará de um trecho rodoviário.

Os tempos, em horas, serão multiplicados por dois, pois são trechos de ida e volta, e será somado o tempo de atendimento de 1,5 horas (valor fornecido pela Conbras). Os tempos obtidos com o cálculo descrito acima são mostrados na Tabela 19.

Tabela 19: Tempos (horas) de Atendimento entre os Pontos

Tempos		Bases			
Lojas		1	2	3	4
1	5,9	2,7	13,1	9,3	
2	17,2	14,9	6,7	11,4	
3	11,6	9,4	8,3	8,7	
4	13,6	11,2	9,4	5,4	
5	18,5	16,6	10,8	14,8	
6	12,0	9,3	8,2	2,1	
7	5,8	2,7	13,2	9,5	
8	9,6	7,0	9,3	6,1	
9	7,4	4,9	11,4	8,4	
10	4,7	7,3	17,2	13,6	
11	11,9	9,3	8,2	2,3	
12	4,8	7,5	17,3	13,7	
13	15,6	13,0	1,7	8,2	
14	5,8	7,0	16,6	12,3	
15	7,1	7,9	17,0	12,5	
16	5,5	5,4	14,0	11,2	
17	3,1	6,2	16,1	12,4	
18	2,4	5,5	15,4	11,8	
19	1,9	5,7	15,6	12,0	
20	2,7	5,7	15,6	11,9	
21	2,4	5,7	15,6	12,0	
22	2,1	5,7	15,6	12,0	
23	1,8	5,7	15,6	12,0	
24	2,9	5,9	15,8	12,1	
25	3,3	6,0	15,9	12,2	
26	2,4	5,6	15,5	11,9	
27	2,6	5,9	15,8	12,2	
28	2,0	5,6	15,5	11,9	
29	1,9	5,7	15,6	12,0	
30	8,5	9,2	17,8	13,0	
31	2,3	5,7	15,6	11,9	
32	1,7	5,8	15,7	12,1	
33	2,2	6,0	15,8	12,3	
34	2,0	5,8	15,6	12,1	
35	1,7	5,8	15,7	12,1	
36	3,1	6,3	16,2	12,5	
37	1,6	5,8	15,7	12,1	
38	2,7	5,4	15,3	11,8	
39	2,1	5,9	15,8	12,2	
40	2,0	5,8	15,7	12,1	
41	2,9	5,8	15,7	12,0	
42	2,9	5,8	15,7	12,0	
43	2,2	5,6	15,4	11,9	
44	2,4	5,6	15,5	11,9	
45	4,6	4,4	14,3	10,6	

6.4. Demandas dos Pontos

Foram levantados os atendimentos por cada ponto de demanda no mês de agosto de 2009, de acordo com o gerente da Conbras responsável pelas operações na Claro, as demandas são estáveis, sendo sempre maiores do que um atendimento por ponto, que é um

atendimento preventivo mensal, ficando menor do que três atendimentos por mês, raramente passando desse número. Além disso, a variação de um mês para outro é pequena, chega a um atendimento de diferença, mas na maioria não há variação. Mensalmente há, segundo o gerente, de 75 a 85 atendimentos no total.

Levando em consideração as observações do gerente, vamos utilizar as demandas levantadas de agosto de 2009 para o problema, de acordo com a Tabela 20, totalizando 81 atendimentos no mês. Para compensarmos possíveis variações dessa demanda de mês para mês, vamos reservar uma parte das horas-extras disponíveis, 20 horas mensais (calculadas supondo uma variação média de cinco atendimentos entre os meses, com um tempo médio de atendimento de quatro horas para cada uma), para atendimento dessas variações, permitindo apenas a utilização pelo modelo das horas-extras restantes.

Tabela 20: Demandas por Ponto de Atendimento em Agosto de 2009

Lojas	Demanda	Lojas	Demanda
1	1	24	2
2	3	25	1
3	3	26	1
4	2	27	2
5	2	28	1
6	1	29	2
7	1	30	2
8	1	31	1
9	2	32	1
10	3	33	2
11	1	34	1
12	2	35	2
13	2	36	2
14	1	37	2
15	2	38	2
16	2	39	1
17	2	40	3
18	2	41	2
19	1	42	2
20	3	43	1
21	2	44	2
22	2	45	3
23	2		

6.5. Custos de Bases Abertas

Para calcularmos os custos das bases abertas, foi considerado que uma base aberta é uma casa alugada que possui garagem, com custos de água, eletricidade, telefone e internet, aluguel e sistema de segurança e seguro patrimonial.

Para obter valores de aluguéis de imóveis consultamos sites da internet especializados em compra, venda e aluguel de imóveis. O cálculo do IPTU foi feito considerando um valor de 10% do aluguel.

Outros valores como custos de água, eletricidade, telefone e internet, sistema de segurança e seguro patrimonial foram fornecidos pela Conbras com base nos custos das bases já existentes.

Fizemos os cálculos e os valores são apresentados na Tabela 21:

Tabela 21: Custos de Bases Abertas nas Diferentes Cidades

Sao Jose do Rio Preto	
Aluguel	R\$ 1.000,00
IPTU	R\$ 100,00
Segurança + Seguro	R\$ 150,00
Telefone + Internet	R\$ 100,00
Água	R\$ 40,00
Eletricidade	R\$ 40,00
Total	R\$ 1.430,00
Campinas	
Aluguel	R\$ 1.500,00
IPTU	R\$ 150,00
Segurança + Seguro	R\$ 150,00
Telefone + Internet	R\$ 100,00
Água	R\$ 40,00
Eletricidade	R\$ 40,00
Total	R\$ 1.980,00
Ribeirao Preto	
Aluguel	R\$ 1.000,00
IPTU	R\$ 100,00
Segurança + Seguro	R\$ 150,00
Telefone + Internet	R\$ 100,00
Água	R\$ 40,00
Eletricidade	R\$ 40,00
Total	R\$ 1.430,00
Sao Paulo	
Aluguel	R\$ 2.000,00
IPTU	R\$ 200,00
Segurança + Seguro	R\$ 150,00
Telefone + Internet	R\$ 100,00
Água	R\$ 40,00
Eletricidade	R\$ 40,00
Total	R\$ 2.530,00

6.6. Custos de Equipes e Horas-Extras

Uma equipe de atendimento é composta por dois técnicos e um carro alugado, portanto para que tenhamos seu custo total devemos considerar custos dos técnicos e do carro.

Os custos dos técnicos são compostos pelos salários, encargos, vale-transporte e vale alimentação. O salário dos técnicos é R\$ 1.350,00, os encargos sobre salários são de 65%, já acrescidos os 8,3% de férias, o valor de vale-alimentação é de R\$ 192,00 por mês, já o vale-transporte é calculado como sendo ida e volta em 22 dias úteis no mês, e o valor de cada trecho é R\$ 2,30 (valor de ônibus para a cidade de São Paulo), no entanto o funcionário contribui com 6% de seu salário para o vale transporte, havendo assim um desconto de R\$ 81,00 no total do vale transporte. Todos os valores foram fornecidos pela Conbras e são mostrados na Tabela 22.

Tabela 22: Custos de técnicos de Equipes Externas

Componente	Valor
Salario	R\$ 1.350,00
Encargos	R\$ 877,50
Vale Transporte	R\$ 101,20
Desc. V. Transp.	R\$ 81,00
Vale Alimentacao	R\$ 192,00
Total	R\$ 2.439,70

Os custos do carro são compostos pelo custo de aluguel do veículo de R\$ 1.200,00, e seguro de R\$ 100,00, esses valores foram fornecidos pela Conbras e os custos de aluguel do veículo já consideram os custos de manutenção que é de responsabilidade da locadora. O **custo total do carro** é de **R\$ 1.300,00**.

Temos então na Tabela 23 os custos totais por equipe de manutenção.

Tabela 23: Custos Totais por Equipe de Manutenção

Composição da Equipe	
2 Tecnicos	R\$ 4.879,40
1 Carro	R\$ 1.300,00
Total	R\$ 6.179,40

Para subcontratadas, o custo é **R\$ 800,00** por até cinco atendimentos para cada ponto de demanda (fornecido pela Conbras, baseado em seus contratos).

Para custos de horas-extras, consideraremos o custo de salários e encargos dos técnicos por hora trabalhada e acrescentaremos 50% na hora-extra conforme CLT (Consolidação das Leis Trabalhistas).

Os técnicos trabalham 44 horas por semana, e quatro semanas por mês, totalizando 176 horas mensais, temos então os custos mostrados na Tabela 24.

Tabela 24: Custos de Horas-Extras dos Técnicos de Manutenção

Componentes	Valor
Salario	R\$ 1.350,00
Encargos	R\$ 877,50
Total	R\$ 2.227,50
Horas mensais	176
Custo por hora	R\$ 12,66
Custo hora-extra	R\$ 18,98
Custo para 2 técnicos	R\$ 37,97

Vamos utilizar como custo de hora-extra o valor arredondado de R\$ 38,00, além disso, de acordo com a Conbras o máximo de horas-extras permitidas pela política da empresa é de 44 horas por mês (25% das horas trabalhadas mensais), mas como discutido anteriormente, vamos reservar 20 horas-extras mensais, das 44 disponíveis para absorção das variações da demanda ao longo do tempo.

6.7. Custos de Transportes

Como custos de transportes, consideraremos uma parte de custos variáveis com a distância percorrida, que é o custo de combustível e outra parte fixa composta por custos de pedágios e estacionamento.

Para cálculo do custo de combustível consideraremos um custo de gasolina de R\$ 2,50 por litro e um rendimento de 10 quilômetros por litro de gasolina, tendo então um **custo de R\$ 0,25 de gasolina por quilômetro rodado.**

Para o cálculo dos custos fixos foi considerado um custo de estacionamento de R\$ 5,00 (valor fornecido pela área de operações da Conbras) e um custo de pedágio que varia de acordo com os pontos de demanda e bases de atendimento. Para obter esses valores,

consultamos o site www.apontador.com.br, colocando cidades de origem e destino. Como para efeitos de pedágios o que importa são as cidades temos os 45 pontos de demanda localizados em 20 cidades e quatro cidades das bases de atendimento, os valores obtidos para os pedágios de ida e volta são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25: Valores de Pedágios (em R\$) para Diversas Cidades no Estado de São Paulo

Cidades	São Paulo	Campinas	São José do Rio Preto	Ribeirão Preto
Campinas	24	0	95	60
Araçatuba	90	100	0	60
Bauru	95	90	0	60
Franca	110	80	0	60
Presidente Prudente	80	45	0	60
Ribeirão Preto	80	60	60	0
São Carlos	60	35	28	110
Piracicaba	35	10	80	45
Praia Grande	17	30	132	97
Santos	17	30	132	97
São José do Rio Preto	115	95	0	60
São José dos Campos	16	9	105	65
Taubaté	16	9	105	65
Sorocaba	35	20	90	50
Santo André	0	24	115	80
São Paulo	0	24	115	80
Guarulhos	0	24	115	80
São Bernardo do Campo	0	24	115	80
Osasco	0	24	115	80
Jundiá	12	12	105	70

Os custos totais de acordo com a base de atendimento e o ponto de demanda considerando os custos de pedágio e estacionamento são mostrados na Tabela 26.

Tabela 26: Valores de Custos Fixos de Transporte entre Pontos de Demanda e Bases (em R\$)

C. Fixos Lojas	Bases				C. Fixos Lojas	Bases			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	29,0	5,0	100,0	65,0	24	5,0	29,0	120,0	85,0
2	95,0	105,0	5,0	65,0	25	5,0	29,0	120,0	85,0
3	100,0	95,0	5,0	65,0	26	5,0	29,0	120,0	85,0
4	115,0	85,0	5,0	65,0	27	5,0	29,0	120,0	85,0
5	85,0	50,0	5,0	65,0	28	5,0	29,0	120,0	85,0
6	85,0	65,0	65,0	5,0	29	5,0	29,0	120,0	85,0
7	29,0	5,0	100,0	65,0	30	5,0	29,0	120,0	85,0
8	65,0	40,0	33,0	115,0	31	5,0	29,0	120,0	85,0
9	40,0	15,0	85,0	50,0	32	5,0	29,0	120,0	85,0
10	22,0	35,0	137,0	102,0	33	5,0	29,0	120,0	85,0
11	85,0	65,0	65,0	5,0	34	5,0	29,0	120,0	85,0
12	22,0	35,0	137,0	102,0	35	5,0	29,0	120,0	85,0
13	120,0	100,0	5,0	65,0	36	5,0	29,0	120,0	85,0
14	21,0	14,0	110,0	70,0	37	5,0	29,0	120,0	85,0
15	21,0	14,0	110,0	70,0	38	5,0	29,0	120,0	85,0
16	40,0	25,0	95,0	55,0	39	5,0	29,0	120,0	85,0
17	5,0	29,0	120,0	85,0	40	5,0	29,0	120,0	85,0
18	5,0	29,0	120,0	85,0	41	5,0	29,0	120,0	85,0
19	5,0	29,0	120,0	85,0	42	5,0	29,0	120,0	85,0
20	5,0	29,0	120,0	85,0	43	5,0	29,0	120,0	85,0
21	5,0	29,0	120,0	85,0	44	5,0	29,0	120,0	85,0
22	5,0	29,0	120,0	85,0	45	17,0	17,0	110,0	75,0
23	5,0	29,0	120,0	85,0					

7. Resolução do Problema

Neste capítulo utilizaremos os dados levantados no capítulo anterior para obter a solução para o modelo revisado apresentado no Capítulo 5 e compararemos a solução obtida com a operação atual da Conbras. Posteriormente mudaremos alguns parâmetros do modelo para fazermos uma análise de sensibilidade para verificarmos o comportamento do modelo em outras situações.

7.1. Solução do Modelo Revisado

Para a resolução do problema através do modelo revisado apresentado no Capítulo 5 decidimos utilizar um software versão para estudante, para que não haja necessidade de compra desse software.

Vamos escolher entre três possibilidades, os softwares LINDO e What's Best da empresa LINDO Systems e o software XPress da empresa Dash Optimization. As versões de estudante têm limitações com relação ao tamanho máximo para os problemas a serem resolvidos, esses valores, mostrados na Tabela 27, podem ser encontrados no site das empresas.

Tabela 27: Limitações de Softwares de Otimização nas Versões para Estudante

Software	Restrições	Variáveis	
		Reais	Inteiras
Lindo	150	300	50
What's Best	150	300	50
XPress	400	800	

Para escolher qual destes softwares será utilizado, deve-se verificar quantas restrições e variáveis existem no problema a ser resolvido. Para o modelo revisado apresentado no Capítulo 5, vamos calcular essas quantidades. Temos o seguinte modelo:

Min. CT=

$$\sum_{j=1}^m b_j \cdot CBA_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (2 \cdot ct \cdot d_{ij} + CFA_{ij}) \cdot w_{ij} + \sum_{j=1}^m n_j \cdot CEE + \sum_{i=1}^n a_i \cdot CES + \sum_{j=1}^m ch \cdot h_j$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m w_{ij} + AM \cdot a_i \geq D_i \quad \forall i \quad (1)$$

$$T \cdot n_j + h_j - \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot t_{ij} \geq 0 \quad \forall j \quad (2)$$

$$Hm \cdot n_j - h_j \geq 0 \quad \forall j \quad (3)$$

$$NNN \cdot b_j - n_j \geq 0 \quad \forall j \quad (4)$$

$$a_i, b_j \in \{0,1\}$$

$$w_{ij}, n_j \in \mathbb{N}$$

O significado dos símbolos no modelo foi explicado no Capítulo 5 e as suas variáveis de decisão são w_{ij} , com quantidade igual a $m \times n$ (sendo m o número de bases de atendimento e n o número de pontos de demanda), a_i com quantidade de n , além de b_j , n_j e h_j tendo as últimas três uma quantidade de m cada uma. Somando todas as quantidades, temos um total de variáveis que pode ser calculado da seguinte maneira:

$$\text{Total de Variáveis} = m \times n + n + 3 \times m$$

Para o problema a ser resolvido, temos quatro bases de atendimento ($m=4$) e quarenta e cinco pontos de demanda ($n=45$), e podemos então calcular o número de variáveis:

$$\text{Total de Variáveis} = 4 \times 45 + 45 + 3 \times 4 = 180 + 45 + 12 = 237$$

Para o número de restrições vamos verificar a quantidade de cada uma das restrições do problema. Para a **restrição (1)** há n restrições (pois deve ser atendida para qualquer que seja o ponto de demanda), já para as **restrições (2), (3) e (4)** cada uma delas repete-se m vezes (pois são válidas para todas as bases de atendimento). O número total de restrições pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Total de Restrições} = n + 3 \times m$$

Utilizando a fórmula para calcular o número de restrições do problema a ser resolvido ($m=4$ e $n=45$), temos:

$$\text{Total de Variáveis} = 45 + 3 \times 4 = 45 + 12 = 57$$

Verificamos enfim, que o problema que será resolvido tem 237 variáveis e 57 restrições e o único programa capaz de resolvê-lo, considerando os três citados na Tabela 27 em sua versão de estudante, é o programa XPress da empresa Dash Optimization.

Para poder inserir o problema no software escolhido há a necessidade de escrevê-lo em uma linguagem de programação chamada Mosel, que é capaz de ser compilada pelo programa, dessa forma, o programa escrito em Mosel pode ser visualizado no Apêndice C – Programação do Problema em Linguagem Mosel.

O problema foi inserido no software e obtivemos a saída apresentada no Apêndice D – Saída do Programa XPress, a solução obtida foi:

- Abertura apenas da base de São Paulo (uma equipe com 20,7 horas-extras);
- Atendimento através de equipes subcontratadas em nove dos pontos: 2 - ARAÇATUBA, 3 - BAURU, 4 - FRANCA, 5 - PRUDENSHOPPING, 6 - RIBEIRÃO PRETO, 9 - SHOP PIRACICABA, 13 - SHOP SÃO JOSE D O RIO PRETO, 15 - SHOP TAUBATÉ, 30 - SHOP GUARATINGUETA
- Atendimento a partir de São Paulo para os outros 36 pontos;
- Custo total de R\$ 18.468,50, sendo dividido de acordo com a Tabela 28:

Tabela 28: Componentes do Custo Total no Problema Otimizado

Componente	Custo
C_Bases_Abertas	R\$ 2.530,00
C_Transporte	R\$ 1.772,50
C_Equipes_Externas	R\$ 6.179,40
C_Equipes_Subcontratadas	R\$ 7.200,00
C_Horas-Extras	R\$ 786,60
Total	R\$ 18.468,50

A composição do custo total pode ser vista graficamente na Figura 12.

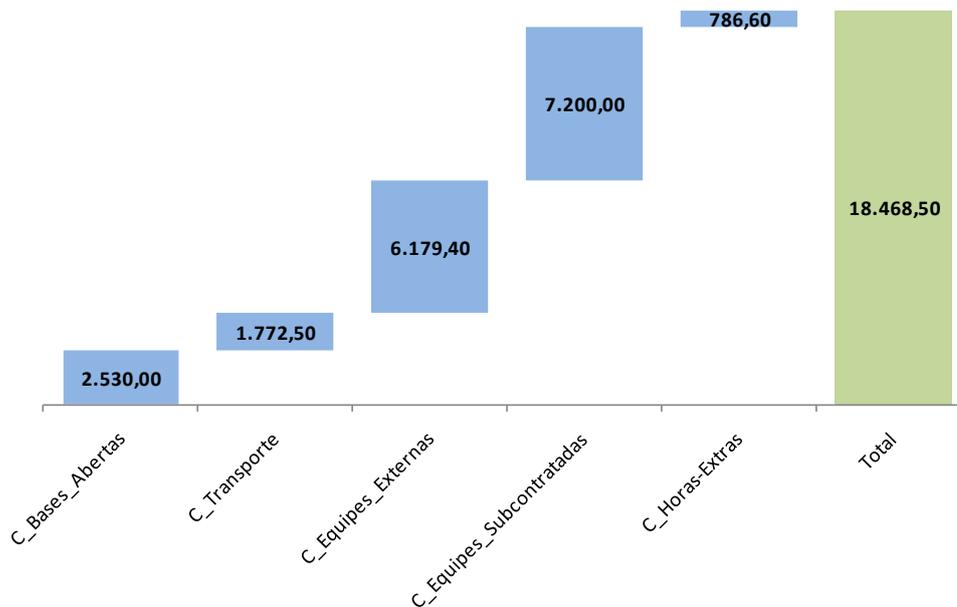


Figura 12: Gráfico da Composição dos Custos na Solução Obtida

A distribuição dos pontos e seu tipo de atendimento podem ser vistos na Figura 13, onde os pontos em roxo têm atendimento através de equipes subcontratadas, enquanto que os pontos em amarelo têm atendimento a partir da base em São Paulo.

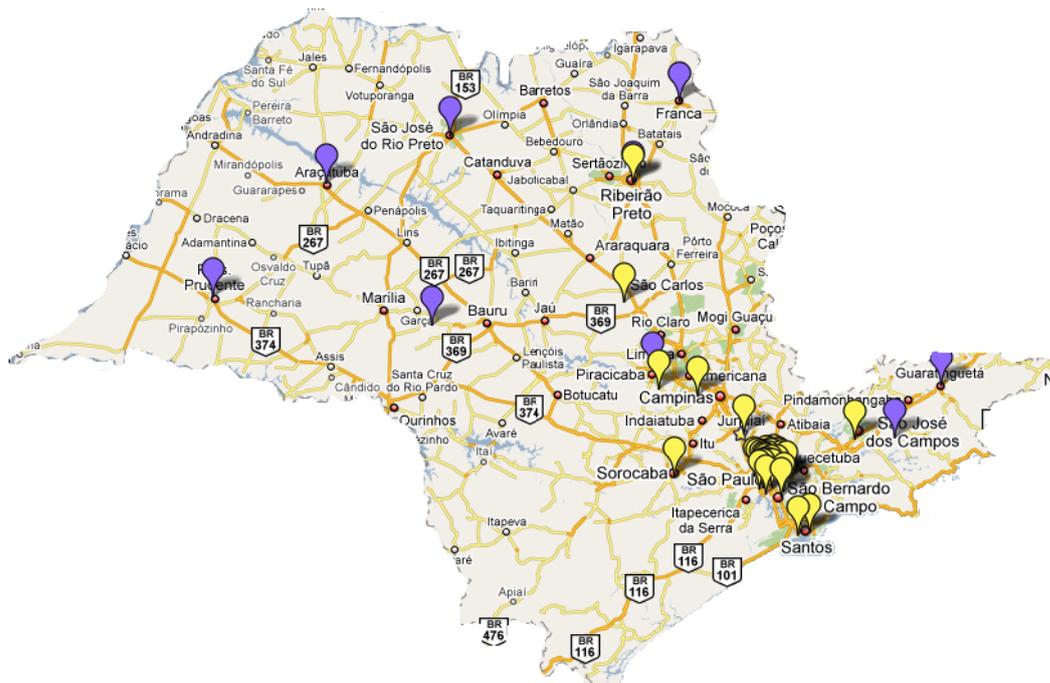


Figura 13: Distribuição dos Pontos Atendidos de acordo com seu Atendimento (Elaborado pelo autor utilizando maps.google.com)

7.2. Análise de Sensibilidade

Para fazermos a análise de sensibilidade e verificar como o modelo se comporta em diferentes situações, vamos modificar em uma margem possível de existir os seguintes parâmetros: custo de quilômetro rodado (aumento e diminuição de 20%), custo de equipes subcontratadas (aumento e diminuição de 50%), demandas (igualar as demandas de todos os pontos em 1, 2 e 3), custos de equipes externas (aumento e diminuição de 20%) e tempos de viagem (modificando a velocidade urbana de 25 km/h para 40 km/h e 15 km/h e velocidade em rodovias de 80 km/h para 90 km/h e 70 km/h).

Para verificar as modificações nos resultados vamos verificar os seguintes valores: custo total, número de equipes subcontratadas, número de equipes externas, número de bases abertas e número de horas-extras contratadas em relação ao modelo inicialmente resolvido com os dados reais.

a) Variação do custo de quilômetro rodado

Para verificar a sensibilidade do modelo em relação ao custo por quilômetro rodado, vamos variar esse parâmetro em uma margem de 20% para mais ou para menos, esse número é possível devido à variação de consumo entre diferentes veículos e a possibilidade de adoção de outro combustível, o álcool, ao invés da gasolina. O custo atual é de R\$ 0,25, e vamos modificá-lo para R\$ 0,20 e R\$ 0,30.

Obtivemos os resultados apresentados na Tabela 29 que compara os valores obtidos com os valores da solução inicial.

Tabela 29: Valores Obtidos com a Modificação do Custo por Quilômetro Rodado

Item	Atual	Diminuição - ct	Aumento - ct
Custo Total	R\$ 18.468,50	R\$ 18.255,00	R\$ 18.682,00
Num. de Eq. Sub.	9	9	9
Num. de Eq. Ext.	1	1	1
Num. Bases Abertas	1	1	1
Num. Horas-Extras	20,7	20,7	20,7

Podemos perceber pela Tabela 29 que a modificação do custo por quilômetro afeta apenas o custo total do problema, não influenciando nos outros quatro itens analisados.

b) Variação do custo de equipes subcontratadas

Agora vamos variar o custo de equipes subcontratadas, esse valor pode ser variado na prática através de negociações comerciais com os fornecedores de serviços da empresa, dessa maneira, vamos variá-lo com uma margem maior do que a variação do custo de quilometragem, variaremos 50% para mais e para menos, o que significa variar o valor atual de R\$ 800,00 para R\$ 400,00 e R\$ 1.200,00.

Com a variação descrita acima obtivemos os dados da Tabela 30.

Tabela 30: Valores Obtidos com a Modificação do Custo de Equipes Subcontratadas

Item	Atual	Dim. - Custo Sub.	Aum. - Custo Sub.
Custo Total	R\$ 18.468,50	R\$ 14.427,90	R\$ 21.295,20
Num. de Eq. Sub.	9	11	0
Num. de Eq. Ext.	1	1	2
Num. Bases Abertas	1	1	2
Num. Horas-Extras	20,7	0,0	13,3

Podemos verificar pela Tabela 30 que houve uma grande variação entre a solução inicialmente obtida e as soluções com a variação do custo de equipes subcontratadas. Além da variação do custo total da operação, no caso da diminuição desse parâmetro, houve um aumento do número de equipes subcontratadas de 9 para 11 e diminuição das horas-extras de 20,7 para nenhuma.

Quando o custo de subcontratação foi aumentado houve a variação mais impactante na operação da empresa, a subcontratação foi substituída pela abertura de mais uma base, em São José do Rio Preto, com uma equipe alocada, além da diminuição das horas-extras de 20,7 para 13,3 horas. Através da variação feita manualmente, foi obtido o valor limite no qual a contratação de equipes subcontratadas foi substituída pela abertura de mais uma base, esse valor foi R\$ 1.114,00.

c) Variação das demandas

As demandas que variam de ponto a ponto de forma bem estável foram variadas de 1 (mínima demanda, pois se trata de uma visita de inspeção mensal) a 3 (máxima demanda, sendo historicamente muito raro de ser ultrapassada) chamados por ponto de demanda para verificar o comportamento da solução, dessa forma, obtivemos os dados mostrados na Tabela 31.

Tabela 31: Valores Obtidos com a Modificação da Demanda

Item	Atual	Demanda = 1	Demanda = 2	Demanda = 3
Custo Total	R\$ 18.468,50	R\$ 13.677,30	R\$ 19.884,60	R\$ 24.360,60
Num. de Eq. Sub.	9	3	11	18
Num. de Eq. Ext.	1	1	1	1
Num. Bases Abertas	1	1	1	1
Num. Horas-Extras	20,7	4,3	22,4	10,9

Podemos verificar pela Tabela 31 que apesar das modificações da demanda, a quantidade de bases abertas e número de equipes externas se mantêm constantes.

O que é modificado na solução com as variações das demandas são os custos totais, as horas extras e quanto maior a demanda por ponto, quanto maior for a demanda dos pontos maior será o número de equipes subcontratadas, assim podemos perceber que o número de equipes subcontratadas inicial (nove) é um número intermediário entre os encontrados nas soluções com as demandas iguais a 1, 2 e 3.

d) Variação dos custos de equipes externas

Aqui verificaremos como a solução do problema se comportará com a modificação dos custos das equipes externas, para isso vamos variar esse fator em mais ou menos 20%, esse número pode existir em caso de modificação de salários e benefícios dos técnicos, além de uma possibilidade de negociação dos contratos de alugueis dos veículos utilizados.

O custo atual é de R\$6.179,40, e foi modificado para R\$ 4.943,50 e R\$ 7.415,30, dessa forma, obtivemos as soluções apresentadas na Tabela 32.

Tabela 32: Valores Obtidos com a Modificação do Custo de Equipes Externas

Item	Atual	Dim. - Custo Eq. Ext	Aum. - Custo Eq. Ext
Custo Total	R\$ 18.468,50	R\$ 17.232,60	R\$ 19.704,40
Num. de Eq. Sub.	9	9	9
Num. de Eq. Ext.	1	1	1
Num. Bases Abertas	1	1	1
Num. Horas-Extras	20,7	20,7	20,7

Pela Tabela 32 percebemos que houve modificação apenas no custo total para a variação proposta nos custos das equipes externas.

Através de modificações no parâmetro feitas manualmente descobrimos qual o custo por equipe externa para que fosse mais barato abrir uma base a mais do que manter as nove equipes subcontratadas, esse valor foi de R\$ 3.388,00. Além disso, a base aberta seria em São José do Rio Preto, portanto, se o custo de equipes externas fosse R\$ 3.388,00 seria melhor abrir uma base a mais com uma equipe do que manter as nove subcontratadas.

e) Variação dos tempos de viagem

Para fazer a variação dos tempos de viagens, variamos as premissas de velocidades em áreas urbanas e rodovias, modificamos a velocidade urbana que era inicialmente 25km/h para 15km/h e 40 km/h e em rodovias, inicialmente 80km/h modificamos para 70km/h e 90km/h respectivamente.

Obtivemos então os resultados apresentados na Tabela 33.

Tabela 33: Obtidos com a Modificação das Velocidades de Percurso

Item	Atual	Aumento - Velocidade	Diminuição - Velocidade
Custo Total	R\$ 18.468,50	R\$ 16.803,10	R\$ 20.401,70
Num. de Eq. Sub.	9	6	12
Num. de Eq. Ext.	1	1	1
Num. Bases Abertas	1	1	1
Num. Horas-Extras	20,7	21,4	23,1

Vemos pela Tabela 33 que quanto menor a velocidade de percurso (maior o tempo) maior o número de equipes subcontratadas e o custo total. No entanto o número de bases abertas e equipes externas se mantêm iguais a um.

Podemos perceber pelas variações propostas na análise de sensibilidade que apenas a modificação dos custos das equipes, sejam de subcontratadas (aumento desse custo para mais do que R\$ 1.114,00) ou externas (diminuição dos custos para menos do que R\$ 3.388,00), gerariam uma modificação muito divergente na solução atual que é a abertura de uma base a mais em São José do Rio Preto, com uma equipe alocada.

Para as outras variáveis que foram modificadas não houve uma variação nas bases de atendimento, apenas no aumento ou diminuição do número de equipes subcontratadas e horas-extras foram modificados, o que não representa variações substanciais na operação da empresa.

7.3. Operação Atual da Empresa

A operação atual da empresa conta apenas com uma base atendimento, em São Paulo, com duas equipes alocadas e horas-extras limitadas a 44 horas por equipe (25% do tempo total mensal). Dessa forma, podemos calcular os dados mostrados no Apêndice E – Dados da Operação Atual da Conbras e temos então o resumo dos dados na Tabela 34:

Tabela 34: Resumo dos Dados Reais de Operação

Item	Valor	Custo
Equipes	2	R\$ 12.358,80
Tempo Disponível	352	
Tempo Total	438,9	
Horas Extras	86,9	R\$ 3.300,39
Base Aberta	São Paulo	R\$ 2.530,00
Dist. Total	9.323,5	R\$ 2.330,87
CFA Total	R\$ 2.147,00	R\$ 2.147,00
Total	-	R\$ 22.667,07

Podemos também consolidar esses dados e apresentá-los com a classificação utilizada no item anterior, dessa maneira temos os dados na Tabela 35.

Tabela 35: Componentes do Custo Total da Operação Real da Conbras

Componente	Custo
C_Bases_Abertas	R\$ 2.530,00
C_Transporte	R\$ 4.477,87
C_Equipes_Externas	R\$ 12.358,80
C_Equipes_Subcontratadas	R\$ 0,00
C_Horas-Extras	R\$ 3.300,39
Total	R\$ 22.667,07

É possível verificar que o custo de equipes subcontratadas atualmente é zero, uma vez que a Conbras ainda não adota a política de subcontratação no atendimento ao contrato da Claro.

Podemos ainda visualizar graficamente os componentes do custo total na Figura 14.

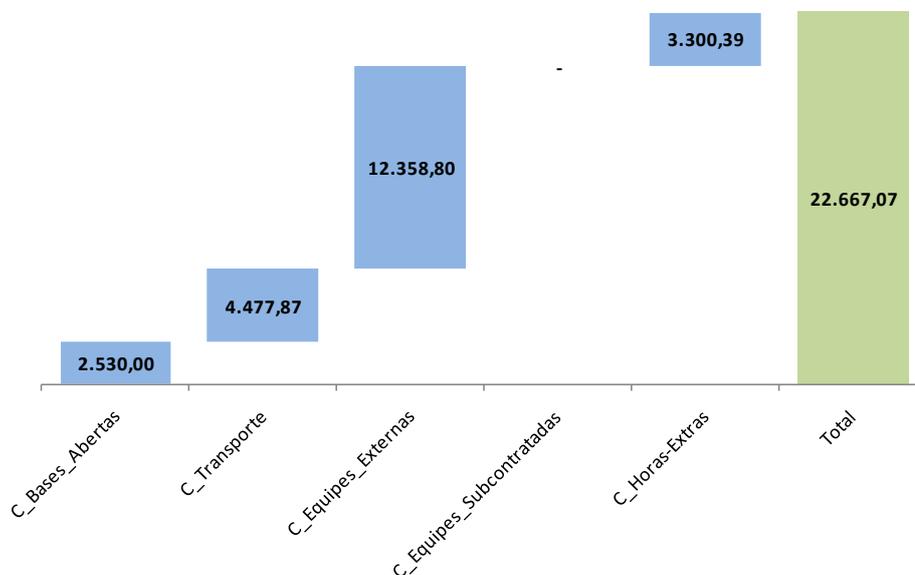


Figura 14: Gráfico da Composição dos Custos na Operação Real da Conbras

7.4. Comparação entre Solução Obtida e Operação Real e Implementação

Obtivemos uma solução através da resolução do modelo apresentado no Capítulo 5 que tem um custo total de operação de R\$ 18.468,50 que quando comparado com o custo da operação atual da Conbras, de R\$ 22.667,07, apresenta uma economia de R\$ 4.198,57, que representa 18,5% de diminuição nos custos. Podemos visualizar a relação entre os componentes dos custos na Figura 15.

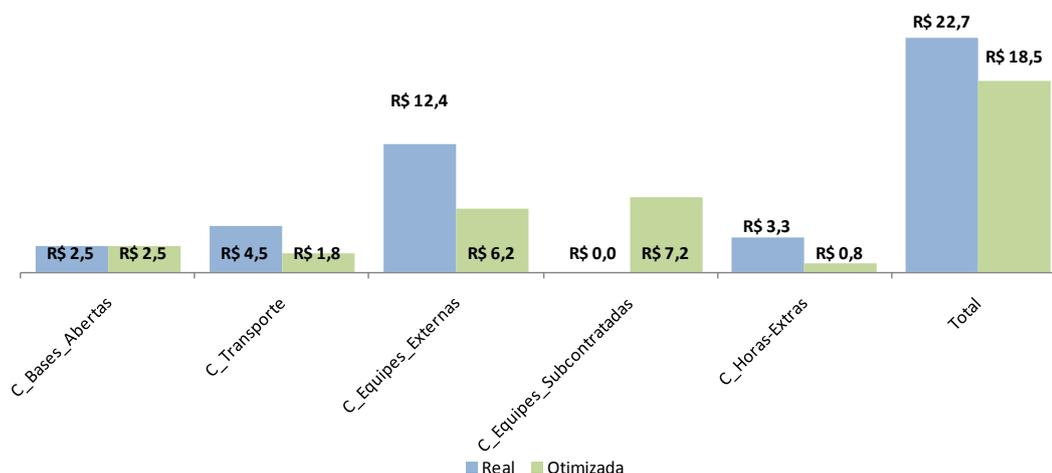


Figura 15: Gráfico Comparativo entre Componentes dos Custos Reais e Otimizados (valores em milhares de reais)

É possível perceber que houve três grandes diminuições entre a solução otimizada e a real, o custo de horas-extras diminuiu 76,2%, o custo de transporte caiu 60,4%, além do custo de equipes que teve uma diminuição de 50,0%, no entanto o custo de equipes subcontratadas que era nulo na solução atual passaria a R\$ 7.200,00 na solução otimizada.

Para obter esse ganho final de 18,5% na operação da Claro, deveriam ser feitas as seguintes mudanças:

- Subcontratação de equipes para os seguintes pontos de demanda: 2 - ARAÇATUBA, 3 - BAURU, 4 - FRANCA, 5 - PRUDENSHOPPING, 6 - RIBEIRÃO PRETO, 9 - SHOP PIRACICABA, 13 - SHOP SÃO JOSE D O RIO PRETO, 15 - SHOP TAUBATÉ, 30 - SHOP GUARATINGUETA;

- Manutenção da base de São Paulo aberta como única base de operação para o contrato da Claro no estado de São Paulo;

- Alocação de apenas uma equipe de atendimento na base de São Paulo.

8. Conclusão

O objetivo deste trabalho era a diminuição de custos de operação da Conbras no atendimento às demandas de manutenção da Claro no estado de São Paulo como forma de obtenção de uma vantagem competitiva em relação a outras empresas.

Para que conseguíssemos alcançar esse objetivo foi feita uma pesquisa, apresentada na Revisão Bibliográfica, a fim de que fossem levantados alguns dos modelos existentes para resolução de problemas de localização de instalações. A partir dos modelos existentes, verificamos quais poderiam ser aplicados para a situação estudada, e então escolhemos a programação matemática como modelo para resolver o problema.

Através de algumas modificações, adaptamos um modelo de programação matemática ao problema apresentado pela Conbras e o apresentamos para a empresa, que o criticou e propôs algumas alterações, que foram feitas até chegarmos à concepção final do modelo que foi finalmente utilizado para buscar uma solução otimizada para o problema.

A solução obtida apresentou uma diminuição de R\$ 4.198,57 (18,5%) nos custos em relação à operação atual da empresa, através de algumas modificações como: subcontratação de equipes para atendimento de nove dos quarenta e cinco pontos de demanda do estado (atualmente, a Conbras não subcontrata equipes nessa operação), utilização de apenas uma base na cidade de São Paulo (o que já ocorre atualmente), alocação de apenas uma equipe de atendimento na base de São Paulo (atualmente há duas).

A empresa ficou satisfeita com o resultado obtido com o estudo que pode representar uma economia de R\$ 50.000,00 anuais na operação da Conbras para a Claro no estado de São Paulo, essa economia poderia ser maior ainda se houvesse uma aplicação desse estudo para operação da Conbras no atendimento aos contratos de outras empresas.

Como possíveis continuações desse estudo, é possível otimizar ainda mais o processo de atendimento às demandas através da roteirização das equipes (o que não foi foco do modelo desenvolvido até aqui), determinando assim circuitos de atendimento que podem reduzir ainda mais os custos da operação. Outra possibilidade é a expansão do estudo para o território nacional no atendimento às demandas da Claro ou até de outras empresas que possuem contratos de atendimento com a Conbras.

9. Referências Bibliográficas

ABRAMAN. **A situação da Manutenção no Brasil**, pesquisa Abraman (Associação Brasileira de Manutenção), 2007.

AGÊNCIA ESTADO. **Velocidade média dos carros em São Paulo cai em um ano.**

Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,,MUL1211303-5605,00-VELOCIDADE+MEDIA+DOS+CARROS+EM+SP+CAI+EM+UM+ANO.html>. Acesso em Outubro, 2009.

APONTADOR.COM. **Valores de pedágios entre cidades do estado de São Paulo.**

Disponível em www.apontador.com.br. Acesso em Setembro, 2009

BAGUR, A. J. **Elaboração de indicadores de desempenho de gestão interna na área de serviço de manutenção**, Trabalho de Formatura, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos; logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CONBRAS ENGENHARIA. **Informações gerais do website**. Disponível em

www.conbras.com.br. Acesso em Maio, 2009

COSTA, R. P. **Localização Industrial**, PRO2802 - Projeto Integrado de Sistemas de Produção, Notas de Aula, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

CURRENT, J.; DASKIN, M.; SCHILLING, D. Discrete Network Location Models, In DREZNER, Z.; HAMACHER, H. W. **Facility location: applications and theory**. 1ed. Nova York: Springer, 2002. cap 3, p. 81-110

DASH OPTIMIZATION. **Informações gerais do website**. Disponível em

www.dashoptimization.com. Acesso em Setembro, 2009

DREZNER, Z.; HAMACHER, H. W. **Facility location: applications and theory**. 1ed. Nova York: Springer, 2002.

EILON, S.; WATSON-GANDY, C. **Models for Determining Depot Location**, International Journal of Physical Distribution, 1970.

EYSTER, J. W.; WHITE, J. A.; Wierwille, W. W. **On Solving Multifacility Location Problems Using a Hyperboloid Approximation Procedure**, AIIE Transactions, 1973.

GOOGLE MAPS. **Latitudes e longitudes dos pontos de demanda e bases de atendimento**. Disponível em maps.google.com. Acesso em Agosto, 2009

GEOFFRION, A. M.; MARSTEN, R. E., **Integer Programming Algorithms: a Framework na State-of-the-art Survey**, Management Science, 1972.

HOLLAENDER, M. P. **Localização de Centros de Distribuição**, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1978.

KUHN, H. W.; KUENNE, R. E. **An Efficient Algorithm for the Numerical Solution of the Generalized Weber Problem in Spatial Economics**, Journal of Regional Science, 1962.

LEME, R. A. S. **Localização da Indústria**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1969.

LINDO SYSTEMS. **Informações gerais do website**. Disponível em www.lindo.com. Acesso em Setembro, 2009

VERGIN, R. C.; ROGERS, J. D. **An Algorithm and Computational Procedure for Locating Economic Facilities**, Management Science, 1967.

Apêndice A – Relação de Lojas da Claro em São Paulo

Cod Loja	Endereço
1 SHOP DOM PEDRO CAMPINAS	AV. GUILHERME DE CAMPOS 500, Campinas
2 ARAÇATUBA	RUA MARECHAL DEODORO 115, Araçatuba
3 BAURU	RUA HENRIQUE SAVI, 55, Bauru
4 FRANCA	AV. RIO NEGRO 1100, Franca
5 PRUDENSHOPPING	AV. MANOEL GOULART 2400, Presidente Prudente
6 RIBEIRÃO PRETO	AV. NOVE DE JULHO 854, Ribeirão Preto
7 SHOP IGUATEMI C AMPINAS	AV. IGUATEMI 777, Campinas
8 SHOP IGUATEMI S ÃO CARLOS	ND PASSEIO DOS FLAMBOYANTS 200, São Carlos
9 SHOP PIRACICABA	AV LIMEIRA 722, Piracicaba
10 SHOP PRAIA GRAN DE	AV. AYRTON SENNA 1511, Praia Grande
11 SHOP RIBEIRÃO P RETO	AV. CEL FERNANDO FERREIRA LEITE 1540, Ribeirão Preto
12 SHOP SANTOS	RUA ALEXANDRE MARTINS 80, Santos
13 SHOP SÃO JOSE D O RIO PRETO	AV. JOSÉ MUNIA 4775, São José do Rio Preto
14 SHOP SÃO JOSÉ D OS CAMPOS	AV. DEPUTADO BENEDITO MATARAZZO 9403, São José dos Campos
15 SHOP TAUBATÉ	AV.CHARLES SCHNEIDER 1700, Taubaté
16 SOROCABA	AV. IZORAIDA MARQUES PERES 401, Sorocaba
17 SHOP ABC PLAZA	AV. INDUSTRIAL, 600, Santo André
18 SHOP CONTINENTAL	AV. LEÃO MACHADO 100, São Paulo
19 SHOP IGUATEMI SP	AV. BRIGADEIRO FARIA LIMA 2232, São Paulo
20 SHOP.CENTER NORTE	TRAVESSA CASALBUONO 120, São Paulo
21 CENTRO	RUA R. ÁLVARES PENTEADO 188, São Paulo
22 PAULISTA	AL. SANTOS 1317, São Paulo
23 RUA JOÃO CACHOEIRA	RUA JOÃO CACHOEIRA 483 485, São Paulo
24 SHOP ANÁLIA FRANCO	AV. REGENTE FEIJÓ 1739, São Paulo
25 SHOP ARICANDUVA	AV. ARICANDUVA 5555, São Paulo
26 SHOP BOURBON POMPEIA	RUA TURIASSU 2100, São Paulo
27 SHOP CENTRAL PLAZA	AV. DR. FRANCISCO MESQUITA 1000, São Paulo
28 SHOP CIDADE JARDIM	RUA MAGALHAES DE CASTRO 12000, São Paulo
29 SHOP ELDORADO	AV. REBOUÇAS 3970, São Paulo
30 SHOP GUARATINGUETA	RODOVIA PRESIDENTE DUTRA, Guaratingueta
31 SHOP HIGIENÓPOLIS	AV. HIGIENOPOLIS 618, São Paulo
32 SHOP IBIRAPUERA	AV. IBIRAPUERA 3103, São Paulo
33 SHOP INTERLAGOS	AV. INTERLAGOS 2255, São Paulo
34 SHOP JARDIM SUL	AV. GIOVANNI GRONCHI 5819, São Paulo
35 SHOP MARKET PLAZA	AV. DAS NACOES UNIDAS 13947, São Paulo
36 SHOP METROPOLE	PRACA SAMUEL SABATINI, 200, São Bernardo do Campo
37 SHOP MORUMBI	AV. ROQUE PETRONI JR 1089, São Paulo
38 SHOP OSASCO	RUA ANTONIO AGÚ 300, Osasco
39 SHOP PLAZA SUL	PRACA LEONOR KAUPA 100, São Paulo
40 SHOP SANTA CRUZ	R. DOMINGOS DE MORAES 2564, São Paulo
41 SHOP TATUAPÊ I	RUA R. DR. MELLO FREIRE S/N, São Paulo
42 SHOP TATUAPÊ II	RUA GONÇALVES CRESPO S/N, São Paulo
43 SHOP VILLA LOBO S	AV. DAS NACOES UNIDAS 4777, São Paulo
44 SHOP WEST PLAZA	AV. ANTARTICA 380, São Paulo
45 SHOP MAXI JUNDIAÍ	AV ANTÔNIO FREDERICO OZANAN 6000, Jundiaí

Apêndice B - Latitude e Longitude dos Pontos de Demanda

Loja	Latitude (graus)	Longitude (graus)	Latitude (rad)	Longitude (rad)
1	-22,85130	-47,05912	-0,39883	-0,82134
2	-21,20691	-50,44087	-0,37013	-0,88036
3	-22,33803	-49,05330	-0,38987	-0,85614
4	-20,54964	-47,41383	-0,35866	-0,82753
5	-22,11775	-51,40634	-0,38603	-0,89721
6	-21,18587	-47,81035	-0,36976	-0,83445
7	-22,89382	-47,02632	-0,39957	-0,82076
8	-22,01535	-47,89111	-0,38424	-0,83586
9	-22,70306	-47,64939	-0,39624	-0,83164
10	-23,99680	-46,40846	-0,41882	-0,80998
11	-21,20901	-47,81436	-0,37017	-0,83452
12	-23,97595	-46,31033	-0,41846	-0,80827
13	-20,82710	-49,38741	-0,36350	-0,86197
14	-23,23647	-45,91823	-0,40555	-0,80142
15	-23,02350	-45,58715	-0,40184	-0,79565
16	-23,53343	-47,46538	-0,41074	-0,82843
17	-23,64990	-46,53258	-0,41277	-0,81215
18	-23,54780	-46,75635	-0,41099	-0,81605
19	-23,57567	-46,68796	-0,41147	-0,81486
20	-23,51744	-46,61707	-0,41046	-0,81362
21	-23,54697	-46,63485	-0,41097	-0,81393
22	-23,56437	-46,65488	-0,41128	-0,81428
23	-23,58418	-46,67791	-0,41162	-0,81468
24	-23,56266	-46,55944	-0,41125	-0,81262
25	-23,56516	-46,50741	-0,41129	-0,81171
26	-23,52767	-46,68057	-0,41064	-0,81473
27	-23,59740	-46,58114	-0,41185	-0,81299
28	-23,56466	-46,70552	-0,41128	-0,81517
29	-23,57407	-46,69661	-0,41145	-0,81501
30	-22,81835	-45,18247	-0,39826	-0,78858
31	-23,54315	-46,65751	-0,41091	-0,81433
32	-23,60981	-46,66805	-0,41207	-0,81451
33	-23,67469	-46,67834	-0,41320	-0,81469
34	-23,63104	-46,73662	-0,41244	-0,81571
35	-23,62093	-46,70055	-0,41226	-0,81508
36	-23,69691	-46,55259	-0,41359	-0,81250
37	-23,62155	-46,69803	-0,41227	-0,81503
38	-23,53543	-46,78014	-0,41077	-0,81647
39	-23,62069	-46,62735	-0,41226	-0,81380
40	-23,59867	-46,63675	-0,41187	-0,81396
41	-23,53885	-46,56783	-0,41083	-0,81276
42	-23,53847	-46,57554	-0,41082	-0,81290
43	-23,55138	-46,72334	-0,41105	-0,81548
44	-23,52719	-46,67389	-0,41063	-0,81461
45	-23,19865	-46,86634	-0,40489	-0,81797

! Minimizar Custo Total

minimize(CTotal)

writeln("Solucao:\n Custo Total: ", getobjval)

writeln("Custo Total = C_Bases_Abertas + C_Transporte + C_Equipas_Externas + C_Equipas_Subcontratadas + C_Horas-Extras\n")

*writeln("Custo Total = ", getsol(sum(j in BAtend)b(j)*CBA(j)))*

*writeln(" + ", getsol(sum(i in PDem)sum(j in BAtend)((d(i,j)*ct*2+CFA(i,j))*w(i,j))))*

*writeln(" + ", getsol(sum(j in BAtend)n(j)*CEE))*

*writeln(" + ", getsol(sum(i in PDem)a(i)*CES))*

*writeln(" + ", getsol(sum(j in BAtend)h(j)*ch))*

writeln("\nEquipas por base (1..4):")

forall(j in BAtend)writeln(" ", getsol(n(j)))

writeln("\nHoras por base (1..4):")

forall(j in BAtend)writeln(" ", getsol(h(j)))

writeln("\nAt_Interno B1 B2 B3 B4 B5:")

*forall(i in PDem) writeln(getsol(a(i)*Dem(i)), " ", getsol(w(i,1)), " ", getsol(w(i,2)), " ", getsol(w(i,3)), " ", getsol(w(i,4)))*

end-model

Apêndice D – Saída do Programa XPress

Solucao:

Custo Total: 18468.5

Custo Total = C_Bases_Abertas + C_Transporte + C_Equipes_Externas + C_Equipes_Subcontratadas + C_Horas-Extras

Custo Total = 2530 + 1772.5 + 6179.4 + 7200 + 786.6

Equipes por base (1..4):

1

0

0

0

Horas por base (1..4):

20.7

0

0

0

At_Interno B1 B2 B3 B4 B5:

0 1 0 0 0

3 0 0 0 0

3 0 0 0 0

2 0 0 0 0

2 0 0 0 0

1 0 0 0 0

0 1 0 0 0

0 1 0 0 0

2 0 0 0 0

0 3 0 0 0

0 1 0 0 0

0 2 0 0 0

2 0 0 0 0

0 1 0 0 0

2 0 0 0 0

0 2 0 0 0

0 2 0 0 0

0 2 0 0 0

0 1 0 0 0

0 3 0 0 0

0 2 0 0 0

0 2 0 0 0

0 2 0 0 0

0 2 0 0 0

0 1 0 0 0

01000
02000
01000
02000
20000
01000
01000
02000
01000
02000
02000
02000
02000
01000
03000
02000
02000
01000
02000
03000

Apêndice E – Dados da Operação Atual da Conbras

Lojas	Demanda	Distância	Tempo	CFA	Dist. Total	Tempo Total	CFA Total
1	1	111	5,9	29	111	5,9	29
2	3	563	17,2	95	1.690	51,7	285
3	3	337	11,6	100	1.010	34,7	300
4	2	418	13,6	115	837	27,2	230
5	2	614	18,5	85	1.227	37,0	170
6	1	352	12,0	85	352	12,0	85
7	1	104	5,8	29	104	5,8	29
8	1	259	9,6	65	259	9,6	65
9	2	169	7,4	40	338	14,8	80
10	3	62	4,7	22	185	14,1	66
11	1	349	11,9	85	349	11,9	85
12	2	67	4,8	22	134	9,7	44
13	2	499	15,6	120	999	31,3	240
14	1	107	5,8	21	107	5,8	21
15	2	156	7,1	21	312	14,1	42
16	2	96	5,5	40	191	11,1	80
17	2	20	3,1	5	40	6,2	10
18	2	12	2,4	5	24	4,9	10
19	1	5	1,9	5	5	1,9	5
20	3	15	2,7	5	46	8,2	15
21	2	11	2,4	5	22	4,7	10
22	2	8	2,1	5	15	4,2	10
23	2	4	1,8	5	8	3,6	10
24	2	17	2,9	5	34	5,7	10
25	1	23	3,3	5	23	3,3	5
26	1	11	2,4	5	11	2,4	5
27	2	13	2,6	5	27	5,1	10
28	1	7	2,0	5	7	2,0	5
29	2	5	1,9	5	10	3,8	10
30	2	213	8,5	5	426	16,9	10
31	1	10	2,3	5	10	2,3	5
32	1	3	1,7	5	3	1,7	5
33	2	9	2,2	5	17	4,4	10
34	1	6	2,0	5	6	2,0	5
35	2	2	1,7	5	4	3,3	10
36	2	20	3,1	5	40	6,2	10
37	2	2	1,6	5	4	3,3	10
38	2	15	2,7	5	30	5,4	10
39	1	8	2,1	5	8	2,1	5
40	3	7	2,0	5	20	6,1	15
41	2	18	2,9	5	35	5,8	10
42	2	17	2,9	5	34	5,7	10
43	1	9	2,2	5	9	2,2	5
44	2	11	2,4	5	23	4,8	10
45	3	59	4,6	17	178	13,9	51

Anexo A – Reportagem do Portal de Notícias G1

29/06/09 - 09h11 - Atualizado em 29/06/09 - 09h11

Velocidade média dos carros em SP cai 16,6% em um ano

Durante a manhã, índice passou de 30 km/h para 25 km/h.

Restrição aos caminhões no centro expandido completa um ano na terça.

Apesar de uma série de medidas para ampliar a fluidez na capital paulista - incluindo a restrição aos caminhões, que completa na terça-feira (30) um ano -, os motoristas perdem cada vez mais tempo no trânsito em São Paulo. As medidas para impedir a circulação de caminhões no centro expandido reduziram os congestionamentos, mas não foram suficientes para aumentar a velocidade desenvolvida pelos veículos nas ruas. Entre maio de 2008 e maio deste ano, a velocidade média, pela manhã, passou de 30 km/h para 25 km/h – uma redução de 16,6%.

No horário de pico da tarde, o índice passou de 17 km/h para 15 km/h – diminuição de 11,7%. Uma carroça puxada por dois cavalos consegue um desempenho de 28 km/h. Já no dia 10 de junho, véspera de um feriado prolongado, a capital registrou o maior congestionamento da história, com 293 km de extensão.

Os dados de “Resumo Mensal” da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) abrangem os índices até maio. No rush da tarde, com desempenho atual, o motorista leva 1h30 para fazer os 24,5 km da Marginal do Tietê, quando poderia ser completado em 20 minutos, caso o trânsito estivesse fluindo normalmente no limite de 90 km/h.

O cálculo das médias de lentidão e de velocidade é feito de formas distintas pelos técnicos da CET. No primeiro caso, a medição toma por base o congestionamento máximo de cada dia registrado no horário de pico. E a velocidade é medida de acordo com o tempo de percurso de veículos de passeio escolhidos aleatoriamente na hora do rush. São coletadas cinco amostras, sempre no sentido de maior fluxo.

No início do mês, a prefeitura começou a veicular propaganda anunciando queda nos registros de congestionamento com a restrição de caminhões. Procurada para falar sobre a velocidade média, a CET não retornou os contatos.

Fonte: <http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,,MUL1211303-5605,00-VELOCIDADE+MEDIA+DOS+CARROS+EM+SP+CAI+EM+UM+ANO.html>