

ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Trabalho de Formatura

DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE GERADORES MÓVEIS
NECESSÁRIOS NA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE
TELEFONIA CELULAR NO INTERIOR DE SÃO PAULO,
(ÁREA 2).

LUÍS RICARDO VELHO
ORIENTADOR: MAURO SPINOLA

1997

#1997
V543 d

Agradecimentos

*Eu dedico este trabalho
a minha namorada
Thaís, que me apoiou em
todos os momentos, a
minha família por todo
o carinho e aos colegas
da Infracel, em especial
a Raul M. Parada e
João Carlos.*

Índice

CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

1.1	Introdução e Objetivo do Trabalho.....	6
1.2	Conteúdo dos Capítulos.....	8
1.3	Perfil da Empresa.....	10
1.4	A Método e a Telefonia Celular.....	11

CAPÍTULO 2 - A TELEFONIA CELULAR

2.1	Introdução.....	13
2.2	Objetivo.....	13
2.3	Considerações Gerais Sobre o Funcionamento do Sistema.....	14
2.4	Constituição do Sistema.....	16
2.5	A Linguagem do Celular.....	17
2.6	Características Essenciais do Sistema Celular.....	22
2.7	A Estação Móvel.....	23
2.8	A ERB.....	23
2.9	A Central de Comutação e Controle CCC.....	23
2.10	A Rede Publica de Telefonia.....	24

CAPÍTULO 3 - TECNOLOGIAS

3.1	O Passado, o Presente e o Futuro do Celular.....	26
3.2	Situação Hoje.....	28
3.3	O Que Irá Acontecer Depois.....	29

CAPÍTULO 4 - Banda "B"

4.1	O Que é, e Como Funciona a Banda "B"	34
4.2	As Áreas de Concessão.....	35
4.3	Os Editais.....	36
4.4	Os Consórcios.....	37
4.5	O Cronograma de Implantação da Área 2.....	38
4.6	O Número de Linhas para a Área 2.....	39
4.7	O Número de ERBs para a Área 2.....	39

CAPÍTULO 5 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

5.1	O Problema.....	43
5.2	Os GMG's.....	43
5.3	Infrações e Penalidades.....	44
5.4	O Serviço Adequado.....	44
5.5	A Sala de Baterias.....	46
5.6	O GMG Estacionário.....	47
5.7	O Procedimento em Quedas de Energia.....	48
5.8	O GMG Móvel.....	49

CAPÍTULO 6 - A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

6.1	Considerações Iniciais.....	52
6.2	A Obtenção das Coordenadas.....	53
6.3	O Problema Modelo (Corpo de Bombeiros).....	55
6.4	Analogia ao Problema dos Geradores.....	57
6.5	O Cálculo das Distâncias.....	60
6.6	A Montagem da Matriz de Distâncias.....	64
6.7	O Processo de Correção das Diferenças.....	66

CAPÍTULO 7 - RESULTADOS INICIAIS

7.1	Condições de Contorno para o Problema.....	74
7.2	Qualidade do fornecimento de energia elétrica.....	75
7.3	Resultados Iniciais.....	78
7.4	Considerações Sobre os Resultados Obtidos.....	79

CAPÍTULO 8 - PROPOSTA DE SOLUÇÃO

8.1	Alternativas de Solução.....	81
8.2	Solução Proposta.....	82
8.3	Considerações Sobre a Solução Proposta	85
8.4	Apresentação dos Resultados.....	86

CAPÍTULO 9 - CONCLUSÃO

9.1	Conclusões.....	91
9.2	Simulações	93
9.3	Finalização.....	98

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografia.....	100
-------------------	-----

Capítulo 1 - Apresentação do Trabalho

1.1 Introdução e Objetivo do Trabalho

A proposta deste trabalho é, através da aplicação dos conhecimentos adquiridos durante o curso de engenharia de Produção, principalmente os fundamentos de Pesquisa Operacional e linguagem de Programação, elaborar um estudo e um método para estimar a quantidade de geradores móveis necessários na implantação da telefonia celular da banda "B" na área 2 (interior de São Paulo).

Para que se possa atingir este objetivo, durante o decorrer do trabalho vários conceitos sobre o funcionamento do sistema de telefonia celular, serão expostos. As etapas necessárias para a elaboração deste trabalho estão descritas abaixo:

1)- Realizar um estudo preliminar de como funciona o sistema de telefonia celular, para se entender o problema que estava sendo proposto, com isso alguns tópicos deveriam ser analisados:

- O que é telefonia celular.
- A linguagem usada em telefonia celular
- As tecnologias envolvidas em telefonia celular
- Os componentes básicos do sistema celular.
- A importância dos GMG's (grupo motor gerador) móveis.

2)- Após o entendimento físico do sistema, o autor deveria realizar um estudo de como a telefonia celular iria ser implantada na área 2 de São Paulo, os tópicos que abordam este assunto estão descritos a seguir:

- O que é a banda "B"
- O que é a área 2
- Quais são os consórcios que estão disputando esta área de concessão

3)- Depois de entender como funciona o sistema e de quais são as organizações que estão participando do processo, o autor deveria propor um maneira de se estimar o número de geradores que deverão existir na área 2, para que o sistema fique protegido de uma eventual falha de abastecimento de energia. Para isso o autor deveria utilizar os conhecimentos adquiridos no curso de engenharia de Produção, e achar uma solução que pudesse chegar a um número ótimo de geradores. Neste estágio do trabalho alguns assuntos foram envolvidos:

- Linguagem de programação
- Pesquisa operacional
- Geometria espacial

Em resumo, este trabalho foi de fundamental importância para que autor fosse capaz, de aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de engenharia de Produção, e ficasse inteirado de como funciona um sistema de telecomunicações.

Após se chegar a uma solução para o problema proposto no item 3 acima, a mesma será analisada e se preciso uma nova solução será proposta, para que se possa atender todas as restrições do problema levando-se em conta também as limitações físicas e operacionais de implantação.

1.2 - Conteúdo dos Capítulos

Capítulo 1 Apresentação do Trabalho

Neste capítulo será feita uma breve descrição da empresa onde se realizou o estágio, e de cada Capítulo deste trabalho.

Capítulo 2 A Telefonia Celular

Neste capítulo será discutido o funcionamento do sistema de telefonia celular a fim de esclarecer os termos que serão usados durante o decorrer do trabalho assim como os componentes essenciais do sistema.

Capítulo 3 Tecnologias

Neste capítulo será discutido o contexto tecnológico em que se encontra o sistema celular. O objetivo desta discussão é deixar claro para o leitor os problemas encontrados e as possíveis soluções a serem adotadas para a ampliação do sistema de telefonia celular.

Capítulo 4 Banda “B”

Neste capítulo será exposto ao leitor os conceitos sobre a banda “B” de telefonia celular: o que é a banda “B”, quem são os participantes, o cronograma. Enfim deixar claro ao leitor qual o cenário em que o problema está inserido.

Capítulo 5 Definição do Problema

Neste capítulo será definido o problema a ser analisado. Também serão expostas algumas penalidades e multas para que fique claro ao leitor o porque de se estudar este tipo de situação. Serão expostos ainda os equipamentos a serem usados na solução proposta.

Capítulo 6 A Resolução do Problema

Neste capítulo será analisado o método escolhido para se solucionar o problema proposto, assim como os dados que serão necessários para tal

solução. Esta parte do trabalho mostra ao leitor onde esses dados foram obtidos e quais os tratamentos tiveram que ser feitos para que estas informações pudessem ser aproveitadas.

Capítulo 7 Resultados Iniciais

Neste capítulo o problema será resolvido e depois disso os resultados obtidos e suas implicações técnicas e operacionais serão discutidas, para que se possa chegar a uma proposta de solução melhor.

Capítulo 8 Proposta de Solução

Neste capítulo será proposta pelo autor uma nova idéia de solução e novamente serão discutidos os resultados obtidos, fazendo assim uma comparação com a solução inicial e as restrições do problema inicial.

Capítulo 9 Conclusão

Neste capítulo serão feitas as conclusões sobre o trabalho e os resultados obtidos na proposta.

Serão também levados em consideração alguns aspectos que deixaram de ser analisados (Quedas de energias pontuais, Custo de manutenção dos geradores e baterias, Custo de alimentação de uma sala de baterias durante toda a vida útil da ERB), e quais as influências destes fatores na solução obtida.

Além disso será exposta a importância deste trabalho para realização de estudos futuros sobre a área 2, como por exemplo, dimensionar e posicionar equipes de acompanhamento de obra, determinação do ponto ótimo para instalação de uma fábrica integradora de containers e também determinar percursos ótimos para que essas equipes tenham seu trabalho racionalizado.

1.3 - Perfil da Empresa

A Método Engenharia é uma empresa que, com pouco mais de vinte anos, tornou-se referência obrigatória quando o assunto é inovação tecnológica.

Investindo fortemente em tecnologia, no desenvolvimento de recursos humanos e no aprimoramento dos sistemas de gestão, vem consolidando meios para oferecer, em vários segmentos de atuação de suas diversas Divisões, produtos e serviços com maior qualidade, orientada pelo respeito às necessidades dos clientes e dos usuários do produto final.

Em 1985, a Método conquistava sua primeira premiação: melhor empresa do setor da construção civil no pódio anual da revista Exame. E, nesse mesmo ano, ingressava no setor de Telecomunicações, incorporando a seu patrimônio uma das primeiras empresas a prestar serviços ao sistema Telebrás, a Tepal - Telefones e Equipamentos Paulista Ltda.

Desde então, implementando um relacionamento comercial diferenciado também neste segmento, vem prestando grandes serviços às concessionárias do sistema Telebrás.

Atualmente as parcerias internacionais com empresas de reconhecida competência em diversos segmentos do setor têm-lhe garantido agilidade e flexibilidade para assumir, com sucesso, os seus desafios.

1.4 - A Método e a Telefonia Celular

Desde que se iniciou a implantação do sistema de telefonia celular no Brasil, o grande desafio tem sido viabilizar projetos a curto prazo, de modo a atender a crescente demanda verificada.

Um dos pontos críticos, nesse aspecto, diz respeito a necessária implementação de toda infra-estrutura requerida pelas Estações Rádio - Base, segmento de atuação em que a Método Telecomunicações vem acumulando experiência e aprimorando seu desempenho com relação às atividades pertinentes, desde os estudos para identificação da melhor alternativa de localização (site), passando pela elaboração de projetos, fornecimento de equipamentos, até a execução das obras.

Deste modo, a Método Telecomunicações tem trazido sua contribuição à expansão e melhoria do sistema de telefonia celular, oferecendo as soluções adequadas, dentro das normas de qualidade.

Capítulo 2 - A Telefonía Celular

Capítulo 2

2.1 - Introdução

Este trabalho foi desenvolvido na área de Telefonia Celular, visando a determinação do número de geradores móveis que se farão necessários para a implantação das novas estações transmissoras para a banda “B” no interior do Estado de São Paulo (Área 2).

Para a resolução deste problema vários conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia de Produção foram utilizados:

- Pesquisa Operacional
- Linguagem de programação (Visual Basic)
- Geometria Espacial
- Análise de Dados e Tendências

Além de outras ferramentas mais recentes , como a grande utilização da Internet para obtenção de dados e informações.

2.2 - Objetivo

O objetivo deste trabalho é determinar a quantidade necessária de geradores móveis para a implantação da telefonia celular da banda “B” na área 2 (interior do Estado de São Paulo), bem como a otimização e determinação da localização estratégica dos mesmos, a fim de garantir que o sistema fique protegido contra uma eventual falta de energia da rede pública.

Este tema foi escolhido devido à grande preocupação das operadoras com relação a falta de energia pública, pois sem ela, o sistema pode parar de funcionar e a operadora pode então vir a sofrer multas que constam em contrato, como será descrito mais tarde neste trabalho. Desta forma determinar o número de geradores necessário bem como as suas localizações é uma das principais preocupações para que se garanta a confiabilidade e segurança do sistema.

2.3 – Considerações Gerais Sobre o Funcionamento do Sistema

Este capítulo explica os princípios básicos do sistema de celular móvel dando uma visão superficial dos principais pontos que devem ser considerados, e mostrando as principais diferenças entre a telefonia convencional e a rede de celulares. Existe uma breve descrição funcional de cada componente do sistema celular e de como eles podem ser interconectados.

O sistema celular tem, em sua concepção, uma arquitetura modular que, teoricamente pode ser expandida indefinidamente, quando necessário.

Existem entretanto, várias limitações práticas, que impedem o crescimento modular.

O sistema de telefonia celular divide a cidade em várias áreas chamadas células, cada qual tem a sua própria estação transmissora e receptora. Quando um carro, com um telefone celular, move-se entre as células, um computador central consegue trilhar a chamada, e mudar o local de recepção para maximizar o sinal recebido. O resultado é que o usuário pode peregrinar por entre as células sem que a sua ligação seja interrompida.

O sistema celular fornece comunicação a qualquer hora e em qualquer lugar. Quando alguém fala em um celular, ele transmite onda de microondas com baixa energia para a antena local do "SITE" (SITE é a região que uma

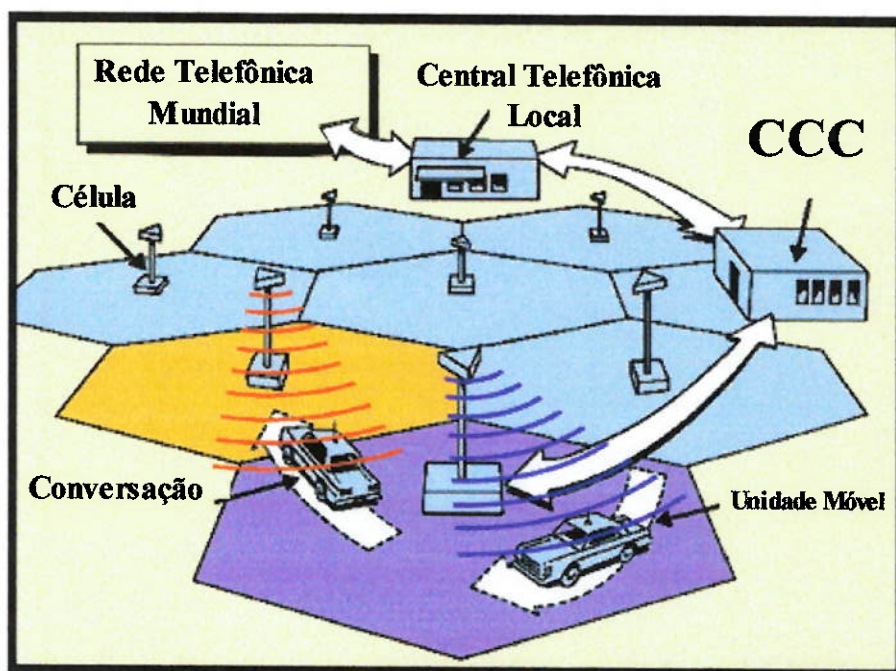
célula abrange), esta antena conecta a rede telefônica que atende casas, escritórios ou outros aparelhos celulares.

A tecnologia do “Wireless” (muitas referências tratam o sistema celular como Wireless), usa radio frequências individuais continuamente repetidas entre áreas geográficas que podem ser pequenas como uma microcélula em um prédio ou, pode ser global no caso de serviço por satélite . Ao invés de ter um número pequeno de canais de rádio que muitos usuários deveriam dividir, os canais de celular são reusados simultaneamente sem que os usuários tenham que dividir suas conversações .

Para o sistema celular de comunicações, o processo começa com a divisão da área de atendimento em pequenas sub-áreas chamadas células. Uma célula pode ter desde uma milha de diâmetro até 20 milhas dependendo do terreno e da capacidade que o sistema exige. Cada célula é equipada com um rádio transmissor/receptor que é conectado através da operadora do serviço, por exemplo no caso da banda “A” a própria Telesp e na banda “B” será a operadora que for atender a região de São Paulo, na central de comutação e controle CCC. Esta por sua vez é encarregada de unir o sistema celular à rede de telefonia mundial.

Diminuindo-se a potência de transmissão , a gama de rádio frequências pode ser usada em outra célula não muito longe, com uma chance muito pequena de causar interferência.

Quando um telefone móvel começa a sair de uma célula (Caso de telefones instalados em automóveis, por exemplo) a rede percebe que o sinal começa a ficar mais fraco e passa a ligação para a antena mais próxima , fortalecendo assim o mesmo. Este processo é conhecido como “Handoff” ou migração.



Esquema de funcionamento do telefone celular em um automóvel, Adaptado pelo Autor
Fonte Bell Laboratories

Atualmente a tecnologia celular usa padrão analógico para conversações. Um padrão digital de transmissão conhecido como TDMA, que será exemplificado posteriormente, pode aumentar de 3 até 8 vezes a capacidade do sistema .

A preocupação com a utilização do espectro eletromagnético no sistema celular é muito grande, porque ele é limitado, a FCC (Federal Communications Commission) tem alocado 50 Mhz do rádio espectro 824-849 Mhz e 869-894 Mhz para o serviço celular.

2.4 -Constituição do Sistema

O sistema convencional de celular consiste de uma estação rádio base com seus transmissores e receptores montados sobre uma torre ou algum ponto alto. A área de cobertura é escolhida para ser grande, e geralmente , um pequeno número de canais são disponíveis. Inicialmente estes sistemas eram manualmente controlados , cada chamada tinha que ser conduzida através de um operador móvel especial. Sistema automáticos apareceram em meados dos anos 60 mas e eles ainda eram muito limitados por exemplo, se um usuário já

tivesse uma chamada estabelecida em uma área, aquela chamada iria cair se o usuário migrasse para outra área , e um novo processo de chamada seria necessário.

Todavia apesar das limitações deste sistema e do alto custo dos serviços, o crescimento da demanda por telefones móveis foi realmente notável. Estes sistemas tinham um pequeno número de canais , sinal pobre , e limitada capacidade de crescimento modular, não podendo enfrentar tal demanda. Novos conceitos e idéias para o desenvolvimento da versatilidade do sistema, onde os assinantes podiam peregrinar com seus telefones em uma rede telefônica global integrada , começou a se materializar.

A expansão do sistema convencional móvel dependia fortemente da disponibilidade do espectro. O plano de rádio frequência é um complicado problema porque o espectro de frequência deve ser dividido com vários outros tipos de diferentes serviços. Existe um espectro pleno disponível em bandas de alta frequência , mas a tecnologia ainda não tem sido suficiente para solucionar esses problemas de operar em alta frequência.

Entretanto, se por um lado existe escassez de espectro de frequência, estritamente controlado por agentes reguladores, do outro lado existe uma pressão da demanda por telefones móveis. A saída é a inovação de idéias. A implementação dessas novas idéias devem requerer uma nova tecnologia, dando assim inicio a um novo sistema capaz de não somente atender a demanda inicial , mas também de oferecer novos serviços.

2.5 - A linguagem do Celular

O novo conceito de idéias implementado hoje em dia em telefonia móvel foi proposto pela Bell Telephone Laboratories durante os anos 60. A implementação de tais idéias implicaram , entre outros problemas, complicados

sistemas de administração, que foram possíveis com o advento da tecnologia de comutação eletrônica .

O básico conceito é o reuso da frequência: Se um canal de uma certa frequência cobre uma área de raio R , então a mesma frequência pode ser reusada para cobrir outra área. Cada uma das áreas constituem uma "Célula". As células usando as mesmas frequências são chamadas co-células. Elas são posicionadas suficientemente separadas uma das outras para que a interferência entre os canais possa estar dentro de limites toleráveis. Com este novo conceito , uma região inicialmente servida por uma estação rádio base do sistema convencional é dividida em várias células, cada qual tem sua própria estação rádio base, servida pelos seus próprios canais.

Se as antenas transmissoras omini são usadas idealmente , a área de cobertura pode ser circular. Portanto, para efeito de modelamento uma forma de célula é obrigatória, um círculo seria a melhor escolha, entretanto um plano coberto com círculos pode conter áreas sobrepostas ou vazios , dificultando-se também o plano de rádio frequência. Polígonos regulares como triângulos equiláteros, quadrados, e hexágonos não apresentam estas restrições . O hexágono regular é a forma mais conveniente, porque é a mais próxima que se assemelha ao círculo e não apresenta áreas de sobreposição.

O conjunto de canais disponíveis no sistema é determinado para um grupo de células. A mesma gama de canais pode ser reusada somente em diferentes grupos. O número de células por região determina o padrão de repetição quanto maior a distância entre as células , maior será a interferência de canais.

A seguir encontra-se descrito um trecho da norma geral de Telecomunicações NGT N°/96 , a fim de se esclarecer de uma maneira mais formal os termos e definições usados na telefonia celular.

1. Objetivo

Os termos que serão apresentados agora, serão usados com frequência no decorrer deste trabalho, esta explicação se faz necessária para que o leitor , entenda o que o autor esta querendo dizer e para que o leitor compreenda certos termos e definições que serão usados, e que em uma primeira leitura poderiam não ficar claros para o mesmo

3. Definições

Nesta norma são adotadas as seguintes definições:

- Área de Concessão de SMC (Sistema Móvel Celular): área geográfica delimitada pelo Ministério das Comunicações, independente de divisão político-geográfica do território nacional, dentro da qual a entidade prestadora de SMC deve explorar o serviço nos termos do contrato de concessão e observada a regulamentação pertinente.
- Área de Controle: área geográfica em que o SMC é controlado por uma determinada Central de Comutação e Controle (CCC).
- Área de Cobertura: área geográfica em que uma Estação Móvel (Telefone Celular) pode ser atendida pelo equipamento rádio de uma Estação Rádio-Base.
- Área de Registro: Área em que a Estação Móvel é registrada por ocasião de sua habilitação no SMC.
- Área de Serviço: área em que Estações Móveis têm acesso ao SMC e na qual uma Estação Móvel pode ser acessada, inclusive por um usuário qualquer da rede pública de telecomunicações, sem conhecimento prévio de sua exata localização, podendo conter uma ou várias Áreas de Controle.

- Central de Comutação e Controle (CCC): conjunto de equipamentos destinados a:
 1. Controlar o sistema que executa o SMC;
 2. Interconectar o sistema que executa o SMC à rede pública de telecomunicações ou a outro sistema que executa o SMC.
- Estação Móvel: Estação do Serviço Móvel Celular que pode operar quando em movimento ou estacionada em lugar não especificado. Geralmente é o aparelho de telefone individual, o celular comum.
- Estação Móvel Local: Estação Móvel que se encontra em sua Área de Registro. Quando o usuário utiliza o seu telefone celular dentro de sua área de registro. EX: O usuário de São Paulo usando seu telefone dentro de São Paulo.
- Estação Móvel Visitante: Estação Móvel que se encontra em Área de Registro distinta daquela a que pertence.
- Assinante Visitante: Assinante responsável pela Estação Móvel Visitante. Quando o usuário utiliza seu aparelho em uma área que não a sua área de registro. Ex: Um usuário de São Paulo usando seu telefone no Guarujá.
- Estação Rádio-Base (ERB): estação fixa de SMC usada para radiocomunicação com Estações Móveis.
- Técnica Celular: técnica que consiste em dividir uma área geográfica em sub - áreas, denominadas células, a cada uma das quais podem ser atribuídos grupos de frequências, permitindo que frequências utilizadas em uma célula possam ser reutilizadas em outras células.
- Serviço Móvel Celular (SMC): serviço de telecomunicações móvel terrestre, aberto à correspondência pública, que utiliza sistema de radiocomunicações com técnica celular interconectado à rede pública de telecomunicações e

acessado por meio de terminais portáteis, transportáveis ou veiculares, de uso individual.

- Concessionária de SMC: entidade que explora regularmente o SMC na respectiva Área de Concessão deste serviço. Caso da banda "A" em São Paulo é a Telesp.
- Concessionária de STP: entidade que explora regularmente o Serviço Telefônico Público (STP) na respectiva Área de Concessão deste serviço.
- "Roaming": procedimento de rede que possibilita o atendimento ao Assinante Visitante, permitindo sua identificação para o sistema, a validação do seu perfil de serviço, o encaminhamento das chamadas originadas e a entrega de chamadas terminadas, dentre outras funções.
- Interconexão: é a ligação entre redes de Concessionárias de SMC, de Concessionárias de STP e de empresa exploradora de troncos interestaduais e internacionais, com o fim de permitir o tráfego das comunicações entre suas redes.

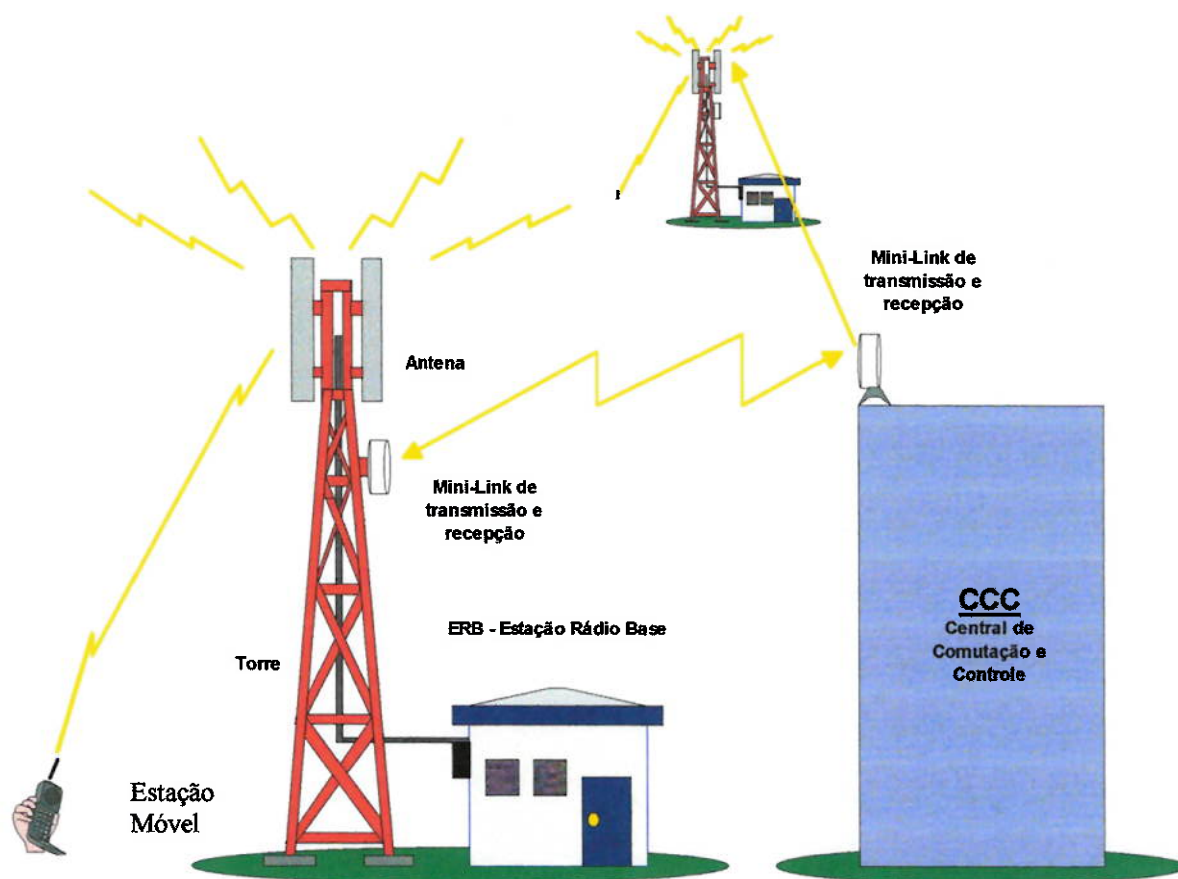
2.6 - Características Essenciais do Sistema Celular

Componentes básicos da telefonia móvel:

Existem quatro elementos principais:

- Estação Móvel
- Estação Rádio Base ERB
- Central de comutação e controle CCC
- Rede telefônica convencional

Uma explicação geral da rede celular esta ilustrada a seguir.



Representação do funcionamento do sistema celular e seus componentes, Elaborado pelo Autor

2.7 - A Estação Móvel

A estação móvel é o telefone celular portátil, a interface entre o usuário e a ERB. Além de comunicação de voz a estação móvel pode fornecer processamento e controle de sinais, usualmente realizados por um microprocessador. A unidade móvel é capaz de sintonizar, sobre o comando do grupo, para qualquer canal dentro do espectro de frequência alocado para o sistema. Cada canal compreende um par de frequências para uma conversação de duas vias .

Toda chamada de uma unidade móvel produz uma identificação do assinante e dos dígitos discados. A estação móvel pode ser um celular instalado em uma carro, um celular portátil ou ainda outros tipos como o celular rural, por exemplo.

2.8 - A ERB

As estações rádio base são responsáveis por servir as chamadas das estações móveis localizadas em suas respectivas células. As ERBs são constituídas por dois elementos: O Rádio e o Controle. O Rádio compreende equipamentos transmissores, receptores, torres, antenas, etc.. O Controle é uma unidade microprocessada responsável pelo controle, monitoramento e supervisão das chamadas.

2.9 - A Central de Comutação e Controle CCC

A CCC é uma central telefônica especialmente montada para os serviços de celular . Ela faz a interface entre o sistema móvel e a rede de telefonia fixa , além de controlar o sistema que executa o SMC.

O número de células conectadas em uma CCC varia de acordo com as necessidades , uma CCC pode ser responsável por uma grande área metropolitana ou por pequenas cidades vizinhas.

2.10 – A Rede Publica de Telefonia

Ela é usada para fazer a integração de todo o sistema de telecomunicações. A CCC trata o sistema celular como um sistema convencional.

Capítulo 3 -Tecnologías

Capítulo 3

3 - Tecnologias

3.1 - O Passado, O Presente e O Futuro do Celular

A comunicação através de celulares foi introduzida em 1983, usando-se o AMPS (Advanced Mobile Phone System), para diferenciarmos esta tecnologia das primeiras usadas em telefones móveis. O AMPS é a comunicação padrão que suporta quase toda a rede Norte Americana de Celular. Ela usa dois tipos de canais analógicos de rádio: Canais de controle, que são canais de 30KHz que carregam dados; e canais de voz, que são também de 30 KHz, carregando sinais de voz FM (Frequência Modulada).

Desde que foi introduzida, a demanda pelo serviço AMPS tem crescido a uma taxa que continuamente excede as previsões dos analistas. Este crescimento tem estendido a largura da banda de rádio alocada para o uso do celular e tem forçado operadoras a procurar novos meios de aumentar a capacidade de seus sistemas

A mais simples maneira, que é a essência do conceito de celular, é fazer células menores, assim permitindo o reuso do espectro alocado em diferentes áreas.

Em muitas áreas urbanas, o limite prático de reuso foi alcançado a poucos anos atrás, e em antecipação a isto, a indústria do celular investiu considerável esforço nos anos 80 definindo um novo padrão que irá permitir elevar a capacidade. Este padrão adotado- TDMA (Time Division Multiple Access)- é o método para alocação de canais de rádio. Esta especificação (TIA IS-54) promove um aumento de três vezes na capacidade do sistema, e ele tem sido aumentado para incluir vários outros serviços, como autenticação (que usa sofisticada tecnologia para combater fraudes), chamada ID, voice mail indication etc. Uma das mais importantes restrições do projeto no

desenvolvimento do padrão TDMA foi a compatibilidade e coexistência com AMPS já existente, é muito importante que se permita toda a migração do AMPS para o celular digital, de uma maneira facilmente gerenciável. O padrão IS-54B TDMA fornece para duplo modo de operação, usando controle de canal AMPS com tráfego digital, e também suportando canais de voz analógico. Este é também frequentemente referido como D-AMPS, ou digital AMPS.

Brevemente depois o padrão D-AMPS foi finalizado, tecnologias mais competitivas vieram à tona. CDMA (Code Division Multiple Access) foi proposto como uma técnica de múltiplo acesso usando tecnologia de espectro estendido, sustentada por vários operadores.

O CDMA foi originado e estimulado como um caminho para realizar um aumento de magnitude sobre o D-AMPS. O CDMA tem sido testado no campo experimental por vários anos, mas os resultados destas tentativas não tem sido disponibilizados para o público. A Hughes Network Systems propôs um aumento da versão TDMA, chamada E-TDMA, que usa transmissão dinâmica do TDMA e realiza melhoras significantes na capacidade padrão do TDMA. Ambos CDMA e E-TDMA permitem processamento de linguagem mais sofisticados, e surgem para a demanda, oferecendo muito mais poder de processamento para alcançar seus objetivos.

A Motorola dedicou-se a um caminho independente de desenvolvimento, o N-AMPS (Narrowband AMPS). O N-AMPS usa canais FM de 10KHz, então promove um aumento de três vezes na capacidade.

Comparações de capacidade de sistemas são muito mais complicadas do que simplesmente exposições de números, porque a maior dificuldade no projeto do sistema celular é otimizar a densidade de usuários em um ambiente onde o sinal de cada um interfere com o de outro. Deste modo, embalando mais tráfego de voz no mesmo espectro de banda não é nenhum benefício se você pode perder a garantia contra interferência. No final, testes na vida real parecem ser o único modo de responder algumas destas importantes questões.

3.2 -Situação Hoje

A situação encontrada atualmente é a seguinte:

O GSM é o padrão desenvolvido pelo European Standarts Committees (ITU), e usa TDMA (seu espaçamento de canal e técnicas são diferentes do D-AMPS). Uma banda de espectro de 1900 MHz foi leiloadada em 1995/1996 para o PCS (Personal Communication Services), e irá em alguns casos ser usada para provisão do serviço de celular. O DCS-1900, que é o GSM deslocado do seu original 900 MHz para a banda de 1900 MHz, é o primeiro serviço comercial a ser oferecido nas novas bandas PCS. O D-AMPS seguindo o padrão IS-54B esta disponível por toda a América do Norte e em muitos mercados do mundo, na banda de celular. Tem - se levado de quatro à cinco anos para se desenvolver um sistema de alta qualidade de celular digital usando o D-AMPS. Um par de sistema CDMA estão no ar no momento em que um pequeno assinante abre sua conta (Coréia do Sul e Hong-Kong) e em Los Angeles esta se chegando em termos experimentais, as mesmas condições.

É instrutivo rever-se os fatores que têm liderado o rápido crescimento do GSM e AMPS. Nos próximos anos do celular na Europa, interesses nacionais motivados pelo desenvolvimento de diferentes tecnologias em cada país: NMT nos países nórdicos, TACS no Reino Unido e assim por diante. Os preços dos produtos e serviços continuam altos comparando com AMPS na América do Norte , e consumidores se desgostam por não poderem usar seus celulares em viagens para países vizinhos. O GSM foi desenvolvido para unificar esta situação, criando um mercado maior com correspondente economia de escala para os fabricantes, enquanto fornecem melhores serviços para os consumidores. É provável uma razoável suposição que os Europeus estão parcialmente motivados pelo grande sucesso do AMPS na América do Norte, onde um simples padrão domina o continente. O GSM tem tido sucesso com relação a este objetivo e irá rapidamente substituir os históricos padrões nacionais.

O D-AMPS tem crescido vagarosamente na América do Norte por uma simples razão: O AMPS oferece melhor cobertura, qualidade adequada e produtos com custo mais baixos. Se o D-AMPS tivesse que competir com a fragmentada rede (como na Europa), seu crescimento deveria ser mais rápido. Mas o AMPS é percebido como adequado pela maioria dos consumidores, e o mercado consumidor de produtos para celulares e serviços é fortemente sensível aos preços.

3.3 - O Que Irá Acontecer Depois?

Esta é a questão de 64 bilhões de dólares!!!. Em 1983, nenhum analista de respeito teria tido uma previsão de que o celular fosse crescer para uma quantia de 36.000.000 assinantes na América do Norte.

Em 1991 o crescimento do celular como um serviço de consumo foi claramente estabelecido, mas ninguém teria previsão do contínuo crescimento do AMPS e do vagaroso crescimento do celular digital na América do Norte. Dois anos depois, ninguém esperava o leilão dos 1900 MHz fosse trazer os bilhões de dólares que a FCC (Federal Communication Commission) arrecadou. A conclusão óbvia é que você não pode prever este mercado inconstante, mas deve estar sempre pronto praticamente para tudo.

Alguns observadores sentem que isto é apenas uma questão de tempo antes que o GSM invada todo o mundo. O D-AMPS tem crescido e tem estabelecido uma sólida marca no mercado doméstico. O CDMA pode oferecer vantagens técnicas, mas a realidade destas vantagens não serão adequadamente demonstradas antes que testes em campos com o maior número de assinantes forem feitos e os resultados mostrados publicamente. A aposta conservativa é que o GSM, D-AMPS, e CDMA irão todos sobreviver, cada um em um diferente segmento de mercado: A indústria do celular é atualmente grande suficiente que nichos são respeitados como grandes oportunidades de negócio.

Quando o celular digital irá tomar a América do Norte? O D-AMPS e outra tecnologia de digital celular/PCS, irão suceder na América do Norte

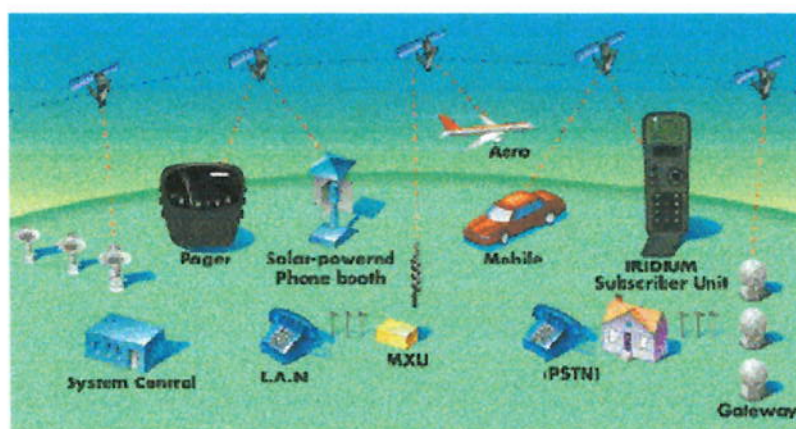
quando eles oferecerem melhores serviços perceptíveis em relação à competitividade de preço do AMPS . Com a disponibilidade de mais bandas no sistema PCS, a competição da indústria do celular irá aumentar rapidamente no começo dos anos de 1998.

Internacionalmente, o GSM e o D-AMPS estão ambos se desenvolvendo rapidamente. O D-AMPS é obviamente a escolha para os que adotaram os sistema AMPS, porque mantém a estrutura de canais, planos de rádio frequência, gerenciamento de assinantes, e automática peregrinação da infraestrutura do AMPS enquanto oferece um futuro que é equivalente ou melhor que o GSM. O GSM é obviamente a escolha para aqueles que querem manter a estrutura do sistema na Europa. O consórcio UWC (Universal Wireless Communications) tem sido formado para desenvolver e promover as tecnologias D-AMPS e WIN como base para a total mobilidade dos serviços celular, especialmente no mercado internacional.

Existem ainda outras tecnologias despontando, como por exemplo o projeto IRIDIUM da Motorola, que se baseia na transmissão via satélite, uma explicação sumária deste projeto esta descrita a seguir.

Projeto **IRIDIUM**

O projeto IRIDIUM é um sistema de telecomunicações remoto baseado em uma rede construída para permitir qualquer transmissão telefônica, de qualquer lugar do planeta—voz, dados, fax ou paging. Para isto será lançada ao espaço a constelação de satélites chamada constelação IRIDIUM, que será constituída de 66 satélites interconectados entre si orbitando em órbita baixa de aproximadamente 780.000 metros de altura. Este sistema irá simplificar as telecomunicações para empresas, profissionais de negócios, viajantes, residências rurais, áreas pouco desenvolvidas, ou de relevo muito acidentado, e outros que necessitam das características e conveniências de um telefone sem fio portátil e de alcance global.



Esquema de funcionamento do projeto IRIDIUM, extraído do site <http://www.mot.com/>

Os satélites da constelação IRIDIUM

Os satélites IRIDIUM, pesando aproximadamente 680 KG, irão orbitar a terra à aproximadamente 780.000 metros de altura e se comunicarão diretamente com o equipamento do usuário IRIDIUM. Cada um dos 66 satélites da constelação irá enviar sinais para a terra de modo que diferentemente de um satélite geo-estacionário, que se situa à aproximadamente 42.000.000 de metros de altura, os satélites IRIDIUM serão capazes de se comunicarem diretamente com o telefone portátil.

Os links terrestres (IRIDIUM GATEWAYS)



Esquema de Link (Gateway),
extraído do site <http://www.mot.com/>

Localizados em regiões estratégicas os links terrestres irão conectar a constelação IRIDIUM com a rede publica de telefonia. Esta função irá possibilitar a comunicação entre os telefones IRIDIUM e os outros tipos de telefone do mundo

O coração do sistema IRIDIUM é o link, baseado no padrão GSM (Global System for Mobile Communications) de telefonia celular o que faz com que seja possível a integração do sistema IRIDIUM com os serviços de telecomunicações já existentes.

O sistema de controle serve como uma central de gerenciamento para o sistema. Ele é responsável pelo controle dos satélites e da rede , entre outras funções como regular a posição dos satélites durante o lançamento e depois durante órbita.

Aparelhos IRIDIUM

O telefone portátil será o Dual ou seja, poderá funcionar como um telefone terrestre, em áreas onde o serviço de celular já existe, ou como um telefone via satélite. Quanto ao pager, ele será possível de receber mensagens alfanuméricas, assim como os atuais, porém ele poderá ser usado em qualquer parte do globo.



**Telefone
portátil**

IRIDIUM



Pager

IRIDIUM

Exemplo de aparelhos IRIDIUM, extraído do site <http://www.mot.com/>

Capítulo 4 Banda “B”

Capítulo 4

4.1 - O Que É, e Como Funcionará a Banda "B"

Este capítulo será destinado a uma breve explicação de como funciona a Banda "B", quais são os consórcios que estão participando das concorrências e de como foi dividido o território brasileiro para exploração do serviço de telefonia celular pela iniciativa privada.



Divisão do território Brasileiro na Banda "B", elaborado pelo Autor

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
Região	Grande São Paulo e outros municípios	Interior e litoral do estado de São Paulo, excluindo-se os municípios da área 1	Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo	Estado de Minas Gerais	Estados do Paraná e Santa Catarina
Preço min.	600 milhões	600 milhões	500 milhões	400 milhões	330 milhões
	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10
Região	Estado do Rio Grande do Sul	Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Rondônia, Acre e Distrito Federal	Estados do Amazonas, Roraima, Amapá, Pará e Maranhão	Estados da Bahia e Sergipe	Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas
Preço min.	330 milhões	270 milhões	200 milhões	230 milhões	230 milhões

Área 1 municípios pertencentes ao Estado de São Paulo: Alumínio, Araguaiana, Arujá, Atibaia, Barueri, Biritiba-Mirim, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista, Cabreúva, Caieiras, Cajamar, Campo Limpo Paulista, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embú, Embú-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guararema, Guarulhos, Igaratá, Itapeverica da Serra, Itapevi, Itauaquecetuba, Itatiba, Itu, Itupeva, Jandira, Jarinú, Joanópolis, Jundiaí, Juquitiba, Mairinque, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Morungaba, Nazaré Paulista, Osasco, Pedra Bela, Pinhalzinho, Piracaia, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Salto, Santa Isabel, Santana do Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do sul, São Lourenço da Serra, São Paulo, São Roque, Suzano, Taboão da Serra, Tuiuti, Vargem, Vargem Grande Paulista e Várzea Paulista.

Regiões de Concessão do território Brasileiro na Banda "B", elaborado pelo Autor

4.2 - As Áreas de Concessão

Desde o dia 31 de dezembro de 1996, o Brasil ficou dividido oficialmente em dez áreas distintas de exploração de telefonia móvel celular, que serão destinadas aos investidores privados da Banda "B". Esta banda irá competir com a Banda "A" que é pública.

As quatro primeiras áreas, constituídas pela região metropolitana de São Paulo (Área 1), o interior paulista (Área 2), os Estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo (Área 3) e de Minas Gerais (Área 4), são as mais valorizadas, por concentrarem mais de 80% do mercado de telecomunicações nacional.

As outras seis áreas têm menor valor, pois reúnem os Estados com menor população e procura inferior pelos serviços.

Para cada uma dessas áreas será escolhida uma nova operadora de serviço de telefonia celular. A escolha será feita por meio de licitação pública entre os investidores da iniciativa privada.

Calcula-se que somente a venda das concessões renderá R\$ 5 bilhões aos cofres públicos.

4.3 – Os Editais

A licitação para a escolha das novas operadoras será por leilão, ou seja, as empresas concorrentes apresentarão envelopes fechados contendo valores tarifários e os preços da concessão que pretendem adotar. É esperado que até o final do ano de 1997, se iniciem as primeiras operações pelo controle privado.

O critério de escolha do vencedor será misto, envolvendo o menor preço de tarifa e a maior oferta de dinheiro pela concessão. A tarifa terá peso de 30% no processo, e a maior oferta pela concessão terá peso de 70%.

As empresas que conseguirem maior pontuação dentro destes critérios serão as vencedoras em cada uma das regiões.

Quem vencer em duas áreas nobres (Área 1 à Área 4) terá de optar por uma delas. Mas não haverá esta limitação para o caso de uma vitória de uma única empresa para uma área nobre e uma outra não nobre. As novas operadoras irão competir com as atuais empresas telefônicas do Sistema Telebrás, que atuam na banda "A". O prazo da concessão será por quinze anos, podendo então ser renovado por igual período.

4.4 - Os Consórcios

Os consórcios formados para disputa da telefonia celular da banda "B" no Brasil, assim como as respectivas áreas de interesse de cada um deles estão demonstrados na tabela abaixo.

	1- Avantel Comunicações	2- Brascom	3- Consórcio Lightel	4- Consórcio Hutchison/Cowan	5- Mcom Wireless
Sócios	- Construtora Camargo Corrêa - Stelar Telecom (Odebrecht) - Unibanco - Air Touch (telefônica EUA) - Empresa Folha da Manhã S/A	- AG (Andrade Gutierrez) - Grupo Monteiro Aranha - SouthWestern Bell (telefônica EUA) - Mannesman (Alemanha)	- Lightel (telefônica do grupo mineiro Algar) - Korea Mobile Telecom (Coreia) - Construtora Queiroz Galvão	- Hutchison (telefônica de Hong Kong) - Construtora Cowan	- GP Investimentos (ligado ao banco Garantia) - Macau (empresário Antônio Dias Leite Neto, da multicanal) - Comcast (TV a cabo e companhia telefônica dos EUA) - Grupo Carso (sócio da telefônica mexicana Telmex)
Áreas	1,2,3,4,5,6,9 e 10	1,2,3,4,5 e 6	5,6 e 10	4 e 5	3

	6-TT2 Telecomunicações S/A	7- Consórcio Tess	8- Telet S/A	9- Consórcio BCP	10- GFTT S/A
Sócios	- AT&T (telefônica norte-americana) - Stet (telefônica estatal italiana) - Organizações Globo - Banco Bradesco	- Telia (telefônica estatal Sueca) - Erlene Celular (Brasil) - Primav (subsidiária da construtora CR Almeida)	- Telesystem - International Wireless (Canadá) - Bell Canadá fundos de pensão brasileiros - Citybank - Banco Opportunity - Grupo La Fonte - Banco do Brasil Investimentos	- BellSouth (Telefônica dos Estados Unidos) - Splice do Brasil (indústria de telecomunicações de SP) - OESP (grupo "Estado de SP") - Banco Safra	- France Telecom (telefônica estatal Francesa) - Teldin (Grupo Evadin) - Fundo de investimentos administrado pelo Garantia
Áreas	1,2, e 3	1,2,3,4,5,6,9 e 10	1,2,3,4,5 e 6	1,2,3,4,5 e 6	1,3,5 e 10

	11- Consórcio Algar	12- Consórcio BSE S/A	13- Americal	14- Vicunha Telecomunicações	15- Global Telecom
Sócios	- Grupo Algar (Controlador da Lightel) - Construtora Queiroz Galvão - Korea Mobile Telecom (Coreia)	- BellSouth - OESP - Banco Safra - Splice do Brasil	- Telesystem (Canadá) - Fundos de pensão brasileiros - Bell Canadá - Grupo La Fonte - Banco do Brasil DTVM - Citybank - Banco Opportunity	- Stet (telefônica estatal italiana) - Grupo Vicunha - Organizações Globo - Bradesco	- DDI (telefônica do Japão) - Grupo Inepar - Nissho Iway (trading do Japão) - Cia Suzano de Papel e Celulose
Áreas	3	9 e 10	7,9 e 10	4,5,6,9 e 10	2,4,5 e 6

Consórcios que disputam a telefonia celular banda "B" no Brasil, Elaborado pelo Autor, Fonte Edital de Concorrência N.º001/96-SFO/MC

4.5- O Cronograma de Implantação da Área 2

O cronograma para a área 2 foi feito, seguindo-se o tamanho da população das cidades que fazem parte do projeto de implantação, serão cinco anos de projeto e serão atendidas primeiramente as localidades com maior número de habitantes. O Cronograma para a área 2 esta descrito a seguir:

1º ANO Municípios com mais de 200 mil habitantes	2º ANO Municípios com mais de 100 mil habitantes	3º ANO Municípios com mais de 75 mil habitantes	4º ANO Municípios com mais de 50 mil habitantes	5º ANO Municípios com mais de 30 mil habitantes
Bauri	Americana	Araras	Andradina	Adamantina
Campinas	Araçatuba	Assis	Avaré	Amparo
Franca	Anaraquara	Barretos	Bebedouro	Aparecida
Limeira	Guarujá	Birigui	Caçapava	Barra Bonita
Piracicaba	Indaiatuba	Botucatu	Cruzeiro	Batatais
Ribeirão Preto	Jacarei	Catanduva	Fernandópolis	Campos do Jordão
Santos	Marília	Cubatão	Itapeva	Capão Bonito
São José Do Rio Preto	Presidente Prudente	Guaratinguetá	Itapira	Capivari
São José Dos Campos	Rio Claro	Itapetininga	Jaboticabal	Caraguatatuba
São Vicente	Santa Bárbara d' Oeste	Jau	Leme	Cosmópolis
Sorocaba	São Carlos	Mogi Guaçu	Lins	Dracena
	Taubaté	Ourinhos	Lorena	Espírito Santo do Pinhal
		Pindamonhangaba	Matão	Garça
		Praia Grande	Mococa	Guaíra
		Tatui	Mogi Mirim	Ibitinga
		Votorantim	Pirassununga	Ibiúna
			São João Da Boa Vista	Itanhaém
			Sertãozinho	Itararé
			Sumaré	Jales
			Valinhos	Lençóis Paulista
			Votuporanga	Mirassol
				Monte Alto
				Nova Odessa
				Olimpia
				Orlândia
				Paraguacu Paulista
				Paulínia
				Penápolis
				Peruíbe
				Piedade
				Porto Feliz
				Porto Ferreira
				Presidente Epitácio

Cronograma de Implantação do SMC para a Área 2 de São Paulo, Elaborado pelo Autor, Fonte Edital de Concorrência N.º 001/96-SFO/MC

4.6 - O número de linhas para a área 2

Para a implantação dos primeiros cinco anos do sistema de acordo com as estimativas do mercado, serão implantados na área 2, cerca 1.500.000 linhas de telefones celulares durante os cinco anos de implantação.

4.7 - O número de ERBs para a área 2

BANDA "B" SÃO PAULO INTERIOR

NÚMERO DE LINHAS A SEREM VENDIDAS ATÉ O FINAL DO 5º ANO 1.500.000,00

	CIDADES	1º ANO POPULAÇÃO 11	2º ANO POPULAÇÃO 12	3º ANO POPULAÇÃO 16	4º ANO POPULAÇÃO 21	5º ANO POPULAÇÃO 33	TOTAL 93	%	LINHAS POR CIDADE	Nº DE ERB'S
1	Adamantina					31.433	31.433	0,26%	4.267,82	2
2	Adolfo		167.901			167.901	167.901	1,52%	22.786,91	8
3	Adolfo					55.238	55.238	0,50%	7.503,09	3
4	Adolfo				55.238		55.238	0,49%	7.276,08	3
5	Adolfo					34.335	34.335	0,31%	4.661,84	2
6	Adolfo		162.548			162.548	162.548	1,47%	22.098,75	8
7	Adolfo		163.931			163.931	163.931	1,48%	22.244,35	8
8	Adolfo			95.943		95.943	95.943	0,87%	13.026,88	5
9	Adolfo			85.074		85.074	85.074	0,76%	11.276,40	4
10	Adolfo				66.568		66.568	0,60%	8.445,62	4
11	Adolfo					33.560	33.560	0,30%	4.533,44	2
12	Adolfo			104.762		104.762	104.762	0,95%	14.228,81	5
13	Adolfo					48.018	48.018	0,44%	6.448,11	3
14	Adolfo	293.026				293.026	293.026	2,65%	39.785,58	14
15	Adolfo				72.620		72.620	0,66%	9.860,00	4
16	Adolfo			95.354		95.354	95.354	0,87%	11.586,96	4
17	Adolfo			100.826		100.826	100.826	0,91%	13.586,98	5
18	Adolfo				66.075		66.075	0,60%	8.822,97	4
19	Adolfo	807.896				807.896	807.896	7,32%	109.285,43	42
20	Adolfo					35.996	35.996	0,33%	4.867,77	2
21	Adolfo					46.510	46.510	0,43%	6.316,13	3
22	Adolfo					37.434	37.434	0,34%	5.078,54	2
23	Adolfo					67.083	67.083	0,61%	9.028,21	4
24	Adolfo			100.913		100.913	100.913	0,91%	13.701,46	5
25	Adolfo					41.585	41.585	0,38%	5.643,50	2
26	Adolfo				72.118		72.118	0,65%	9.761,94	4
27	Adolfo			96.486		96.486	96.486	0,87%	13.100,42	5
28	Adolfo					38.996	38.996	0,36%	5.230,47	2
29	Adolfo					37.858	37.858	0,34%	5.140,18	2
30	Adolfo			56.037		56.037	56.037	0,51%	7.512,77	3
31	Adolfo	268.909				268.909	268.909	2,42%	36.238,65	13
32	Adolfo					41.185	41.185	0,37%	5.581,91	2
33	Adolfo					32.205	32.205	0,29%	4.372,64	2
34	Adolfo			98.034		98.034	98.034	0,89%	13.378,74	5
35	Adolfo		228.185			228.185	228.185	2,05%	30.710,34	11
36	Adolfo					41.049	41.049	0,37%	5.573,44	2
37	Adolfo					55.906	55.906	0,51%	7.503,09	3
38	Adolfo		122.158			122.158	122.158	1,11%	16.586,17	6
39	Adolfo					60.354	60.354	0,55%	8.184,59	3
40	Adolfo			111.909		111.909	111.909	1,01%	15.194,48	6
41	Adolfo				77.656		77.656	0,70%	10.543,77	4
42	Adolfo				60.626		60.626	0,55%	8.231,51	3
43	Adolfo					45.118	45.118	0,41%	6.125,84	3
44	Adolfo					82.862	82.862	0,75%	11.043,33	4
45	Adolfo		168.030			168.030	168.030	1,52%	22.786,91	8
46	Adolfo					44.433	44.433	0,40%	6.032,90	3
47	Adolfo			103.606		103.606	103.606	0,94%	14.087,00	5
48	Adolfo				77.751		77.751	0,70%	10.556,67	4
49	Adolfo					46.224	46.224	0,42%	6.184,53	3
50	Adolfo	250.292				250.292	250.292	2,26%	34.287,98	11
51	Adolfo					60.720	60.720	0,55%	8.244,28	3
52	Adolfo					73.277	73.277	0,66%	9.860,00	4
53	Adolfo		177.805			177.805	177.805	1,61%	24.100,35	9
54	Adolfo				86.721		86.721	0,79%	11.682,29	5
55	Adolfo					43.130	43.130	0,39%	5.867,21	2
56	Adolfo					63.690	63.690	0,58%	8.547,53	3
57	Adolfo			114.555		114.555	114.555	1,04%	15.553,74	6
58	Adolfo				75.373		75.373	0,68%	10.233,79	4
59	Adolfo					42.192	42.192	0,38%	5.728,63	2
60	Adolfo					37.420	37.420	0,34%	5.080,71	2
61	Adolfo					46.662	46.662	0,42%	6.335,55	3
62	Adolfo					34.201	34.201	0,31%	4.643,65	2
63	Adolfo			86.891		86.891	86.891	0,79%	11.798,29	4
64	Adolfo					37.762	37.762	0,34%	5.121,15	2
65	Adolfo					44.440	44.440	0,40%	6.033,95	3
66	Adolfo					50.315	50.315	0,46%	6.851,53	3
67	Adolfo					41.390	41.390	0,37%	5.616,74	2
68	Adolfo					41.249	41.249	0,37%	5.600,85	2
69	Adolfo			114.082		114.082	114.082	1,03%	15.490,88	6
70	Adolfo	302.805				302.805	302.805	2,74%	41.098,28	14
71	Adolfo				62.636		62.636	0,57%	8.504,42	3
72	Adolfo					42.648	42.648	0,38%	5.791,68	2
73	Adolfo					43.983	43.983	0,40%	5.955,51	2
74	Adolfo			160.874		160.874	160.874	1,46%	22.444,25	7
75	Adolfo					36.078	36.078	0,33%	4.868,23	2
76	Adolfo		177.298			177.298	177.298	1,60%	24.056,27	9
77	Adolfo	452.804				452.804	452.804	4,10%	61.478,00	21
78	Adolfo		153.035			153.035	153.035	1,39%	20.777,01	7
79	Adolfo		161.020			161.020	161.020	1,48%	21.862,54	8
80	Adolfo	412.268				412.268	412.268	3,73%	55.878,63	19
81	Adolfo		178.295			178.295	178.295	1,59%	24.000,75	8
82	Adolfo				73.874		73.874	0,67%	10.005,11	4
83	Adolfo	323.418				323.418	323.418	2,93%	43.815,18	15
84	Adolfo	486.780				486.780	486.780	4,40%	65.595,82	22
85	Adolfo	278.820				278.820	278.820	2,53%	37.588,49	13
86	Adolfo				86.531		86.531	0,80%	12.020,32	5
87	Adolfo	431.370				431.370	431.370	3,94%	58.545,35	20
88	Adolfo				167.751		167.751	1,52%	22.778,44	8
89	Adolfo			84.873		84.873	84.873	0,77%	11.498,50	4
90	Adolfo		225.179			225.179	225.179	2,06%	30.094,67	10
91	Adolfo				75.898		75.898	0,69%	10.071,60	4
92	Adolfo			87.198		87.198	87.198	0,79%	11.837,71	4
93	Adolfo			69.831		69.831	69.831	0,63%	9.481,32	4
POPULAÇÃO		4.398.106	2.074.910	1.619.947	1.551.061	1.416.639	11.047.665	100,00%	1.500.000,00	544
POPULAÇÃO ACUMULADA		4.398.106	6.461.016	8.079.965	9.631.026	11.047.665				
% ATENDIDA		39,70%	58,48%	73,14%	87,19%	100,00%				

Tabela do Cálculo do Número de ERBs na Área 2, Elaborado pelo Autor, Fonte: IBGE

A tabela mostra o processo de determinação do número de ERBS para cada cidade a partir do tamanho de sua população, o processo usado foi o seguinte:

- O primeiro passo foi consultar os editais antigos da Telesp, para pesquisar e determinar o número de assinantes por ERB que foi utilizado na implantação da ampliação da banda "A" no Estado de São Paulo.
- Depois de levantados os dados de algumas cidades, nas quais os sistema de telefonia celular da banda "A" foi ampliado, foi possível se montar a tabela a seguir. Com esta tabela foi possível se estimar o número médio de assinantes por cada estação. Como podemos observar, este número ficou em torno de 1000 assinantes por ERB, no caso da banda "A", onde o equipamento utilizado, é de padrão analógico, o AMPS (Advanced Mobile Phone System).

No caso da banda "B", o equipamento mais provável a ser utilizado para a área 2 será o TDMA (Time Division Multiple Access), que usa tecnologia digital, com este tipo de equipamento, a capacidade do sistema pode ser ampliada de até três vezes.

Como medida de segurança, decidimos então adotarmos para cálculo do número de ERBS a média de 3000 assinantes por ERB, é importante lembrar, que para o cálculo exato do número de assinantes por ERB, é necessário primeiramente o estudo de RF (Rádio frequência), para sabermos exatamente a localização de cada ERB, depois disso o equipamento exato e a potência do mesmo, e só assim poderíamos ter exatamente o número que procuramos, porém este tipo de estudo (RF) cabe à operadora que vencer a concessão, e não necessariamente o plano de RF feito por uma operadora seria o mesmo que o de outra, desta forma foge ao escopo deste trabalho a determinação exata do número de assinantes por ERB.

Os dados da tabela abaixo foram retirados dos antigos editais da Telesp para a ampliação do sistema de telefonia (no Estado de São Paulo) celular da Banda "A", onde o sistema utilizados foi o AMPS.

	Erbs	Nº de linhas	Assinantes por Erb
Araçatuba	52	50.000,00	961,54
Campinas	69	100.000,00	1.449,28
Grande São Paulo	539	460.000,00	853,43
Jundiai	68	80.000,00	1.176,47
Rio Claro e S. J. da Boa Vista	67	50.000,00	746,27
Santos Guarujá	51	80.000,00	1.568,63
Sorocaba	77	80.000,00	1.038,96
Taubaté	51	50.000,00	980,39
Média			1096,87

Tabela: Número de Linhas X Número de Estações, Elaborada pelo Autor, fonte Editais Telesp Banda "A"

Capítulo 5 Definição do problema

Capítulo 5

5- Definição do Problema

5.1 – O Problema

Qual o número de GMG's (Grupo Motor Gerador) móveis que será necessário na implantação da telefonia Celular na banda "B", nas cidades que estão relacionadas nos 5 primeiros anos .

Primeiramente apresentaremos o que é um GMG e porque ele existe.

5.2 – Os GMG's

O GMG é um gerador de eletricidade que gera energia elétrica usando o Diesel como combustível, ele pode ser fixo ou móvel, no caso dos móveis (os que nos interessa determinar a quantidade) eles são montados sobre carretas que podem ser engatadas em caminhões transportadores, de modo que eles possam atender diferentes localidades, bastando para isso o seu transporte até o devido local.

A ERB necessita de energia elétrica, esta normalmente é fornecida pela rede elétrica local, porém por vezes ocorre que a energia elétrica fornecida pela rede local "CAI" ou seja por algum motivo as linhas são desenergizadas e com isso a ERB fica sem alimentação elétrica.

Sem energia elétrica a ERB pára de funcionar, e com isso o sistema pode sair do ar, causando assim um enorme prejuízo para os usuários e também para a operadora, além de multas pesadas que constam em contrato

(No caso da Banda "B" , esta é uma das principais preocupações dos consórcios).

5.3 - Infrações e Penalidades

Quando o SMC estiver funcionando, a operadora deverá garantir a segurança e o funcionamento do mesmo, caso isto não ocorra poderão ser aplicadas multas e penalidades aos responsáveis. A penalidade de multa poderá ser aplicada quando a Concessionária de SMC, entre outros casos:

- 1) interromper o serviço, sem motivo justificado ou sem comunicar o fato ao Ministério das Comunicações;*
- 2) prestar o SMC de forma sistematicamente inadequada ou deficiente, tendo por base os regulamentos técnicos, critérios, indicadores e parâmetros definidores da qualidade do serviço;*
- 3) tornar-se incapaz legal, técnica, econômica ou financeiramente para a exploração do serviço.*

5.4 - Serviço Adequado

De acordo com o edital da concorrência n.º 001/96-SFO/MC, são colocadas as condições para que o serviço que a operadora estiver prestando seja considerado adequado.

Cláusula 11ª A CONCESSIONÁRIA deverá prestar serviço adequado ao pleno atendimento das necessidades dos usuários e que satisfaça as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade de tarifas.

Clausula 12ª Para fins de aferição da qualidade do serviço, serão observados os parâmetros indicados nas alíneas seguintes, respectivamente, quanto a:

- a) regularidade e continuidade: prestação continua do serviço nas condições prevista neste contrato e nas normas regulamentares e técnicas aplicáveis;
- b) eficiência: oferta de serviços em padrões satisfatórios que assegurem; qualitativa quantitativamente, a satisfação dos usuários e o cumprimento dos objetivos da concessão;
- c) segurança: adoção de medidas eficazes para conservação e manutenção das instalações utilizadas na prestação do serviço e para prevenção de acidentes;
- d) atualidade: modernização das técnicas, equipamentos e instalações utilizados na prestação do serviço, assim como melhoria e expansão do serviço;
- e) generalidade: universalidade na prestação dos serviços, assim entendida a disponibilidade do serviço a todos os usuários, sem discriminação;
- f) cortesia: disponibilidade de informações aos usuários, adequada atenção as suas necessidades e polidez no atendimento.

Clausula 13ª. A interrupção do serviço, em situação de emergência ou, após prévio aviso, por razões de ordem técnica ou de segurança de pessoas e bens ou diante de inadimplemento do usuário, considerando o interesse da coletividade não caracteriza descontinuidade do serviço.

5.5- A Sala de Baterias

Para que a falta de energia elétrica não impeça o sistema de funcionar, a ERB é equipada com uma sala de baterias que pode fornecer energia para o sistema continuar funcionando até um período máximo de seis horas, ou seja a partir do momento em que cai a energia da rede, as baterias entram em funcionamento e durante 6 horas o sistema continua funcionando.



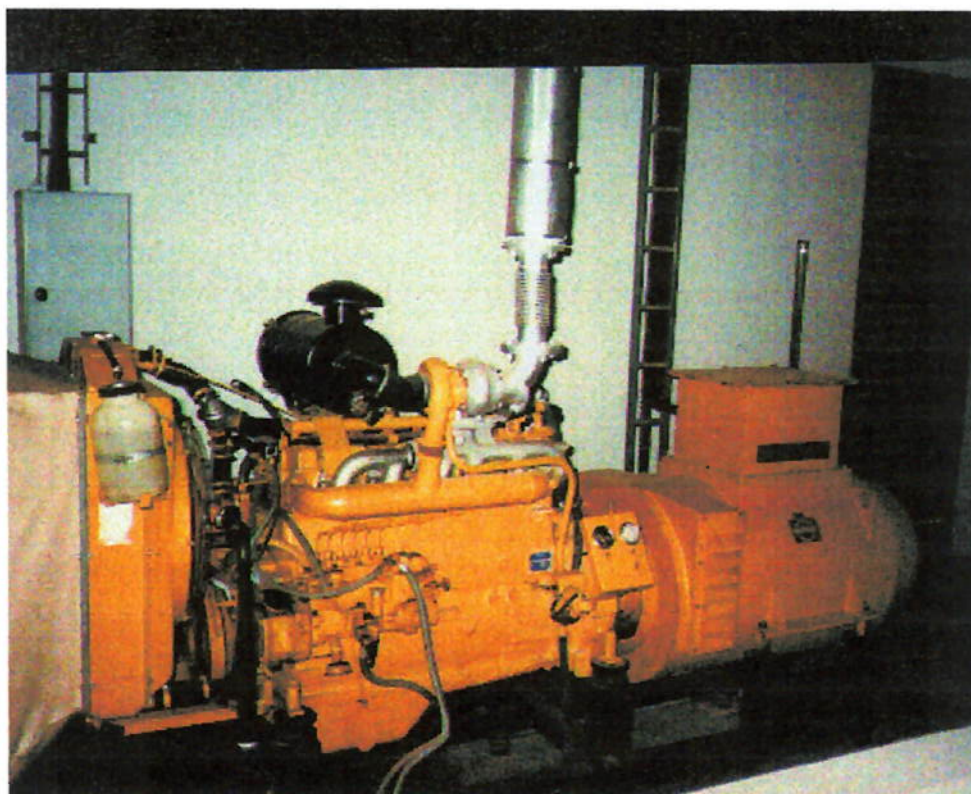
Esquema da sala de baterias de uma ERB da TELESP

Porém a queda de energia pode superar as seis horas, e com isso a ERB para de funcionar e também o sistema, esta situação deve ser evitada pois os prejuízos seriam grandes.

5.6 – O GMG Estacionário

Para que uma eventual queda de energia , que supere as seis horas de capacidade de alimentação da sala de baterias, não comprometa o funcionamento do sistema é necessário que entre em ação um gerador externo, o GMG, se a ERB for equipada com um GMG estacionário o problema esta resolvido pois é só ativar o gerador.

Porém se a ERB não dispuser de um gerador fixo, surge então o problema que deveremos resolver, ela necessitará de um gerador móvel, e este pode estar estacionado ao seu lado , desta forma não haveria nenhum problema , pois bastava novamente ativarmos o gerador , ou então pode estar estacionado em outra ERB, situada a alguns quilômetros de distância, e quando isto acontecer, esta distância não poderá ser muito grande pois senão correremos o risco do gerador não chegar a tempo de solucionar o problema.



Esquema de um gerador estacionário da TELESP

5.7 – O Procedimento em Quedas de Energia

O procedimento para quando acaba-se a energia deverá ser o seguinte:

- No decorrer da primeira hora sem energia, nenhuma providência deverá ser tomada; ou seja, visto que a maioria das quedas de energia são solucionadas em menos de uma hora então durante este período a ERB deverá funcionar usando a energia das baterias. Apenas um sinal será mandado automaticamente da ERB para a CCC informando a queda de energia.
- Ao final da primeira hora, o gerador móvel que é responsável por aquela ERB deverá ser acionado, ou seja deve se comunicar o fato para o responsável pelo transporte do gerador e no fim da segunda hora se a energia ainda não estiver restabelecida, então o gerador deverá partir para o local onde ele se faz necessário. Durante esta segunda hora será preparado o caminhão, motorista e os técnicos responsáveis pela conexão do gerador na ERB.
- Ao final da segunda hora o gerador parte e ele ainda contará com um período de cerca de três horas para chegar à ERB destino, levando-se em conta a velocidade média de um caminhão que ainda reboca uma carreta com um gerador, esta não deve ultrapassar os 60 Km/h.

Na pior das hipóteses, ao momento que o gerador chegar ao destino, ainda lhe sobrar uma hora para a conexão do mesmo com a ERB, como esta não apresenta muitas dificuldades, este tempo dá e sobra deixando assim uma pequena margem de segurança.

Para que o sistema fique então protegido, e para que nunca tenhamos a condição de falta de energia por completo em uma ERB, os geradores móveis

deverão estar posicionados estrategicamente para que a distância que eles tenham que percorrer em um caso de queda de energia, somado aos tempos de espera e de preparação para embarque do gerador e conexão do mesmo não ultrapasse as seis horas de duração das baterias.

Para isto é necessária a resolução de um problema matemático baseado nos fundamentos de Pesquisa Operacional (Programação Inteira) que nos defina quais as cidades onde deveremos colocar os geradores móveis para que as condições acima sejam satisfeitas.

5.8 – O GMG Móvel

Os GMG's móveis são os equipamentos que deverão ser utilizados para garantir o funcionamento do sistema em casos de falta de energia. Os geradores móveis nada mais são do que geradores de energia movidos à Diesel e montados sobre carretas com engates. Neste trabalho serão definidos os locais onde os geradores deverão estar estacionados para que consigam atingir qualquer cidade dentro do limite de tempo disponível, porém mais tarde trataremos deste assunto.



Exemplo de um gerador de energia móvel. Como se pode ver ele é montado sobre uma carreta de engate de maneira que ao ser solicitado por uma ERB ele pode ser facilmente acoplado a um caminhão e transportado até o local desejado.

O engate do gerador na ERB é do tipo Quick Change de modo que qualquer pessoa pode ser capaz de ligar o equipamento, além disso na ERB existe um terminal em uma posição estratégica de modo a facilitar ainda mais o encaixe. Muitas vezes o próprio motorista do caminhão poderá ser responsável por esta operação.

Capítulo 6 - A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Capítulo 6

6 – A Resolução do Problema

6.1 – Considerações Iniciais

A primeira etapa para a resolução do problema deveria ser a construção da matriz das distâncias entre os municípios que fazem parte do projeto, como alguns deles constam em guias rodoviários, mapas rodoviários, etc... a solução parecia simples, apenas extrair estes dados dos mapas ou guias, como fosse mais conveniente, e assim resolver o problema.

Porém a informação sobre distâncias só se revelou possível de se obter em mapas ou guias, quando se tratava de municípios grandes ou médios, desta forma muitas das distâncias não poderiam ser calculadas desta maneira, ou seja não existe uma relação de distâncias de município para município completa, existe uma pequena tabela. Porém esta tabela é muito limitada, contendo cerca de 60 municípios (Guia Rodoviário Abril 96), se observarmos que o Estado de São Paulo tem cerca de 650 municípios, esta tabela se mostra pouco eficiente. Para que a resolução do problema fosse possível, fez-se necessário o desenvolvimento de um método para o cálculo dessas distâncias, algum jeito que nos permitisse calcular a distância entre um par de cidades qualquer que fosse este par.

Diante deste problema surgiu a idéia de se calcular essas distâncias através do uso da informação sobre as coordenadas geográficas de cada município. Foi então necessária a construção de uma planilha a qual calcula a distância entre todos os municípios da cidade de São Paulo a partir de suas coordenadas geográficas (Latitude e Longitude), desta forma foi possível se obter a distância do arco que separa qualquer par de cidades.

6.2 – Obtenção das Coordenadas

A obtenção das coordenadas geográficas de todos os municípios do Estado de São Paulo a princípio nos parecia algo no mínimo trabalhoso , pesquisar no IBGE, no Instituto de Geografia da USP e em Atlas, foram algumas das idéias iniciais, porém antes de iniciar esta pesquisa, foi feita uma tentativa de procura na Internet.

O primeiro Site a ser visitado foi o do IBGE, porém não foi possível se obter os dados desejados, não existia uma lista completa disponível para os usuários, porém no segundo Site visitado foi obtido o sucesso.

Os dados sobre as coordenadas geográficas de todos os municípios do Estado de São Paulo, foram encontrados no seguinte Site: SEADE Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados na Internet no endereço:

(<http://www.seade.gov.br/cgi-bin/titabp/shtab?car/ANU95/car95003-ANU95>).

No Site mencionado acima foi possível se obter uma tabela completa contendo dados sobre Latitude, Longitude e Altitude dos municípios do Estado de São Paulo.

Em cima desses dados foi possível se criar a tabela a seguir:

Município	Área KM2	Alt. m	Latitude	G	M	S	Graus Dec.	Longitude	G	M	S
Adamantina	428	440	21°41'16"	21	41	16	21,6878	51°04'30"	51	04	30
Adolfo	218	442	21°14'01"	21	14	01	21,2336	49°38'44"	49	38	44
Aguaí	462	680	22°03'30"	22	03	30	22,0583	46°58'30"	46	58	30
Águas da Prata	155	840	21°56'15"	21	56	15	21,9375	46°43'00"	46	43	00
Águas de Lindóia	64	900	22°28'26"	22	28	26	22,4739	46°37'55"	46	37	55
Águas de Santa Barbara	416	560	22°52'45"	22	52	45	22,8792	49°14'25"	49	14	25
Águas de São Pedro	3	480	22°35'55"	22	35	55	22,5986	47°52'30"	47	52	30
Agudos	1208	580	22°28'03"	22	28	03	22,4675	48°59'20"	48	59	20
Alambari	173	590	23°33'04"	23	33	04	23,5511	47°54'03"	47	54	03
Alfredo Marcondes	136	445	21°57'16"	21	57	16	21,9544	51°24'42"	51	24	42
Altair	338	560	20°31'23"	20	31	23	20,5231	49°03'34"	49	03	34
Altinópolis	936	924	21°01'25"	21	01	25	21,0236	47°22'28"	47	22	28
Alto Alegre	305	500	21°34'47"	21	34	47	21,5797	50°09'53"	50	09	53
Alumínio	95	820	23°32'16"	23	32	16	23,5378	47°15'29"	47	15	29
Álvares Florence	362	450	20°19'08"	20	19	08	20,3189	49°54'43"	49	54	43
Álvares Machado	357	480	22°04'35"	22	04	35	22,0764	51°28'08"	51	28	08
Álvaro de Carvalho	158	625	22°04'40"	22	04	40	22,0778	49°43'14"	49	43	14
Alvinlândia	91	660	22°26'37"	22	26	37	22,4436	49°45'45"	49	45	45
Americana	144	560	22°44'20"	22	44	20	22,7389	47°19'52"	47	19	52
Américo Brasiliense	127	712	21°43'41"	21	43	41	21,7281	48°06'15"	48	06	15

(a tabela completa encontra-se em anexo no final do trabalho)

Tabela: Banco de Dados de Latitude e Longitude do Estado de São Paulo. Adaptada pelo Autor. Fonte SEADE

Alguns cálculos foram necessários pois os dados capturados diretamente da Internet eram entendidos como texto e não como números, pois eles eram exibidos da seguinte forma:

Município	Área KM2	Alt. m	Latitude	Longitude
Adamantina	428	440	21°41'16"	51°04'30"

Para que pudéssemos efetuar os cálculos foi necessário o desmembramento dos valores de Latitude e Longitude, em forma de texto, para valores numéricos. Mais uma vez surge uma tarefa trabalhosa e tediosa, tínhamos um total de cerca de 650 municípios, 1300 valores (Latitude e Longitude), que deveríamos ainda separar em três dados numéricos cada um, sendo eles Graus, Minutos e Segundos. Para isso teríamos que montar uma tabela de 3900 dados, o que seria muito desagradável de ser feito manualmente. Portanto a tabela foi transferida para o software Excel, onde através do uso de fórmula para texto do próprio software, foi possível se desmembrar o texto em números.

Após o desmembramento do texto em números, estávamos prontos para começar a montar a tabela de cálculo de distâncias. Porém antes de montar esta tabela vamos enunciar o problema exemplo que serviu de modelo para a resolução do número de geradores móveis, assim ficará mais claro ao leitor a importância do cálculo dessas distâncias.

6.3 – O Problema Modelo (Corpo de Bombeiros)

Para resolução do problema foi usado um modelo típico de problema de programação inteira conhecido como "set-covering problem", ou problema de determinação da área de cobertura, que foi retirado do livro de pesquisa operacional adotado no curso de PRO 154 : Introduction to Mathematical Programming, Applications and Algorithms do autor Winston L. Wayne . O problema original será transcrito a seguir:

Existem 6 cidades (cidades 1-6) no condado de Kilroy. O condado precisa determinar onde construir os quartéis dos bombeiros. O condado quer minimizar o número de quartéis necessários para assegurar que pelo menos um quartel esteja à uma distância de 15 minutos de qualquer uma das cidades. O tempo de viagem entre as cidades esta sendo mostrado na tabela abaixo. A formulação do problema dirá ao condado de Kilroy quantos quartéis deverão ser construídos e aonde devem ficar

Solução: Para cada cidade, o condado de Kilroy deve determinar se deve ou não ser sede de um quartel. Para isso foram definidas as variáveis $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ (variáveis binárias), onde $x_i = 1$ se for sede de um quartel e $x_i = 0$ se não for sede do quartel. No caso do problema dos geradores nós definiremos se a cidade será ou não base para GMGs móveis.

O número total de quartéis de bombeiros do condado de Kilroy ,será dado por $z = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$. E o condado de Kilroy deve assegurar que exista um quartel à 15 minutos de viagem, qualquer que seja a cidade de que

se esteja falando. Vejamos agora a matriz de distâncias entre as cidades e sua importância para a resolução do problema. Neste caso temos o tempo de viagem, porém podemos chegar a este valor através da divisão da distância pelo valor da velocidade média de viagem.

Cidade	1	2	3	4	5	6
1	0	10	20	30	30	20
2	10	0	25	35	20	10
3	20	25	0	15	30	20
4	30	35	15	0	15	25
5	30	20	30	15	0	14
6	20	10	20	25	14	0

Tempo de viagem em minutos

Observando a tabela acima podemos perceber que para garantirmos que pelo menos uma estação esteja a 15 minutos da cidade 1 teremos que adicionar a restrição $x_1 + x_2 \geq 1$, para a cidade 2 teremos $x_1 + x_2 + x_6 \geq 1$ e assim por diante, pois deste modo podemos afirmar que para a restrição ser obedecida, será necessário que se construa um corpo de bombeiros a menos de 15 minutos de distância da cidade em questão. Com isso a formulação do problema ficou da seguinte forma:

$$\begin{array}{llllllll}
 \min z & x_1 + & x_2 + & x_3 + & x_4 + & x_5 + & x_6 & \\
 & x_1 + & x_2 & & & & & \geq 1 \\
 & x_1 + & x_2 + & & & & x_6 & \geq 1 \\
 & & & x_3 + & x_4 & & & \geq 1 \\
 & & & x_3 + & x_4 + & x_5 & & \geq 1 \\
 & & & & x_4 + & x_5 + & x_6 & \geq 1 \\
 & & x_2 + & & & x_5 + & x_6 & \geq 1 \\
 \text{onde } x_i = 0 \text{ ou } 1 \text{ (} i=1,2,3,4,5,6 \text{)}
 \end{array}$$

A solução ótima para este problema é $z=2$, $x_2=x_4=1$, $x_1=x_3=x_5=x_6=0$. Ou seja o condado de Kilroy deve construir apenas dois quartéis dos bombeiros nas cidades, um na cidade 2 e outro na cidade 4.

6.4 – Analogia ao Problemas dos Geradores Móveis

Analisando agora o problema de determinação do número de geradores móveis, necessários para a garantia de funcionamento do sistema celular nas cidades que constam nos cinco primeiros anos de implantação do sistema celular da banda "B" de São Paulo, vemos que o problema é praticamente o mesmo, ao invés de quartéis de bombeiros teremos geradores móveis, ao invés de 6 cidades teremos 93, porém a lógica da resolução é a mesma.

A primeira providência a ser tomada para a resolução do problema seria então a criação da tabela de distâncias entre as cidades, assim como a tabela que foi criada para a resolução do problema do condado de Kilroy, deveremos criar um matriz que contenha as 93 cidades de implantação do sistema. O primeiro problema é achar estas distâncias, somente algumas delas, como já dito, constam com suas distâncias relacionadas em guias, ou seja não seria possível se obter esses dados através desta fonte (Guias, Mapas etc..) , fez-se necessário a criação de um método capaz de calcular a distância entre um par de cidades, seja ele qual for.

No caso do problema dos geradores teremos 23 variáveis binárias, que serão as 23 localidades de implantação do SMC , que constam no 1º e 2º ano de implantação, além disso teremos 93 equações que deverão ser respeitadas para que o sistema fique protegido. Cada uma dessas 93 equações será responsável por garantir o abastecimento de energia de emergência para cada município da área 2, uma equação para cada localidade.

O motivos pelos quais existirão geradores apenas nas cidades do 1º e 2º ano de implantação, serão discutidos mais tarde , aonde serão definidas as condições de contorno para o problema.

A formulação para o problema dos geradores está descrita a seguir:.

Formulação:**Minimizar Z (função objetivo), ou seja o número de geradores existentes na área 2**

	X1+	X2+	X3+	X4+	X5+	X6+	X7+	X8+	X9+	X10+	X11+	X12+	X13+	X14+	X15+	X16+	X17+	X18+	X19+	X20+	X21+	X22+	X23	=	Z	
Beira	X1													X14				X18				X22			>=	14
Campina		X2		X4	X5		X7		X9	X10	X11	X12				X16	X17			X20	X21	X22			>=	42
Pinna			X3			X6																			>=	13
Limeira		X2		X4	X5						X11	X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	11
Pracinha		X2		X4	X5						X11	X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	14
Ribeirão Preto			X3			X6								X14						X20		X22			>=	21
Santos		X2					X7		X9	X10	X11				X15	X16	X17						X23		>=	19
São J. Do Rio Preto								X8					X13												>=	15
São J. Dos Campos		X2					X7		X9	X10					X15	X16	X17						X23		>=	22
São Vicente		X2					X7		X9	X10	X11				X15	X16	X17						X23		>=	13
Sorocaba		X2		X4	X5		X7			X10	X11	X12			X15	X16				X20	X21				>=	20
Americana		X2		X4	X5						X11	X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	8
Araçatuba								X8					X13					X18	X19						>=	8
Araraquara	X1			X4	X5	X6						X12		X14						X20	X21	X22			>=	8
Ouratã							X7		X9	X10	X11				X15	X16	X17						X23		>=	11
Indaiatuba		X2		X4	X5		X7		X9	X10	X11	X12			X15	X16	X17			X20	X21	X22			>=	6
Jacaré		X2					X7		X9	X10					X15	X16	X17						X23		>=	8
Matlin	X1												X13					X18							>=	9
Presidente Prudente													X13						X19						>=	9
Rio Claro		X2		X4	X5	X6					X11	X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	7
Santa Blab. d' Oeste		X2		X4	X5						X11	X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	8
São Carlos	X1	X2		X4	X5	X6						X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	8
Taubaté							X7		X9	X10					X15		X17						X23		>=	10
Arara		X2		X4	X5	X6					X11	X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	5
Assis																		X18	X19						>=	4
Barretos			X3			X6		X8																	>=	5
Birigui								X8					X13					X18	X19						>=	4
Botucatu	X1	X2		X4	X5						X11	X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	5
Catanduva	X1					X6		X8						X14											>=	5
Cubatão		X2					X7		X9	X10	X11				X15	X16	X17						X23		>=	5
Guaratinguetá									X9								X17						X23		>=	5
Itapetininga		X2		X4	X5						X11	X12				X16				X20	X21				>=	6
Jat	X1			X4	X5							X12		X14				X18		X20	X21	X22			>=	5
Mogi Guaçu		X2		X4	X5				X9		X11	X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	6
Ourinhos	X1																	X18							>=	4
Pindamonhangaba									X9						X15		X17						X23		>=	6
Prata Grande		X2					X7		X9	X10	X11				X15	X16	X17						X23		>=	7
Tatuí		X2		X4	X5						X11	X12				X16				X20	X21				>=	4
Votorantim		X2		X4	X5		X7			X10	X11	X12			X15	X16				X20	X21				>=	4
Andradina													X13						X19						>=	3
Avare	X1				X5																				>=	4
Bebedouro			X3			X6		X8						X14								X22			>=	4
Caapava		X2					X7		X9	X10					X15		X17						X23		>=	4
Cruzeiro									X9								X17						X23		>=	4
Fernandópolis								X8					X13												>=	3
Itapeva	X1				X5						X11	X12				X16					X21				>=	4
Itapira		X2		X4	X5				X9		X11	X12				X16	X17			X20	X21	X22			>=	3
Jaboticabal	X1		X3			X6		X8						X14								X22			>=	3
Leme		X2		X4	X5	X6						X12		X14		X16				X20	X21	X22			>=	4

Para a construção da matriz de distâncias, requisito básico para a solução do problema acima, pesquisou-se no site da SEADE na Internet, e constatou-se que as informações sobre as coordenadas geográficas dos municípios do Estado de São Paulo eram disponíveis e completas. Com isso, os dados em forma de texto foram capturados e a seguir trabalhados em forma de planilha eletrônica (Excel) para se transformar o texto em informações úteis para cálculo: Graus, minutos e segundos. A partir daí, tínhamos criado um banco de dados que depois serviria para fazermos o cálculo da distância e com isso montarmos a matriz para a solução do nosso problema.

6.5 - O Cálculo das Distâncias

A partir do banco de dados criado, foi possível se construir uma planilha para o cálculo das distâncias dos pares de cidades. A planilha funciona da seguinte maneira:

É introduzido o nome da cidade 1, São Paulo por exemplo, no mesmo instante as células vinculadas a este campo, capturam no banco de dados os dados de latitude e longitude daquela cidade que foi inserida como sendo a cidade 1. O mesmo processo acontece com a cidade 2, a partir do nome desta cidade, é feita uma varredura sobre o banco de dados e capturados os dados sobre latitude e longitude da cidade 2. Com estes dados já resgatados o cálculo da distância do arco é processado da seguinte maneira, calcula-se as coordenadas cartesianas XYZ de cada cidade, levando-se em consideração latitude, longitude e raio da terra, o raio da terra por sua vez pôde ser obtido no site da NASA, o endereço e os detalhes mais importantes estão relacionados a seguir.



<http://pds.jpl.nasa.gov/planets/welcome/earth.htm>

<u>Earth</u>	<u>Planet Profile</u>
Mass (kg).....	5.98×10^{24}
Diameter (km).....	12756
Mean density (kg/m ³)	5520

Raio da Terra:

6378 Km

Extraído do site da Nasa <Http://pds.jpl.nasa.gov/planets/welcome/earth.htm>

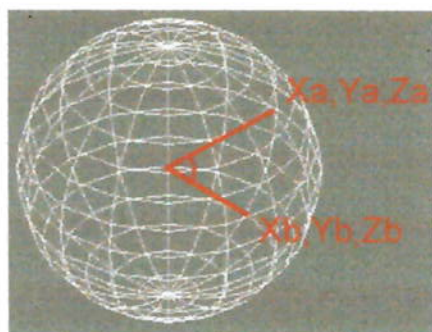
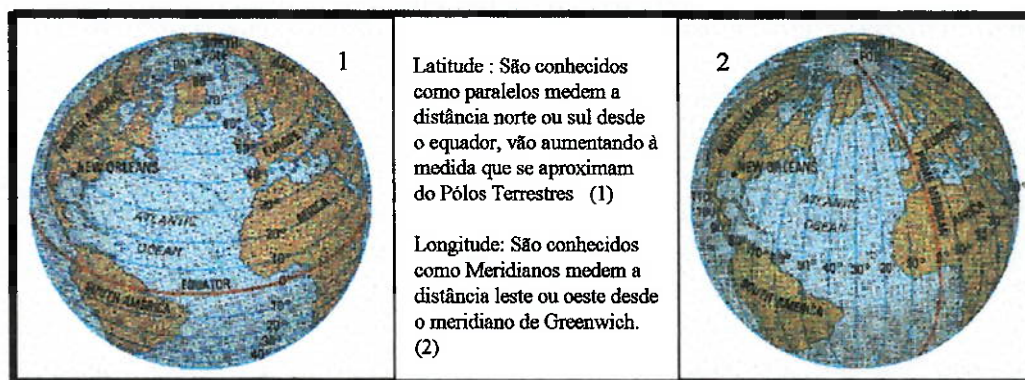


Figura: Representação dos pontos no Globo, elaborado pelo autor

Com o valor do raio terrestre foi possível se calcular a distância da reta que une duas cidades. O processo é bastante simples, basta-se calcular as coordenadas cartesianas de cada um dos dois pontos usando os seguintes dados: Latitude, Longitude e Raio da Terra.

O cálculo completo e sua explicação esta descrito a seguir.



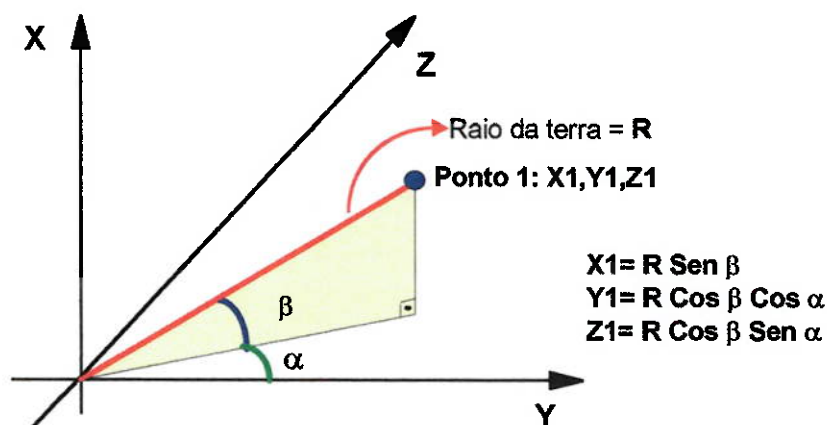
Extraído da Enciclopédia eletrônica COMPTON'S Interactive Encyclopedia

Com os dois pontos já determinados calcula-se o ângulo entre eles (Através da Lei dos Cossenos), o ângulo obtido em radianos é multiplicado novamente pelo raio da terra e com isso temos a distância do arco que une as duas cidades. Existe após isso um processo de correção dos dados obtidos, afim de tornar a distância do arco mais próxima da distância rodoviária, porém isto será discutido mais tarde. Abaixo temos uma explicação mais detalhada do cálculo de distâncias.

O processo de cálculo das distâncias partindo das coordenadas geográficas de cada ponto é o seguinte.

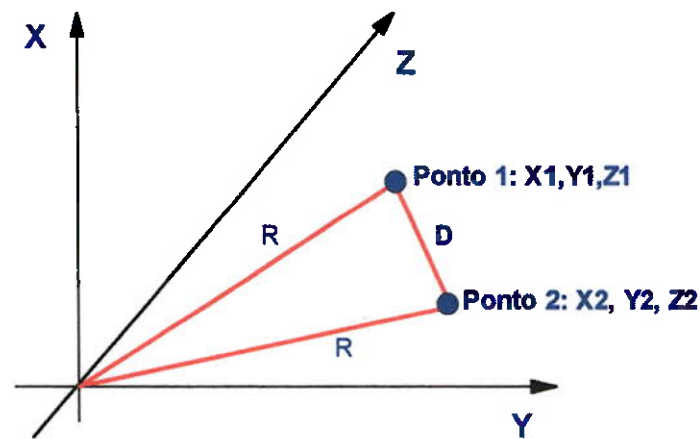
Primeiramente devemos capturar do banco de dados de latitude e longitude o valor da coordenada do ponto, podemos ilustrar o processo com as figuras abaixo.

Podemos imaginar que o valor de longitude seja α e o valor de latitude seja β , podemos então chegar as coordenadas cartesianas deste ponto através do cálculo mostrado abaixo.



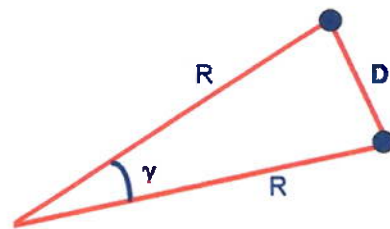
O mesmo processo deve ser repetido para o outro ponto (outra cidade), e novamente poderemos então chegar ao valor das coordenadas cartesianas dos segundo ponto.

Com as coordenadas cartesianas determinadas podemos chegar ao valor da distância linear entre as duas cidades conforme o cálculo abaixo.



$$D = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2 + (Z2 - Z1)^2}$$

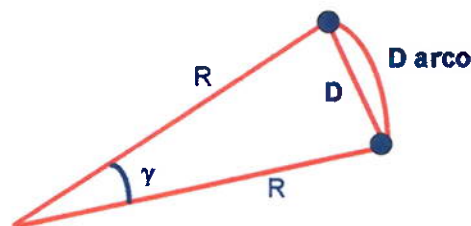
Com a distância “D” já determinada, podemos então utilizando a lei dos cossenos, calcularmos o ângulo entre os pontos (cidades). O ângulo entre as cidades é necessário para podermos calcular o tamanho do arco que une as duas cidades, como mostra a figura abaixo.



$$D^2 = R^2 + R^2 - 2R \cos \gamma$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{2R^2 - D^2}{2R^2}\right)$$

Multiplicando o ângulo γ em Radianos pelo raio da terra, teremos então o valor da distância do arco que une os dois pontos, como mostra a figura abaixo.



$$D \text{ arco} = R \cdot \gamma \text{ (rad)}$$

A planilha que realiza todos estes cálculos para determinar a distâncias entre o par de cidades esta mostrada abaixo.

		Nome	Latitude	Longitude	Latitude rad	Longitude rad	λ	ψ	r
Raio	Cidade 1	São Paulo	23,5478	46,635278	0,410986254	0,813939145	2548,098046	4250,672262	4014,706175
6378,00	Cidade 2	Santos	23,9597	46,332222	0,418176041	0,808649828	2590,069692	4216,016568	4024,379118
	Rad	Graus					41,9716457	34,65569385	9,672943799
Ângulo	0,00866778	0,496627203							
Dist. linear	55,28292685	Km							
Dist.Arco	70,26027441	Km							

6.6 - A montagem da matriz de distâncias

No problema visto anteriormente, vimos que a matriz é simples de se construir, 6x6, ou seja 36 elementos, porém no nosso caso teremos uma matriz de 93 x 93 ou seja 8649 elementos, o que significa que para construirmos a matriz manualmente teríamos um trabalho muito repetitivo e demorado, além de extremamente monótono. A solução teria que utilizar algum método automático para o preenchimento da tabela, e isto foi possível através do uso da linguagem de programação.

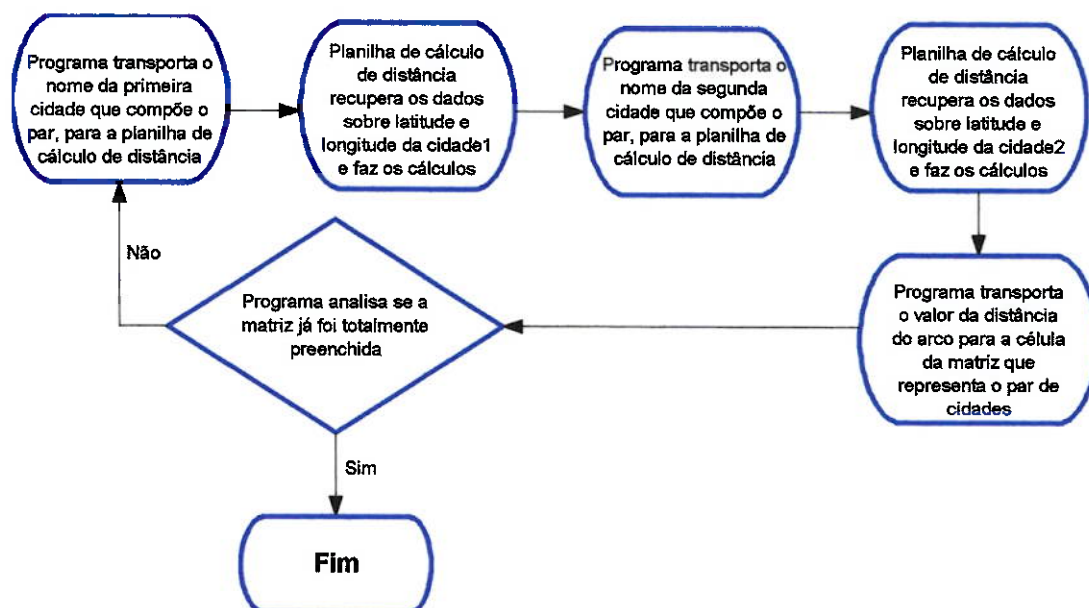
A linguagem utilizada foi o Visual Basic, pois além de ser uma linguagem adequada para o problema, a mesma se encontra disponível no próprio Excel, onde tínhamos criado a planilha de cálculo de distâncias. O processo de montagem da tabela foi o seguinte:

Montou-se uma tabela (93x93) vazia, onde só constavam os nomes das cidades, na lateral esquerda e na linha superior da matriz, e a partir daí criou-se um programa que teria como função caminhar entre as células da matriz vazia e ler qual o par de cidades que aquela célula estava representando

Células que representam a distância São Paulo - Santos

<u>Área 2</u>						<u>Área 2</u>					
	Americana	Santos	São Paulo	Votuporanga	Araraquara		Americana	Santos	São Paulo	Votuporanga	
Americana						Americana	0	212	0	587	
Santos						Santos	212	0	70	647	
São Paulo						São Paulo	145	70	0	587	
Votuporanga						Votuporanga	458	647	587	0	

O programa trabalharia em loop até que toda a matriz fosse preenchida o esquema mais detalhado de funcionamento do sistema esta representado a seguir:



Desta forma foi possível se criar a matriz de distâncias entre as cidades, passo inicial para a resolução do problema.

6.7 - O Processo de Correção da Diferença:

Obviamente que as distâncias calculadas através da latitude e longitude são menores que as distâncias rodoviárias, porém para nós é a rodoviária a que devemos estar considerando, pois teremos um caminhão que deverá viajar através de uma estrada para levar o gerador até o local da falta de energia. Como então poderíamos aproveitar as distâncias calculadas através das coordenadas geográficas de cada cidade para resolver o problema do número de geradores necessários?.

O que foi feito, foi um ajuste dos dados calculados para se chegar a uma aproximação das distâncias rodoviárias, foi necessário se achar um fator de multiplicação para as distâncias dos arcos de modo que estas ficassem mais próximas das distâncias rodoviárias que são as que nos interessam. O processo para o cálculo do fator de multiplicação foi o seguinte:

- Primeiramente criou-se uma tabela das distâncias rodoviárias das cidades que constam no “Guia Rodoviário Quatro Rodas 1996” da Editora Abril, lá constam 60 cidades e as distâncias entre elas, ou seja, temos uma matriz com 1800 valores. Esses valores foram passados para uma planilha, onde tínhamos o nome da cidade 1, o nome da cidade 2 e a distância rodoviária.
- A seguir, foi introduzido o nome das mesmas 60 cidades na planilha de cálculos e calculadas as distâncias à partir da latitude e longitude. Após o programa ter calculado todos estes valores, os mesmos foram transpassados para a mesma planilha onde já tínhamos o valor das distâncias rodoviárias, de forma que para o par de cidades tínhamos em duas colunas sequenciais, o valor da distância rodoviária, retirado do guia rodoviário, e da distância do arco

<u>Área 2</u>	Americana	Andradina	Apiáí	Araçatuba	Araraquara	Assis	Atibaia
Americana	0						
Andradina	539	0					
Apiáí	321	710	0				
Araçatuba	422	117	596	0			
Araraquara	157	407	406	296	0		
Assis	416	290	417	230	304	0	
Atibaia	122	642	351	528	263	518	0

Dados obtidos à partir do Guia Rodoviário Abril 96

<u>Área 2</u>	Americana	Andradina	Apiáí	Araçatuba	Araraquara	Assis	Atibaia
Americana	0	465	250	362	137	317	90
Andradina	465	0	478	104	345	219	555
Apiáí	250	478	0	403	309	261	279
Araçatuba	362	104	403	0	242	163	453
Araraquara	137	345	309	242	0	250	223
Assis	317	219	261	163	250	0	399
Atibaia	90	555	279	453	223	399	0

Dados obtidos à partir do cálculo das distâncias

- Com a planilha basicamente montada foram introduzidas mais duas colunas, a primeira foi a coluna da diferença (Delta), este delta nada mais é do que a diferença percentual entre a distância rodoviária e a distância do arco, a fórmula usada para o cálculo do delta foi a seguinte:

$$\text{Delta} = \frac{(\text{Dist. Rodoviária} - \text{Dist. Arco})}{\text{Dist. Rodoviária}} \times 100$$

A segunda coluna introduzida foi a da faixa de distância, ou seja, as distâncias foram divididas em faixas de 50 Km indo de 0 até 900 Km, isto foi necessário para podermos construir o gráfico da correção mais tarde.

O desenho a seguir ilustra melhor do que se tratam as faixas de distâncias.

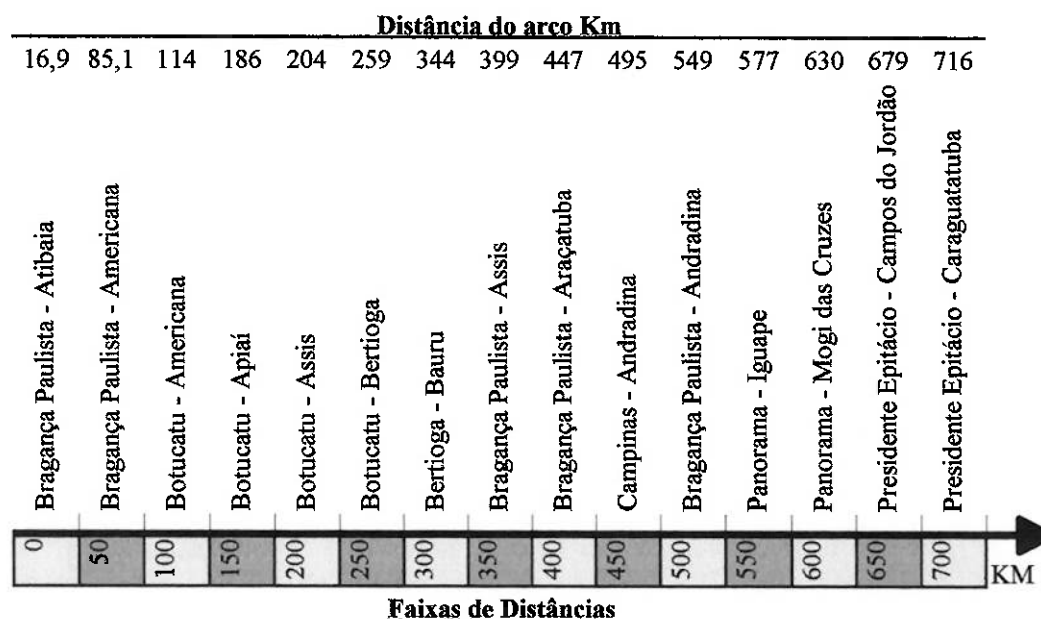


Gráfico: Faixas de Distâncias, elaborado pelo Autor

A divisão das distâncias em faixas de distâncias foi necessária pelo seguinte fato, sem esta divisão não era possível se perceber qualquer tendência para correção dos dados, depois de feita a separação dos dados ficou claro de se visualizar uma tendência para os dados de serem corrigidos segundo uma reta.

Pudémos então , após trabalhar os dados, construir o gráfico de correção , para isto apenas foi necessário separar as colunas desejadas e ordená-las, em ordem crescente de faixas de distância e construir o gráfico de linhas, a tabela e o gráfico ficaram como mostra a figura abaixo:

Cidade 1	Cidade2	Faixa de Distância	Rodovia	Arco	Delta
Andradina	Americana	450	539	464,7597308	14%
Apiaí	Americana	200	321	249,6167728	22%
Apiaí	Andradina	450	710	478,3127595	33%
Araçatuba	Americana	350	422	362,4481104	14%
Araçatuba	Andradina	100	117	103,5660794	11%
Araçatuba	Apiaí	400	596	402,5240911	32%
Araraquara	Americana	100	157	136,6083538	13%
Araraquara	Andradina	300	407	345,4420674	15%
Araraquara	Apiaí	300	406	309,276651	24%

Faixa de Distância	Delta
0	16,99%
0	32,29%
0	70,20%
0	12,39%
0	29,15%
0	31,67%
0	26,37%
0	51,45%
0	20,05%

Tabela: Comparação Distância Rodoviária X Distância do Arco

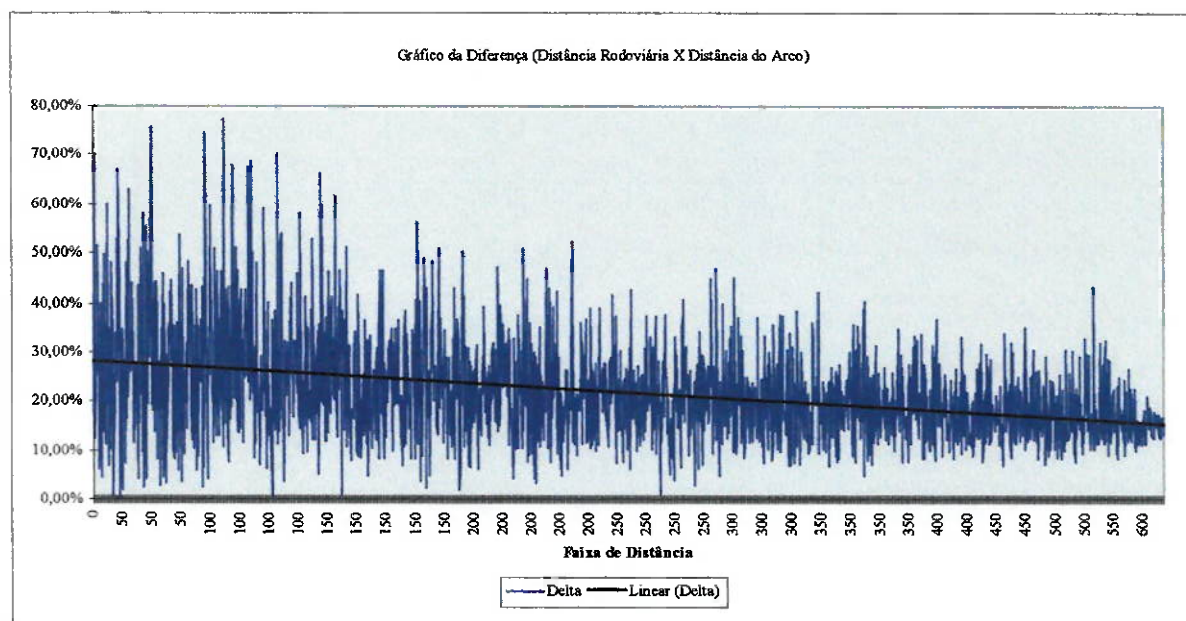


Gráfico: Diferença Distância Rodoviária - Distância do Arco, elaborado pelo Autor

Podemos observar através do gráfico que existe uma tendência para o fator de correção a ser utilizado, este fator deve se comportar conforme uma reta, como mostra a reta de tendência do gráfico, a equação que deverá corrigir a distância do arco é a seguinte:

$$DistArcoCorrigida = DistArco \times 1 + \left[0,28 - \left(\frac{DistArco}{700} \right) \times (0,28 - 0,165) \right]$$

aonde 0,28 e 0,165 são os dois pontos da reta do gráfico para 0 Km e 700 Km respectivamente, com esta equação podemos então corrigir os valores ainda que eles passem dos 700 Km. A correção dos valores foi então embutida na planilha de cálculo de distâncias de modo que a matriz de distâncias já fora montada com valores corrigidos.

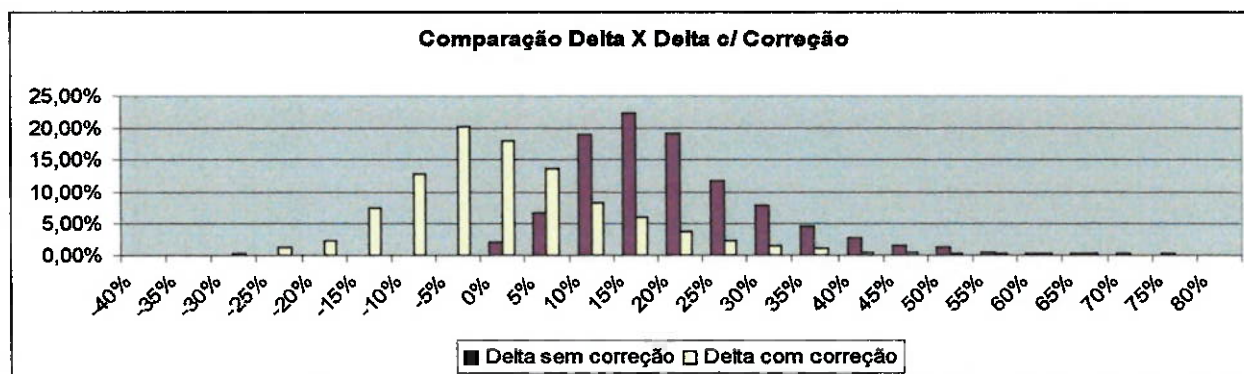


Gráfico: Comparação Delta X Delta com correção, elaborado pelo Autor

Após a criação do gráfico, ficou fácil de se perceber que os valores corrigidos são muito mais próximos dos valores reais, ou seja as distâncias calculadas se aproximam das distâncias rodoviárias. Como podemos observar antes da correção a diferença entre a distância rodoviária e a distância do arco ficava na sua maior parte entre 10% à 30 % , ou seja usando os dados obtidos sem nenhum tipo de correção estaríamos cometendo um erro médio de 19,37%, (as distâncias rodoviárias são em média, para esta população de 60 cidades, 19,37% maiores do que as distâncias dos arcos calculados) , após a correção através da reta calculada pelo gráfico já mostrado, podemos observar que esta diferença reduziu-se em muito, ou seja, com a aplicação do fator de correção o erro médio passou a ser de 1,03% , sendo que a maioria das diferenças, se encontram em 0 %.

Porém apesar da correção ter tido sucesso aparente, podemos observar através do gráfico que existem alguns valores que ainda contêm um erro superior à 30%. Se lembrarmos que o caminhão na pior da hipóteses deverá chegar na ERB destino no final da quinta hora, e sabendo-se que a sala de baterias deverá suportar a falta de luz até um total de 6 horas, um erro superior a 30% poderá eventualmente causar problema na formulação e na resolução do problema , pois poderemos estar considerando que a ERB vai ser atendida por algum gerador, mas no caso real a distância rodoviária é muito maior e o tempo não será suficiente para que o gerador chegue até a estação. A seguir temos uma ilustração que relembra o procedimento em caso de queda de energia na ERB.

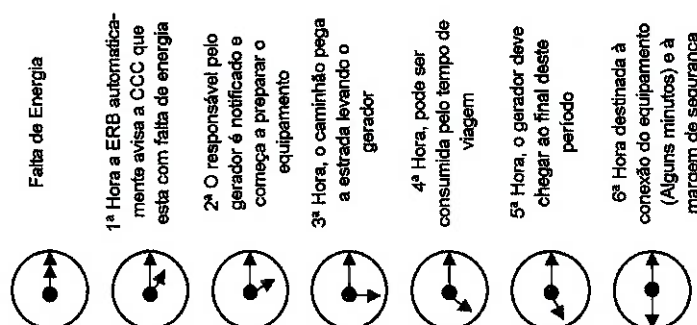


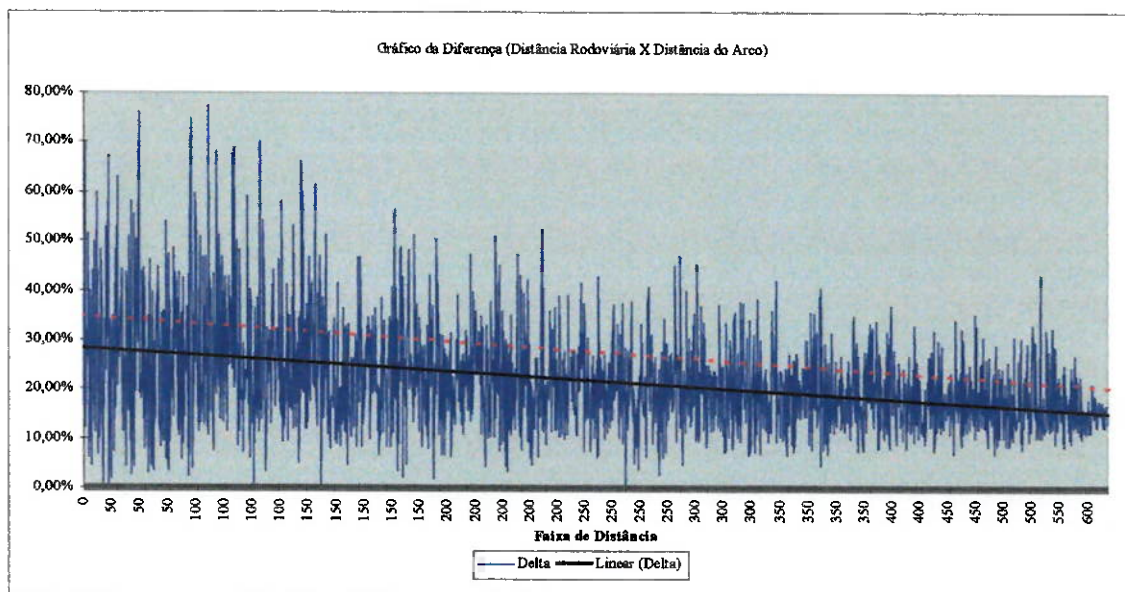
Figura: Procedimento em queda de energia, Elaborado pelo Autor

Como podemos observar, consideramos que o caminhão tem efetivamente três horas para ele alcançar a ERB destino, levando-se em consideração a velocidade média de um caminhão na estrada, rebocando ainda uma carreta, esta não deverá ser superior a 60 Km/h, ou seja na hora de resolvermos o problema de programação linear inteira, o qual foi o nosso propósito inicial, deveremos ter uma restrição que nos assegure que exista um gerador, qualquer que seja a cidade, a no máximo 180 Km de distância da mesma (Em torno de três horas de viagem do caminhão), supondo que no conjunto de cidades que farão parte da Área 2 de implantação do sistema de telefonia celular, exista uma ou mais cidades as quais para suas distâncias calculadas, o erro seja superior a 30 %, e que sua distância calculada esteja no limite da restrição do problema 180 Km, com o acréscimo do erro teremos provavelmente uma distância maior do que 234 Km que na melhor das hipóteses poderia ser percorrida em 4 horas gastando assim todo o tempo das seis horas das quais a sala de baterias é capaz de suprir energia elétrica.

Deste modo poderíamos estar estimando um número de geradores não suficientemente grande para garantir o abastecimento de energia elétrica para todas as ERBs do conjunto.

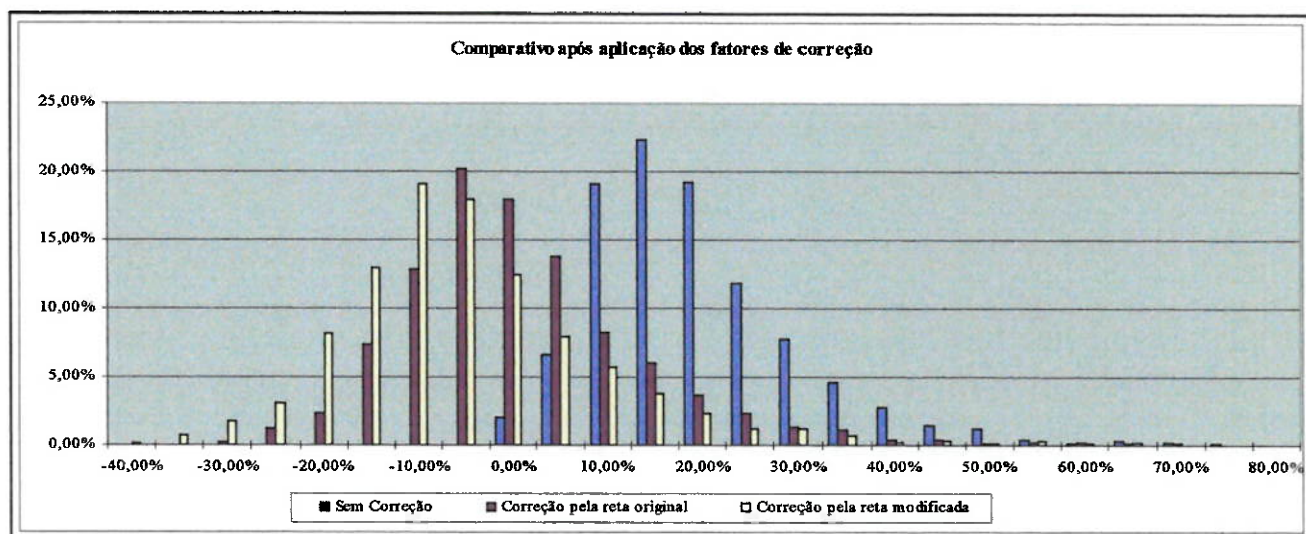
Fez –se então necessário um ajuste na reta de correção dos valores calculados. A inclinação da reta seria a mesma, porém o fator de correção agora seria 30% maior do que antes, este número pode ser escolhido apenas observando-se o gráfico comparativo Delta X Delta com correção, vemos que as diferenças superam os trinta por cento e chegam na sua grande maioria até 60%, alguns valores superam os 60% mas são em número muito pequeno.

A figura da nova reta de correção assim como seu gráfico e sua formula estão ilustrados a seguir:



$$DistArcoCorrigida = DistArco \times 1 + \left[0,364 - \left(\frac{DistArco}{700} \right) \times (0,28 - 0,2145) \right]$$

Podemos perceber que depois da correção pela reta modificada, a maioria das distâncias calculadas estão 5% maiores que as distâncias reais, isto nos leva a concluir que provavelmente, esta acontecendo um super dimensionamento desses dados, na verdade esta acontecendo realmente, porém podemos usar este super dimensionamento como uma margem de segurança para o problema. Podemos observar também que o número de diferenças acima de 30 % é mínimo (menos de 3%), e desta forma estamos minimizando a chance de obtermos uma solução que não corresponda com a realidade.



Capítulo 7 - RESULTADOS INICIAIS

Capítulo 7

7.1-Condições de Contorno e Resultados

Para a resolução do problema algumas condições foram impostas. São elas:

- Só poderão existir GMGs móveis em stand-by nas cidades do 1º e 2º ano, isto porque prevê-se que existirá um galpão de manutenção da operadora e será neste galpão que os geradores estarão estacionados. Como uma oficina exige um certo número de funcionários com algum conhecimento técnico, seria mais complicado de se montar tal oficina em uma cidade muito pequena, além disto nas cidades do 1º e do 2º ano existe uma concentração de ERBs muito maior o que valida novamente a restrição de só se construir um galpão nestas cidades.
- Em cada galpão poderá existir no máximo 10 geradores em stand-by, isto devido a limitações de espaço, pois um número superior a este demandaria uma área muito grande para armazenagem, além disso se tivermos alguns galpões espalhados por várias cidades poderemos ter mais de uma opção de gerador para atender determinada cidade, imaginando que pode acontecer de enfrentarmos alguns problemas com estradas ou com a mão de obra de alguma cidade, concentrar um número muito grande de geradores no mesmo local é uma alternativa arriscada.
- O número mínimo de geradores destinados a atender cada cidade deve suprir, na pior das hipóteses, exatamente a quantidade de ERBs que existir no local de destino.
- O desempenho das concessionárias de energia elétrica são iguais para todas as concessionárias, ou seja não fará diferença se uma cidade receber energia de uma operadora ou de outra. A questão da qualidade da energia elétrica será exposta a seguir:

7.2- Qualidade do fornecimento de energia elétrica

A seguir será analisada a qualidade dos serviços das operadoras de energia elétrica.

Código	Município	Operadora	Tabela: Localidade-Concessionária	
0010	Ademópolis	CAIUA	CAIUA	3
0160	Americana	CPFL	CESP	21
0190	Araraquã	CPFL	CLFM	1
0210	Auriflama	CESP	CLFSC	2
0250	Aparecida	ELETROPAULO	CNEE	1
0280	Araraquã	CPFL	CPFL	41
0320	Araraquã	CPFL	CSPE	1
0330	Araraquã	CESP	EEVP	2
0400	Assis	EEVP	ELETROPAULO	18
0450	Avareí	CLFSC	ELETROPAULO/CESP	1
0530	Barrão Bonito	CPFL	CESP CPFL	1
0550	Barrão	CPFL	CESP/ELETROPAULO	1
0590	Barra	CPFL	Total	93
0600	Barra	CPFL		
0610	Bebedouro	CPFL		
0650	Birigiti	CPFL		
0750	Botucatu	CPFL		
0850	Caçapava	ELETROPAULO		
0950	Campinas	CPFL		
0970	Campes do Jordão	CESP		
1020	Capão Bonito	CESP		
1040	Capivari	CPFL		
1050	Caraguatatuba	ELETROPAULO		
1110	Catanduva	CNEE		
1280	Cordeópolis	CPFL		
1340	Cruzeiro	ELETROPAULO		
1350	Cubatão	ELETROPAULO		
1440	Dracena	CESP		
1518	Engenheiro São João	CPFL		
1550	Fernandópolis	CESP		
1620	Francisco	CPFL		
1670	Guaiçara	CPFL		
1740	Guatambú	CPFL		
1840	Guatambú	ELETROPAULO		
1870	Guatambú	CESP/ELETROPAULO		
1960	Ibitinga	CPFL		
1970	Ibitinga	ELETROPAULO		
2040	Indaiatuba	ELETROPAULO		
2210	Jardim	CESP		
2230	Jaraguá	CSPE		
2240	Jaraguá	CESP		
2260	Jaraguá	CPFL		
2320	Jaraguá	CESP		
2430	Jaraguá	CPFL		
2440	Jaraguá	ELETROPAULO		
2480	Jaraguá	CESP		
2530	Jaraguá	CPFL		
2670	Leme	CESP		
2680	Lençóis Paulista	CPFL		
2690	Lins	CESP		
2710	Lins	CPFL		
2720	Lorena	ELETROPAULO		
2900	Matão	CPFL		
2930	Matão	CPFL		
3030	Minas	CPFL		
3050	Mococa	CLFM		
3070	Mogi-Guaçu	CESP CPFL		
3080	Mogi-Mirim	CESP		
3130	Monte Alto	CPFL		
3340	Nova Odessa	CPFL		
3390	Olimpia	CPFL		
3430	Orlândia	CPFL		
3470	Ourinhos	CLFSC		
3550	Paraguassu Paulista	EEVP		
3650	Pardais	CPFL		
3730	Pedópolis	CPFL		
3760	Piedade	CESP		
3780	Piedade	CESP		
3800	Pindamonhangaba	ELETROPAULO		
3870	Pindamonhangaba	CPFL		
3930	Piracicaba	CESP		
4060	Porto Feliz	ELETROPAULO		
4070	Porto Ferreira	CESP		
4100	Prata Grande	ELETROPAULO/CESP		
4130	Presidente Epitácio	CAIUA		
4140	Presidente Prudente	CAIUA		
4340	Ribeirão Preto	CPFL		
4390	Rio Claro	CESP		
4580	Santa Bárbara d'Oeste	CPFL		
4850	Santos	ELETROPAULO		
4890	São Carlos	CPFL		
4910	São João da Boa Vista	CESP		
4980	São José do Rio Preto	CPFL		
4990	São José dos Campos	ELETROPAULO		
5100	São Vicente	ELETROPAULO		
5170	Sertãozinho	CPFL		
5220	Sorocaba	ELETROPAULO		
5240	Sumaré	CPFL		
5400	Tatui	CESP		
5410	Taubaté	ELETROPAULO		
5620	Valinhos	CPFL		
5700	Votorantim	ELETROPAULO		
5710	Votorantim	CESP		



Esta tabela mostra a distribuição de operadoras de energia elétrica entre as cidades da área 2 do interior de São Paulo; como podemos ver a maioria das localidades estão sob a responsabilidade das 3 principais operadoras CPFL, CESP e Eletropaulo.

Com esta tabela foi possível de se obter os índices de desempenho das principais operadoras. Porém o que se pretendia era conseguir os dados sobre desempenho das operadoras de uma forma desagregada, ou seja, o ideal era podermos analisar o desempenho operadora por operadora, relacionando este desempenho com a localidade correspondente.

Mas infelizmente esses dados dessa maneira não se mostraram viáveis de se conseguir, pois segundo informações obtidas na secretária de energia do Estado de São Paulo, seria necessário entrar em contato com cada operadora dessas relacionadas na tabela, após isso se descobrir qual estação de energia ou sub-estação que seria responsável pelo fornecimento de eletricidade para cada município, e então novamente entrar em contato com cada estação dessas e perguntar sobre esses índices de desempenho.

Porém mesmo com este procedimento, não seria certo de se conseguir desagregar todos estes dados, pois conforme informação da própria secretária de energia do Estado de São Paulo as vezes ocorre que uma estação de energia é responsável pelo fornecimento de energia elétrica em mais de uma localidade, ou ainda uma localidade pode ser servida por mais de uma operadora, nestes casos a separação dos índices de desempenho se torna muito mais difícil.

Como o escopo deste trabalho, não era o de se fazer o levantamento da performance das concessionárias de energia, uma breve análise, muito mais simplificada do que a que foi descrita acima foi realizada, envolvendo as três principais concessionárias e os índices mensais de desempenho, sem que houvesse uma desagregação dos dados.

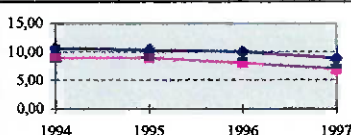
Para efeito de comparação vemos que este estudo preliminar da performance das operadoras de energia, nos mostra que o comportamento delas ao longo do tempo foi mais ou menos igual uma da outra, e em relação ao problema dos geradores, o fato de uma localidade se abastecer de energia por uma ou por outra concessionária não fará diferença ao calcularmos o número de geradores necessários para este município.

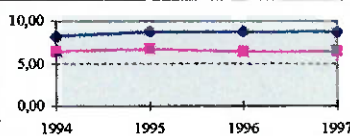
Tabela: Concessionárias de energia elétrica, Fonte Fundação SEADE, Elaborado pelo Autor

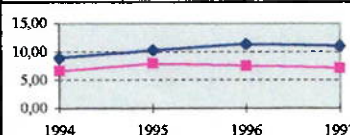
A seguir temos a tabela de desempenho das concessionárias de energia elétrica, os índices apresentados nesta tabela são:

- **DEC**, Duração equivalente por consumidor, que nada mais é do que o tempo em horas por ano de queda de energia.
- **FEC**, Frequência equivalente por consumidor, que é o número de vezes em a localidade ficou sem o fornecimento de energia elétrica.

ÍNDICES MENSAIS DE DEC E FEC DAS EMPRESAS DE ENERGIA ELÉTRICA

	DEC	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Cesp	DEC	FEC
C	1994	10,90	11,10	11,00	10,80	10,60	10,40	10,60	10,20	10,30	10,40	10,60		1994	10,63	9,01
	1995	11,20	10,50	10,50	10,60	10,40	10,30	10,10	9,80	10,00	10,30	10,00	9,70	1995	10,28	8,88
	1996	9,40	10,20	10,20	10,30	10,20	10,20	10,10	10,20	10,00	9,80	9,60	9,40	1996	9,95	8,03
E	1997	9,20	8,50											1997	8,85	7,00
														Média	9,93	8,23
S	FEC	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ			
	1994	8,90	9,20	9,10	9,00	8,90	8,90	9,00	9,10	8,80	8,90	8,90	9,40			
P	1995	9,90	9,20	9,10	9,10	9,00	8,90	8,70	8,50	8,60	8,80	8,70	8,20			
	1996	8,00	8,40	8,30	8,30	8,30	8,20	8,10	8,20	8,00	7,70	7,40	7,50			
	1997	7,20	6,80													

	DEC	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	CPFL	DEC	FEC
C	1994	8,40	8,80	8,00	7,90	7,90	8,00	8,10	8,10	8,00	8,30	8,30	8,70	1994	8,21	6,48
	1995	8,90	8,40	8,80	8,90	8,80	8,55	8,60	8,50	8,80	9,04	9,10	8,60	1995	8,75	6,74
	1996	8,40	8,70	8,80	8,80	8,80	9,00	8,90	9,00	9,00	8,60	8,20	8,60	1996	8,73	6,41
	1997	8,80	8,60											1997	8,70	6,50
Média														8,60	6,53	
F	FEC	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ			
	1994	6,60	7,00	6,40	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,20	6,60	6,60	6,90			
	1995	6,90	6,50	6,80	6,90	6,90	6,70	6,70	6,70	6,90	6,80	6,70	6,40			
	1996	6,30	6,40	6,40	6,40	6,40	6,50	6,40	6,50	6,60	6,40	6,10	6,50			
L	1997	6,60	6,40													

	DEC	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ELETROPAULO	DEC	FEC
E	1994	8,83	9,14	9,10	9,02	8,76	8,78	8,85	8,73	8,63	8,95	9,13	9,59	1994	8,96	6,68
	1995	10,36	9,92	10,06	10,18	10,23	10,42	10,50	10,54	10,59	10,50	10,37	10,12	1995	10,32	7,94
	1996	10,50	11,10	11,20	11,40	11,30	11,30	11,30	11,40	11,70	11,70	11,80	11,90	1996	11,37	7,58
	1997	11,20	10,80											1997	11,00	7,15
Média														10,41	7,34	
P	FEC	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ			
	1994	6,93	6,80	6,80	6,74	6,42	6,44	6,55	6,59	6,46	6,61	6,60	7,11			
	1995	7,66	7,50	7,80	7,86	7,96	8,06	8,05	8,17	8,19	8,23	8,18	7,64			
	1996	7,60	7,90	7,80	7,80	7,80	7,70	7,50	7,40	7,30	7,40	7,20	7,50			
O	1997	7,20	7,10													

Fonte: Relatório - Indicadores de Desempenho das Empresas de Energia do Estado de São Paulo.

DEC DURAÇÃO EQUIVALENTE DE INTERRUPÇÃO POR CONSUMIDOR

FEC FREQUÊNCIA EQUIVALENTE DE INTERRUPÇÃO POR CONSUMIDOR

elaborado pelo Autor

De acordo com os dados exibidos na tabela acima, podemos ver que o desempenho das operadoras é muito parecido entre elas, e que o DEC (Duração Equivalente por Consumidor) é baixo, fica em torno de 10 horas/ano.

Deste modo, não iremos nos aprofundar mais na pesquisa sobre a qualidade do fornecimento de energia elétrica, iremos para fins de continuidade do trabalho, adotar como verdadeira a hipótese de que tanto faz uma localidade estar sendo abastecida por uma ou por outra operadora. Com isto deixamos de lado a possibilidade de existir um município dentro deste conjunto, que por alguma razão desconhecida (Qualidade da Linha de Transmissão, mau dimensionamento da capacidade) possa estar sujeito a um FEC e um DEC muito maior que os valores médios encontrados, e com isso deveríamos estar disponibilizando um GMG móvel para esta localidade, muito mais freqüentemente do que para outras, e este fato poderia acarretar uma mudança no modelamento do problema, acrescentando com isso algumas restrições nas quais ficaria determinado que em alguns municípios deveriam existir GMGs móveis disponíveis, independentemente se estas localidades são do 1º ou 2º ano de implantação.

Como já discutido não se pode concluir nada sobre o comportamento pontual de cada operadora de energia elétrica, para chegarmos a este nível de detalhamento, deveríamos realizar um levantamento muito trabalhoso e caro que fugiria totalmente ao propósito deste trabalho. Deste modo daqui para frente estaremos trabalhando para determinar o número de geradores necessários para o interior de São Paulo considerando que a possibilidade de se ocorrer uma queda de energia em qualquer município do conjunto é a mesma e que, em acontecendo uma falta de abastecimento da rede pública, o tempo necessário para que as condições de normalidade sejam reestabelecidas serão os mesmos. Estas hipóteses não puderam ser comprovadas, mas pelos dados exibidos pode se perceber que a realidade não deve ser muito diferente desta idealizada.

7.3 -Resultados Iniciais

Para que o problema fosse então resolvido foi usado o método SIMPLEX do solver, um recurso do Microsoft Excel que possibilita a resolução de problemas lineares inteiros. O Microsoft Excel Solver, para os problemas lineares e de inteiros, usa o método Simplex com limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite, implementado por John Watson e Dan Fylstra, da Frontline Systems, Inc. A resolução do problema em primeira mão se mostrou inviável, pois conforme calculado, as cidades de Itapeva e Itararé, não distam 180 Km ou menos de nenhuma cidade do 1º e 2º anos. Isto pode ser facilmente percebido através do mapa plotado pelo próprio programa que calculou a matriz da distâncias.

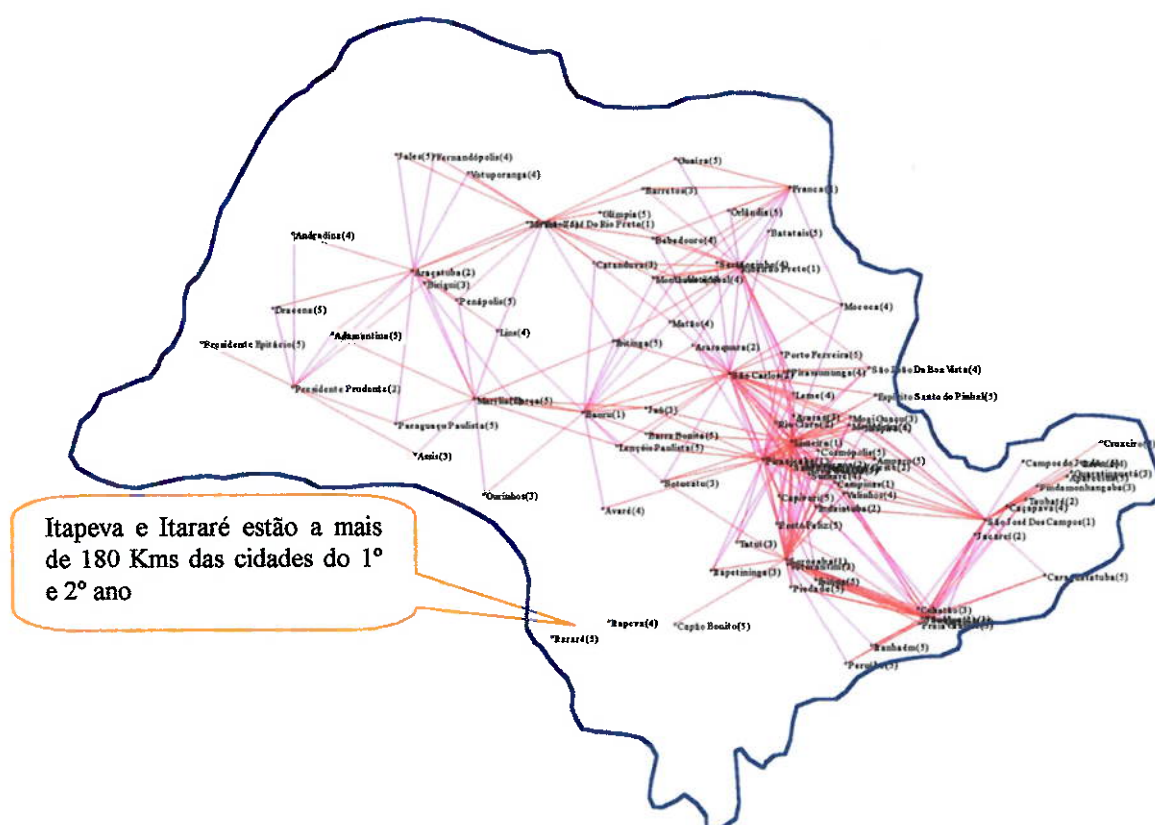


Figura: Rota de geradores (solução inicial), plotado pelo próprio programa

Na plotagem do mapa, todas as cidades da área 2 , através das suas coordenadas geográficas, são desenhadas na tela do computador, a seguir o contorno do estado de São Paulo é plotado em volta desses municípios, é interessante comentar rapidamente o processo de construção do contorno do estado de São Paulo. Para se chegar a este desenho primeiramente pegou-se um mapa do DER em folha A1, este mapa tinha o estado de São Paulo por inteiro, o contorno deste mapa assim como algumas cidades do seu interior foram destacados com ajuda de caneta hidrográfica.

Após este trabalho, tirou-se uma foto digital do mapa (A máquina usada foi a QV-10A da CASIO), o mapa então foi passado para a tela do computador e construída uma macro em VBA capaz de desenhar este contorno toda vez que se mandasse plotar as cidades.

7.4-Considerações Sobre os Resultados Obtidos

Os resultados obtidos na primeira resolução não são viáveis, isto porque teremos dois municípios que estariam fora da área de cobertura de todos os outros geradores implantados.

Para isso teremos que propor novas alternativas, e de alguma forma, algum tipo de energia de emergência deverá estar disponível caso haja uma queda no abastecimento da rede pública.

A princípio o problema não pôde ser resolvido e o sistema de telefonia móvel celular, não ficou garantido contra a falta de energia.

CAPÍTULO 8 - PROPOSTA DE SOLUÇÃO

CAPÍTULO 8

8.1 Alternativas de Solução

Após a primeira tentativa de resolução, foi necessário que se propusesse algumas alternativas para que as condições de contorno fossem obedecidas:

1. Fazer com que um desses municípios, Itararé e Itapeva, possa ser sede de geradores móveis, porém como já foi dito isto não é muito interessante, pois os municípios são muito pequenos, além de possuírem um número reduzido de ERBs, 4 em Itapeva e 3 em Itararé.
2. Adotar uma solução inovadora, utilizar para estas ERBs containers com geradores próprios (Generator inside shelter) , assim teríamos um gerador estacionário de pequeno porte, dimensionado especificamente para aquela ERB. Apesar de parecer uma boa solução, esta se mostra inviável devido ao custo de implantação, pois teríamos que instalar 7 containers deste tipo, sendo o preço de cada container muito alto.
3. A outra alternativa de solução, mais simples e eficiente, seria a colocação de dois conjuntos de baterias para as ERBs dessas cidades, de forma que elas pudessem tolerar uma queda de energia de mais de 6 horas (até 12 horas com dois conjuntos de baterias). Esta alternativa se mostrou como sendo a mais simples e economicamente viável.

8.2 Solução Proposta

A proposta mais adequada , e a que será adotada como alternativa para este trabalho, será a de usarmos dois conjuntos de baterias nestas cidades que ficaram fora do raio de cobertura dos geradores implantados.

As outras alternativas se mostraram inviáveis devido ao fator custo de implantação. A seguir temos um quadro comparativo do preço dos equipamentos usados.

Preço (dólares)	
Conjunto de Baterias para 6 horas	11.000,00
Conjunto de Baterias para 12 horas	22.000,00
Gerador fixo interno para container	27.000,00
Grupo Motor Gerador Móvel (GMG)	55.000,00

Tabela: Comparativo de preços, Elaborado pelo Autor

Após a introdução das novas alternativas na formulação matemática , chegamos a seguinte solução viável.

Os resultados obtidos estão mostrados a seguir, em forma de tabela, na primeira tabela temos os locais de onde os geradores deverão partir no caso de uma falta de energia, como se pode perceber a soma de geradores disponíveis é sempre maior ou igual a quantidade mínima de geradores necessários em cada cidade.

Na Segunda tabela temos as cidades onde serão implantadas as ERBs relacionadas com o número de geradores que estarão nestas cidades, o número mínimo necessário, o número real existente de geradores disponíveis, além de informações sobre o tipo de bateria e se a cidade é ou não uma cidade limitante (Cidades onde o número de geradores disponíveis é igual ao número mínimo).

Minimo	ERDS Disponíveis
Bauru	14 São Carlos(10)-Marília(2)-Bauru(2)-Total-14
Campinas	42 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-42
Franca	13 Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Total-13
Limeira	11 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Piracicaba	14 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Ribeirão Preto	21 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Total-23
Santos	19 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-29
São José Do Rio Preto	15 Araçatuba(10)-São José Do Rio Preto(5)-Total-15
São José Dos Campos	22 São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-26
São Vicente	13 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-29
Sorocaba	20 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-Santos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-22
Americana	8 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Araçatuba	8 Presidente Prudente(2)-Marília(2)-Araçatuba(10)-São José Do Rio Preto(5)-Total-19
Araraquara	8 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Bauru(2)-Total-18
Guarujá	11 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-29
Indaiatuba	6 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-42
Jacarei	8 São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-26
Marília	9 Marília(2)-Araçatuba(10)-Bauru(2)-Total-14
Presidente Prudente	9 Presidente Prudente(2)-Araçatuba(10)-Total-12
Rio Claro	7 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Ribeirão Preto(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-19
Santa Bárbara d'Oeste	8 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
São Carlos	8 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Bauru(2)-Total-18
Taubaté	10 São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-26
Anaras	5 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Ribeirão Preto(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-19
Assis	4 Presidente Prudente(2)-Marília(2)-Total-4
Barretos	5 São José Do Rio Preto(5)-Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Total-18
Birigui	4 Presidente Prudente(2)-Marília(2)-Araçatuba(10)-São José Do Rio Preto(5)-Total-19
Botucatu	5 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Bauru(2)-Total-18
Catanduva	5 São José Do Rio Preto(5)-Ribeirão Preto(3)-Bauru(2)-Total-10
Cubatão	5 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-29
Guaratinguetá	5 São José Dos Campos(10)-Total-10
Itapetininga	6 Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-6
Jau	5 São Carlos(10)-Marília(2)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Bauru(2)-Total-17
Mogi Guaçu	6 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-São José Dos Campos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-26
Ourinhos	4 Marília(2)-Bauru(2)-Total-4
Pindamonhangaba	6 São José Dos Campos(10)-Total-10
Praia Grande	7 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-29
Tatui	4 Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-6
Votorantim	4 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-Santos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-22
Andradina	3 Presidente Prudente(2)-Araçatuba(10)-Total-12
Avaré	4 Piracicaba(2)-Bauru(2)-Total-4
Bebedouro	4 São Carlos(10)-São José Do Rio Preto(5)-Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Total-28
Caçapava	4 São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-26
Cruzeiro	4 São José Dos Campos(10)-Total-10
Fernandópolis	3 Araçatuba(10)-São José Do Rio Preto(5)-Total-15
Itupeva	4 Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Bauru(2)-Total-7
Itapira	3 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-São José Dos Campos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-26
Jaboticabal	3 São Carlos(10)-São José Do Rio Preto(5)-Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Bauru(2)-Total-30
Leme	4 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Lins	3 Marília(2)-Araçatuba(10)-São José Do Rio Preto(5)-Bauru(2)-Total-19
Lorena	4 São José Dos Campos(10)-Total-10
Matão	3 São Carlos(10)-São José Do Rio Preto(5)-Ribeirão Preto(3)-Bauru(2)-Total-20
Mococa	3 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Limeira(1)-Franca(10)-Total-24
Mogi Mirim	4 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-São José Dos Campos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-26
Pirassununga	3 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
São João Da Boa Vista	4 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Sertãozinho	5 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Total-23
Sumaré	8 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Valinhos	4 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-42
Votuporanga	4 Araçatuba(10)-São José Do Rio Preto(5)-Total-15
Adamantina	2 Presidente Prudente(2)-Marília(2)-Araçatuba(10)-Total-14
Amparo	3 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-São José Dos Campos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-26
Aparecida	2 São José Dos Campos(10)-Total-10
Barra Bonita	2 São Carlos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Bauru(2)-Total-15
Batatais	3 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Total-23
Campos do Jordão	2 São José Dos Campos(10)-Total-10
Capão Bonito	3 Sorocaba(3)-Total-3
Capivari	2 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Caraguatatuba	4 São Vicente(6)-São José Dos Campos(10)-Santos(10)-Total-26
Cosmópolis	2 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Draçena	2 Presidente Prudente(2)-Araçatuba(10)-Total-12
Espírito Santo do Pinhal	2 São Carlos(10)-São José Dos Campos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-23
Garça	2 Marília(2)-Araçatuba(10)-Bauru(2)-Total-14
Guaiúba	2 São José Do Rio Preto(5)-Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Total-18
Ibitinga	2 São Carlos(10)-Marília(2)-São José Do Rio Preto(5)-Ribeirão Preto(3)-Bauru(2)-Total-22
Ibiúna	3 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-Santos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-22
Itanhaém	3 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-Santos(10)-Total-19
Itararé	3 Sorocaba(3)-Bauru(2)-Total-5
Jales	3 Araçatuba(10)-São José Do Rio Preto(5)-Total-15
Lençóis Paulista	3 São Carlos(10)-Marília(2)-Piracicaba(2)-Bauru(2)-Total-16
Mirassol	2 Araçatuba(10)-São José Do Rio Preto(5)-Total-15
Monte Alto	2 São Carlos(10)-São José Do Rio Preto(5)-Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Bauru(2)-Total-30
Nova Odessa	2 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Olimpia	3 São José Do Rio Preto(5)-Ribeirão Preto(3)-Total-8
Orlândia	2 Ribeirão Preto(3)-Franca(10)-Total-13
Piranguçu Paulista	2 Presidente Prudente(2)-Marília(2)-Araçatuba(10)-Total-14
Paulínia	3 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-São José Dos Campos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-26
Penápolis	3 Marília(2)-Araçatuba(10)-São José Do Rio Preto(5)-Total-17
Peruíbe	2 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-Santos(10)-Total-19
Piedade	2 Sorocaba(3)-São Vicente(6)-Santos(10)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-22
Porto Feliz	2 São Carlos(10)-Sorocaba(3)-São Vicente(6)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-22
Porto Ferreira	2 São Carlos(10)-Ribeirão Preto(3)-Piracicaba(2)-Limeira(1)-Total-16
Presidente Epitácio	2 Presidente Prudente(2)-Total-2

Tabela: Solução de geradores disponíveis, elaborado pelo Autor

6 horas	12 horas	Distância Máxima	Número de GMGs	Número de ERBS		
180	360	Número de geradores =>	76	544	Nº de Geradores disponíveis	Localidades Limitantes
6 horas	180	Bauru	2	14	14	Limitante
6 horas	180	Campinas	0	42	42	Limitante
6 horas	180	Franca	10	13	13	Limitante
6 horas	180	Limeira	1	11	16	Ok
6 horas	180	Piracicaba	2	14	16	Ok
6 horas	180	Ribeirão Preto	3	21	23	Ok
6 horas	180	Santos	10	19	29	Ok
6 horas	180	São José Do Rio Preto	5	15	15	Limitante
6 horas	180	São José Dos Campos	10	22	26	Ok
6 horas	180	São Vicente	6	13	29	Ok
6 horas	180	Sorocaba	3	20	22	Ok
6 horas	180	Americana	0	8	16	Ok
6 horas	180	Araçatuba	10	8	19	Ok
6 horas	180	Araraquara	0	8	18	Ok
6 horas	180	Guarujá	0	11	29	Ok
6 horas	180	Indaiatuba	0	6	42	Ok
6 horas	180	Jacarei	0	8	26	Ok
6 horas	180	Mariília	2	9	14	Ok
6 horas	180	Presidente Prudente	2	9	12	Ok
6 horas	180	Rio Claro	0	7	19	Ok
6 horas	180	Santa Bárbara d' Oeste	0	8	16	Ok
6 horas	180	São Carlos	10	8	18	Ok
6 horas	180	Taubaté	0	10	26	Ok
6 horas	180	Araras	0	5	19	Ok
6 horas	180	Assis	0	4	4	Limitante
6 horas	180	Barretos	0	5	18	Ok
6 horas	180	Birigui	0	4	19	Ok
6 horas	180	Botucatu	0	5	18	Ok
6 horas	180	Catanduva	0	5	10	Ok
6 horas	180	Cubatão	0	5	29	Ok
6 horas	180	Guaratinguetá	0	5	10	Ok
6 horas	180	Itapetininga	0	6	6	Limitante
6 horas	180	Jau	0	5	17	Ok
6 horas	180	Mogi Guacu	0	6	26	Ok
6 horas	180	Ourinhos	0	4	4	Limitante
6 horas	180	Pindamonhangaba	0	6	10	Ok
6 horas	180	Praia Grande	0	7	29	Ok
6 horas	180	Tatui	0	4	6	Ok
6 horas	180	Votorantim	0	4	22	Ok
6 horas	180	Andradina	0	3	12	Ok
6 horas	180	Avaré	0	4	4	Limitante
6 horas	180	Bebedouro	0	4	28	Ok
6 horas	180	Caçapava	0	4	26	Ok
6 horas	180	Cruzeiro	0	4	10	Ok
6 horas	180	Fernandópolis	0	3	15	Ok
12 horas	360	Itapeva	0	4	7	Ok
6 horas	180	Itapira	0	3	26	Ok
6 horas	180	Jaboticabal	0	3	30	Ok
6 horas	180	Leme	0	4	16	Ok
6 horas	180	Lins	0	3	19	Ok
6 horas	180	Lorena	0	4	10	Ok
6 horas	180	Matão	0	3	20	Ok
6 horas	180	Mococa	0	3	24	Ok
6 horas	180	Mogi Mirim	0	4	26	Ok
6 horas	180	Pirassununga	0	3	16	Ok
6 horas	180	São João De Boa Vista	0	4	16	Ok
6 horas	180	Sertãozinho	0	5	23	Ok
6 horas	180	Sumaré	0	8	16	Ok
6 horas	180	Valinhos	0	4	42	Ok
6 horas	180	Votuporanga	0	4	15	Ok
6 horas	180	Adamantina	0	2	14	Ok
6 horas	180	Amparo	0	3	26	Ok
6 horas	180	Aparecida	0	2	10	Ok
6 horas	180	Barra Bonita	0	2	15	Ok
6 horas	180	Batatais	0	3	23	Ok
6 horas	180	Campos do Jordão	0	2	10	Ok
6 horas	180	Capão Bonito	0	3	3	Limitante
6 horas	180	Capivari	0	2	16	Ok
6 horas	180	Caraguatatuba	0	4	26	Ok
6 horas	180	Cosmópolis	0	2	16	Ok
6 horas	180	Dracena	0	2	12	Ok
6 horas	180	Espírito Santo do Pinhal	0	2	23	Ok
6 horas	180	Garça	0	2	14	Ok
6 horas	180	Guaiara	0	2	18	Ok
6 horas	180	Ibitinga	0	2	22	Ok
6 horas	180	Ibiúna	0	3	22	Ok
6 horas	180	Itanhaém	0	3	19	Ok
12 horas	360	Itanaré	0	3	5	Ok
6 horas	180	Jales	0	3	15	Ok
6 horas	180	Lençóis Paulista	0	3	16	Ok
6 horas	180	Mirassol	0	2	15	Ok
6 horas	180	Monte Alto	0	2	30	Ok
6 horas	180	Nova Odessa	0	2	16	Ok
6 horas	180	Olimpia	0	3	8	Ok
6 horas	180	Orlândia	0	2	13	Ok
6 horas	180	Paraguacu Paulista	0	2	14	Ok
6 horas	180	Paulínia	0	3	26	Ok
6 horas	180	Penápolis	0	3	17	Ok
6 horas	180	Peruipe	0	2	19	Ok
6 horas	180	Piedade	0	2	22	Ok
6 horas	180	Porto Feliz	0	2	22	Ok
6 horas	180	Porto Ferreira	0	2	16	Ok
6 horas	180	Presidente Epitácio	0	2	2	Limitante

Tabela: Número de geradores disponíveis por ERB, elaborado pelo Autor

8.4- Apresentação dos Resultados

Depois de resolvido o problema proposto, foi necessário apresentar os resultados obtidos para as pessoas. Ocorre que para um leigo, fica um pouco difícil mostrar um problema através de números e fórmulas e querer que ele ainda entenda. Era necessário uma exibição da solução obtida de uma maneira fácil de se entender, por esta razão, tanto o problema quanto os resultados obtidos foram exibidos em forma de gráficos e de animações gráficas criadas no próprio Excel.

Para apresentação do problema foi criada a seguinte animação:

Primeiramente um mapa de São Paulo (com duas cidades), é mostrado na tela do computador, e em seguida, usando o recurso das macros em VBA e das caixas de texto, foi possível se enunciar o problema através de frases que vão aparecendo automaticamente nas caixas de texto. O início da apresentação encontra-se abaixo, essas são as frases exibidas na caixas de textos.

1. Este é uma exemplo do que pode acontecer se o fornecimento de luz é cortado em alguma cidade.
2. Na ilustração temos duas cidades da área 2, Marília e Jaú.
3. O modelo mostra o que acontecerá, ser por algum motivo acontecer uma queda de energia em Jaú
4. Para solucionar o problema, um GMG Móvel, irá se deslocar de Marília(Sede de Geradores) para Jaú .
5. Quando a energia estiver reestabelecida o gerador volta para sua base (Marília)



Figura: Tela inicial de apresentação do problema, elaborado pelo Autor.

Após a exibição das caixas de texto, a lâmpada de Jaú começa a piscar representando assim uma falta de energia elétrica que estaria acontecendo naquela cidade. Começa então uma nova animação, aparece na tela o desenho de um caminhão com um engate (representando o caminhão rebocando o GMG móvel). Ao lado do município de Jaú aparece o desenho de uma bateria e de um pequeno gráfico de barra (representando a sala de baterias e a carga das mesmas no decorrer do tempo). O caminhão começa a se deslocar da cidade de Marília (Base de Geradores), até a cidade de Jaú onde não existem geradores disponíveis e no momento esta acontecendo uma falta de energia.

Conforme o caminhão vai se deslocando na tela, o gráfico de barra ao lado da bateria vai diminuindo, representando o consumo de energia das mesmas.



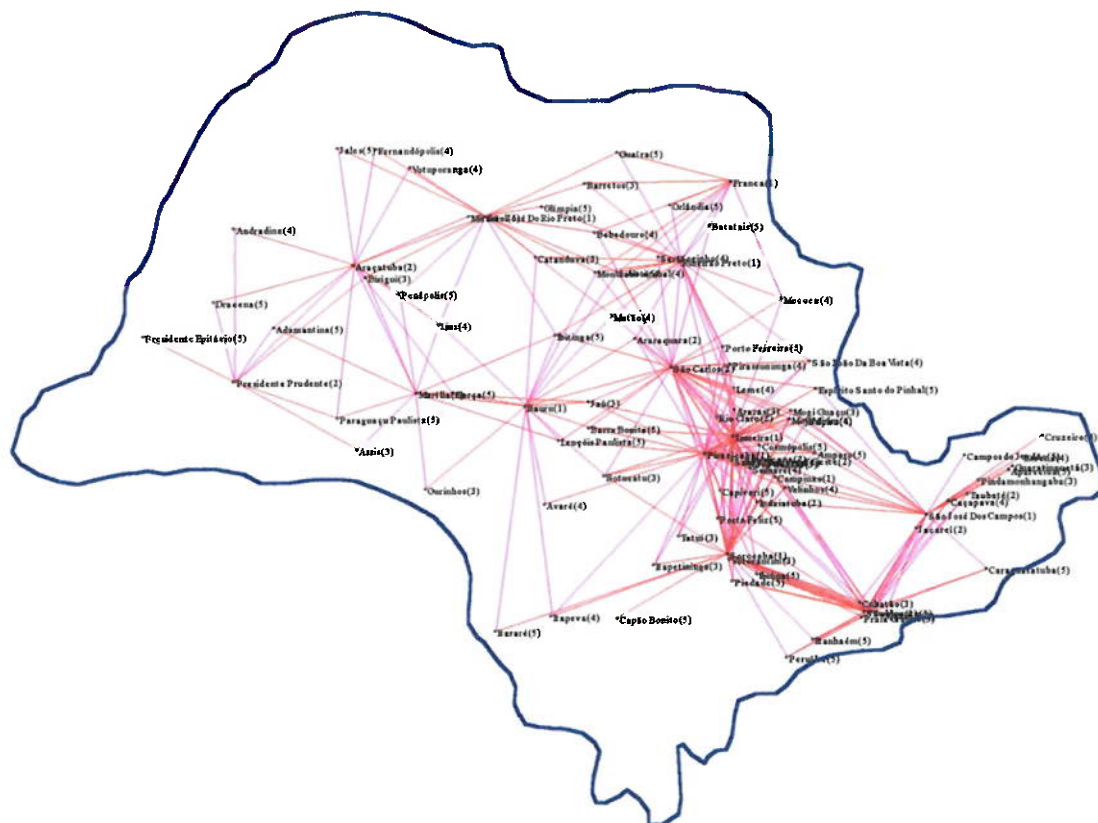
Quando o caminhão chega ao município de Jaú, a energia elétrica é reestabelecida, e o desenho da bateria some da tela. O caminhão volta então para a sua base e a animação termina.

Para a criação dos desenhos foi utilizado o próprio Excel, apenas para o desenho das lâmpadas se usou o software PaintBrush, para fazer com que as frases aparecessem em sequência na caixa de textos, foram criadas varias caixas de texto (uma para cada frase) e uma macro que dependo de um contador, fazia com que apenas uma das caixas ficasse visível.

O movimento de todos o elementos gráficos que fazem parte da apresentação são feitos através da propriedade visível para objetos na linguagem VBA. Exceto o caminhão que ao invés de se utilizar a propriedade visível ele foi movido pela macro através da tela do computador, pois desta forma apenas um desenho foi necessário.

Quanto a apresentação da solução, o mesmo mapa do estado de São Paulo foi utilizado, e a medida em que os valores das distâncias eram calculados, os mesmos eram plotados dentro do mapa de São Paulo.

Após a plotagem de todos os municípios, todas as rotas de geradores entre as cidades eram desenhadas, para isso a macro em VBA iria ler os valores da planilha onde foram feitos os cálculos para otimização do sistema e plotar todos as retas que representariam o fluxo de geradores de uma cidade para outra. O mapa depois da plotagem das cidades e dos fluxo de geradores entre elas ficou da seguinte maneira.



Capítulo 9 - Conclusão

Capítulo 9

9.1 - Conclusões

No início deste trabalho alguma metas foram estabelecidas, antes da resolução do problema dos geradores propriamente dito , seria necessário ganhar-se toda uma base teórica de como o sistema funciona, para depois então pensar-se em alguma solução.

Pois bem esta base teórica foi obtida, depois de muita leitura sobre o assunto, e de pesquisa em livros, manuais e catálogos, podemos dizer que este objetivo foi alcançado, e com isso uma alternativa de solução pôde ser proposta.

Quanto a solução proposta , o objetivo inicial de se estimar o número de geradores necessários para a área 2 foi atingido. Usando de conhecimentos adquiridos no curso de engenharia de Produção, tais como pesquisa operacional e linguagem de programação, foi possível chegar-se a um número que é condizente com a realidade.

Quanto à empresa, o impacto deste trabalho perante os gerentes da Infracel (divisão da Método Engenharia, cujo o produto principal é a construção da infra-estrutura para sistema celulares), foi muito positivo, inclusive foi explorado como um diferencial comercial e apresentado para o cliente.

Porém o mais importante, na opinião do autor, foi o fato que o desenvolvimento deste trabalho, proporcionou ao mesmo uma oportunidade de aprender e aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia de Produção além de entrar em sintonia com que esta acontecendo com o mercado de telecomunicações .

Além disso este trabalho serve de base para resolução de uma série de outros problemas , e por isso um novo estudo sobre a logística da área 2 já foi iniciado, é claro que esta parte já não faz parte deste trabalho, e por isso será descrito muito sucintamente apenas como curiosidade.

O problema que será trabalhado a partir de agora, é o caso do problema do caixeiro viajante, (The Traveling Salesperson Problem), onde em se ganhando a concorrência para efetuar os serviços no interior de São Paulo, deveremos dimensionar as equipes de trabalho e as suas bases, bases essas que deverão ser em cidades estrategicamente localizadas no Estado , e que estando fixada em uma dessas bases a equipe de operação de campo será responsável pelo acompanhamento e vistoria de uma série de localidades.

Para o leitor fica fácil de se perceber novamente uma analogia entre o problema da determinação do número de estações de bombeiro no condado de Kilroy, o problema dos geradores, e o mais recente problema, o de se determinar o tamanho das equipes de campo assim como as suas localizações. Esta é a primeira parte do problema em que estaremos novamente utilizando a matriz de distâncias calculadas para a determinação do número de geradores. A segunda parte deste problema que envolve as equipes de campo (Dimensionamento e Localização), será determinar qual a rota que essas equipes deverão percorrer no momento em que estiverem vistoriando e acompanhando as obras em andamento.

A seguir temos uma tabela onde um estudo preliminar deste problema foi realizado. Podemos ver que existe uma diferença de distância, dependendo do caminho adotado poderemos ter uma economia de percurso ou não, isso acarretará em ganho de tempo, aumento de eficiência, redução de custos etc.

Percurso						Distância
Bauru	São Carlos	Campinas	Mococa	Bebedouro	Bauru	931,48
Bauru	Campinas	São Carlos	Mococa	Bebedouro	Bauru	980,97
Bauru	Campinas	Mococa	São Carlos	Bebedouro	Bauru	981,53
Bauru	Campinas	Mococa	Bebedouro	São Carlos	Bauru	1001,03
Bauru	São Carlos	Mococa	Campinas	Bebedouro	Bauru	1026,33

Tabela: Alternativas de percurso, elaborado pelo Autor

Um primeiro programa para chegar a solução ótima já foi criado, agora o restante do estudo deverá ter continuidade, e se for o caso de se trabalhar realmente na área 2 deveremos então implantar essas soluções.

Para a resolução deste problema, novamente a matriz de distâncias foi necessária, os cálculos para otimização do caminho serão completamente diferentes, mas o que vale ressaltar é a importância de termos resolvido o problema dos geradores e de termos desenvolvido um método capaz de gerar uma tabela, matriz de distâncias, pois desta forma poderemos continuar e desenvolver novos estudos sobre a área 2, e em se concretizando o contrato para realização de obras nessa região, poderemos então racionalizar o nosso trabalho diminuindo assim os custos, o que nos tornará mais competitivos no mercado, e este será um requisito fundamental para as empresas que pretendem entrar no mercado da banda "B".

Para demonstrar a utilidade desse projeto, a seguir serão apresentados algumas simulações que foram usadas em situações reais junto ao cliente, e a pedido dele.

9.2- Simulações

As simulações feitas para o cliente e a pedido dele, foram as seguintes:
1ª e 2ª Simulações.

Para a execução da infra-estrutura do sistema móvel celular no interior de São Paulo, o cliente (Lucent Technologies, Bell Labs Innovations), propôs a divisão do estado em 8 sub-áreas, cada sub-área correspondendo a um DDD, por exemplo, a região de Campinas seria a área 019, e a região de Marília seria 018. A partir desta divisão o cliente pediu para que fosse feita uma simulação para a área 19 e 15, envolvendo apenas as cidades onde seriam implantadas as estações rádio base durante os primeiros seis meses. Esta simulação

deveria nos dar o ponto ótimo para a instalação de uma fábrica integradora de containers .

A fábrica integradora de containers nada mais é do que um local aonde o container deverá ser entregue, juntamente com outros equipamentos tais como: Ar Condicionado, Equipamentos para Detecção e Combate a Incêndio, Entrada de Energia, além dos próprios equipamentos de Telecomunicações.

Nesta fábrica todos os equipamentos deverão ser montados dentro do container e o mesmo seguirá pronto para o Site (Local da estação Rádio-Base), sendo o trabalho no Site apenas o aparafusamento do Container sobre sua base previamente construída.

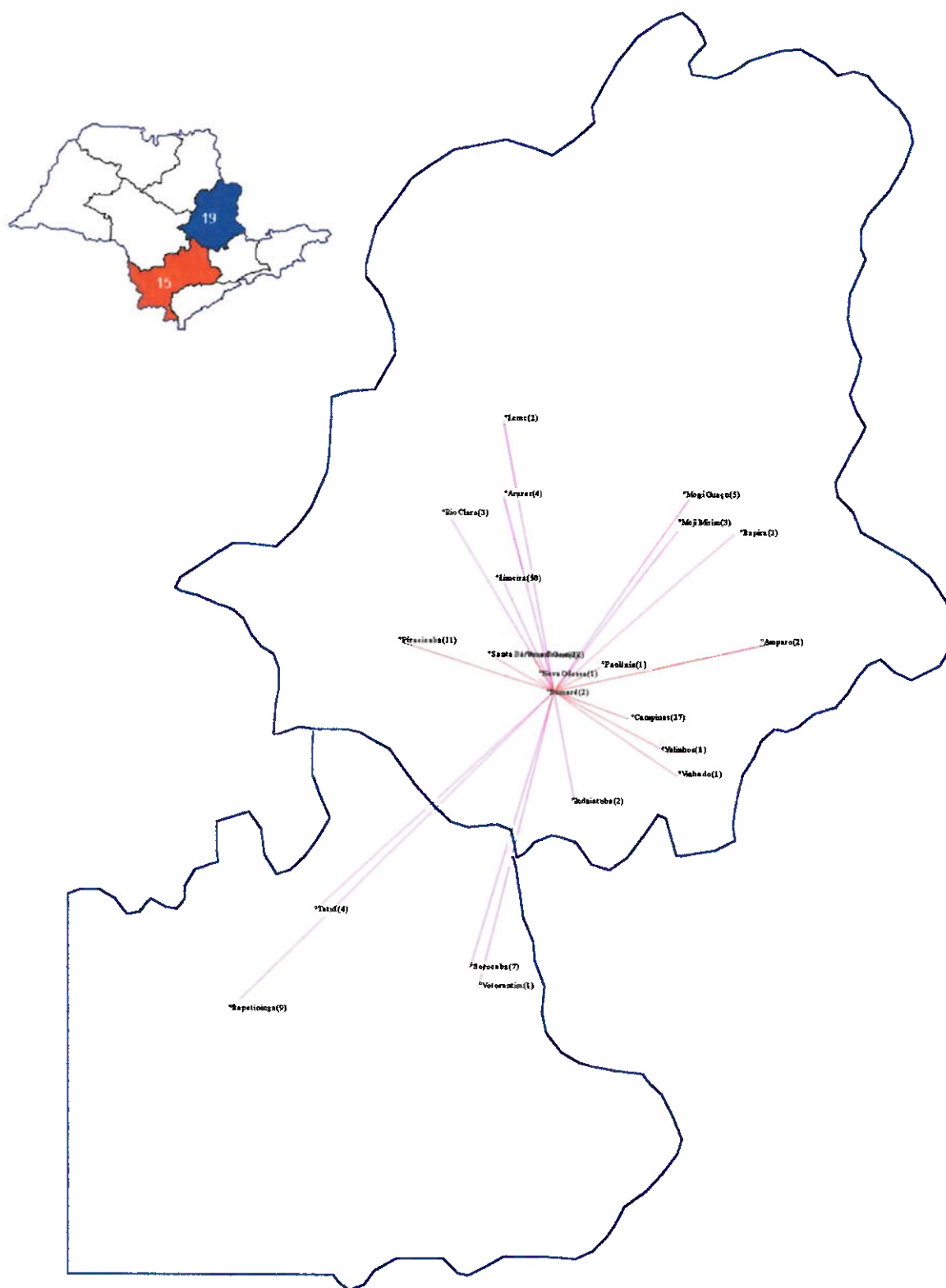
Para determinação do local ótimo para a construção desta fábrica, foram levados em consideração os seguintes fatores:

- Distâncias entre as cidades (Matriz de Distâncias)
- Quantidade de estações em cada cidade.

A fábrica deveria ser construída na cidade na qual a soma da distância para entrega de todos os containers fosse mínima.

1ª Simulação, determinação do ponto ótimo para a instalação de uma fábrica integradora de containers para a fase zero nas regiões 015 e 019. A resposta é a cidade de Sumaré, com uma distância total de 5.825,27 Kms os resultados e os mapas estão mostrados a seguir.

Sumaré	5.825,27
--------	----------



Simulação área 019 e 015, elaborado pelo Autor

A Tabela abaixo mostra os dados relativos a fase 0 das regiões 015 e 019, e segundo os cálculos o ponto ótimo seria a cidade de Sumaré com uma distância total de 5.825,27 KMs

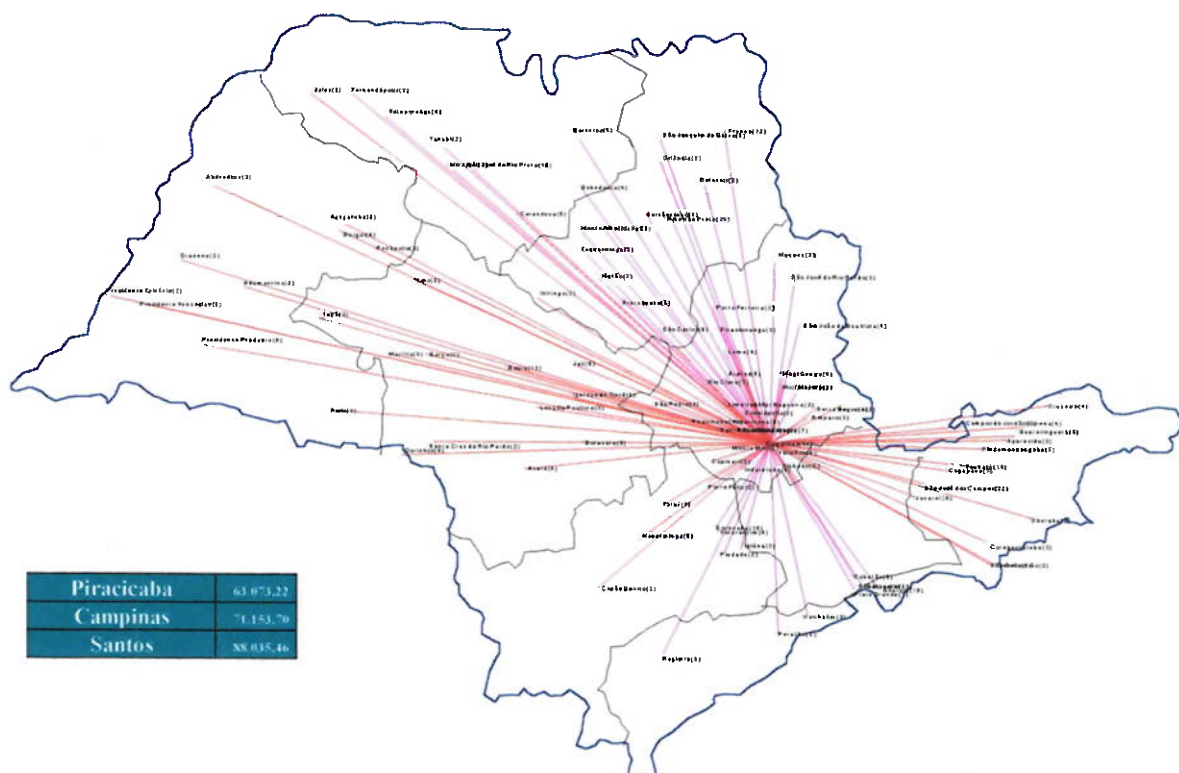
Phase 0	DDD	Implantação	População	Erbs Estimadas
Rio Claro	19	6	153.025	3
Limeira	19	6	230.292	3
Piracicaba	19	6	302.605	11
Santa Bárbara d' Oeste	19	6	161.020	2
Americana	19	6	167.901	2
Paulínia	19	6	44.440	1
Nova Odessa	19	6	37.420	1
Sumaré	19	6	167.751	2
Campinas	19	6	907.996	27
Valinhos	19	6	75.868	1
Vinhedo	19	6	122.159	1
Indaiatuba	19	6	122.159	2
Sorocaba	15	6	431.370	7
Votorantim	15	6	87.186	1
Mogi Guaçu	19	7	114.555	5
Itapetininga	15	7	111.909	9
Araras	19	7	95.943	4
Tatuí	15	7	84.673	4
Leme	19	7	77.751	2
Moji Mirim	19	7	75.373	3
Itapira	19	7	60.626	3
Amparo	19	7	55.239	2
			3.687.261,00	96

Tabela de informações área 019 e 015, elaborada pelo Autor

2ª Simulação, Determinar qual o ponto ótimo para a instalação da fábrica de integração de containers, levando-se em consideração todas as cidades onde serão implantadas estações rádio-base no interior de São Paulo.

O melhor ponto seria a cidade de Piracicaba, porém como a fábrica de equipamentos de telecomunicações da Lucent esta sendo instalada em Campinas, o ponto ideal para a construção da fábrica integradora de containers seria juntamente com a fábrica de equipamentos telefônicos do cliente, ou seja em Campinas.

A seguir tem-se o mapa da distribuição geral de containers para o interior de São Paulo e também uma tabela onde se comparam três possíveis locais para a instalação da integradora de containers. Podemos observar que Campinas, apesar de não ser o ponto ótimo esta muito perto dele, justificando assim a sua escolha.



Simulação para todo projeto, elaborado pelo Autor

9.3 – Finalização

Além dos resultados obtidos, para o autor, este trabalho de formatura, foi uma oportunidade única onde se pôde aprender, pesquisar e aplicar conhecimentos adquiridos na faculdade, para se resolver um problema real, envolvendo um tema atual, e uma solução que não só utilizou técnicas trabalhadas durante o curso de engenharia de Produção , como também uma grande carga de criatividade.

Referências Bibliográficas

Bibliografia

Waynel L. Wiston. **Introduction to Mathematical Programming Applications and Algorithms** , Indiana University, Wadsworth Publishing Company, Belmont Califórnia 94002

Reed Jacobson. **Microsoft Excel 5 Visual Basic for Windows**. Microsoft Press 1995 Editora McGraw Hill Ltda.

Microsoft Corporation. **Microsoft Visual Basic Programmer's Guide Version 3.0 1993**

George Calhoun. **Digital Cellular Radio**. Artech House Inc. 1988

George Calhoun. **Wireless Access and the Local Telephone Network**. Artech House Inc. 1992

Willian C. Y. Lee. **Mobile Cellular Telecommunications Analog and Digital Systems**. McGraw Hill, Inc 1995

Microsoft Press . **Excel 5.0 for Windows Passo a Passo** . Makron Books do Brasil Editora Ltda 1994

Paulo Boulos. **Geometria Analítica e Vetores**. McGraw Hill 1990 2 edição

http://www.seade.gov.br/	Fundação SEADE
http://www.cesp.com.br/	CESP Companhia Energética de São Paulo
http://www.telesp.com.br	Telesp
http://www.energia.sp.gov.br/	Secret. de energia do Estado de São Paulo
http://www.cpfl.com.br/	Companhia Paulista de Força e Luz
http://www.eletropaulo.com.br/	Eletropaulo São Paulo
http://www.ibge.gov.br/	Instituto brasileiro de Geografia e Estatística
http://www.lucent.com	Lucent Technologies
http://www.mot.com/	Motorola