

Genival Corrêa de Souza

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

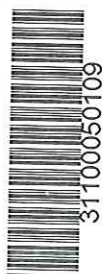
Data de entrada no Serviço.....03...../.....01...../.....05.....

Ass.....*Genival Corrêa de Souza*.....

**OPERACIONALIDADE DE REDES
GEODÉSICAS DE APOIO AO CADASTRO
RURAL**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes.

DEDALUS - Acervo - EESC



31100050109



Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ernesto Schaal

São Carlos
2004

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **GENIVAL CORRÊA DE SOUZA**

Tese defendida e julgada em 29-10-2004 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Dr. **RICARDO ERNESTO SCHAAL (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São-Carlos/USP)

aprovada




Prof. Associado **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO



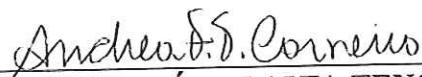
Prof. Dr. **EDVALDO SIMÕES DA FONSECA JÚNIOR**
(Escola Politécnica/USP)

APROVADO



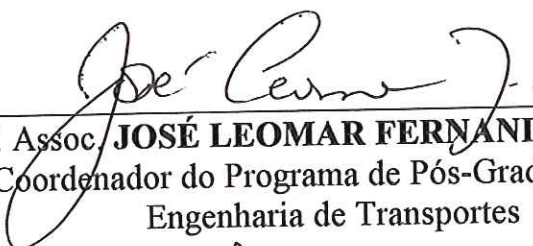
Prof. Dr. **JÜRGEN WILHELM PHILIPS**
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

APROVADO



Profª. Dra. **ANDRÉA FLAVIA TENÓRIO CARNEIRO**
(Universidade Federal de Pernambuco/UFPE)

aprovado



Prof. Assoc. **JOSÉ LEOMAR FERNANDES JUNIOR**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes



Profª. Titular **MARIA DO CARMO CALJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

*À minha esposa
Marineuza.*

*Aos meus filhos
Leonardo, Daniela e Thiago.*

*Aos meus pais
Joaquim e Geni.*

*Aos meus irmãos
Raimundo, Joaquim, Luís,
Bernadete, Dorisday e Cláudio.*

A todos os meus familiares.

A todos os meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Absolutamente, a Deus, pela vida e por conceder-me a coragem e a determinação ao propor e desenvolver este trabalho.

Imensamente, à Pacha, Léo, Dani e Thiaguinho, minha mulher e filhos, por entender e aceitar os transtornos que causei ao longo dessa empreitada: sossego, adolescência e infância perturbados, sem queixas, com resignação.

Aos amigos irmãos do Forninho: Tule, Uchôa, Maurício, Rodrigo e Sérgio, convivência que, certamente, não se acabará jamais.

Ao prof. Ricardo Ernesto Schaal pela orientação segura e apoio incondicional ao longo do trabalho.

Ao professor Segantine e família, pelo convívio respeitoso e prazeroso.

Ao amigo Mauro Menzori pela convivência respeitosa e pela contribuição ao facilitar o contato com profissionais da topografia, durante a realização desta pesquisa.

Aos amigos da área de mensuração pelo companheirismo e solidariedade ao longo desses anos.

Aos colegas e professores do Departamento de Transportes da EESC pelo bom convívio.

À Universidade Estadual de Feira de Santana pelo suporte financeiro.

Aos colegas professores e funcionários do Departamento de Tecnologia da Universidade Estadual de Feira de Santana, pela confiança e compreensão.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	<i>i</i>
LISTA DE TABELAS.....	<i>iv</i>
RESUMO.....	<i>vi</i>
ABSTRACT	<i>viii</i>
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Apresentação	1
1.2 – Objetivos.....	3
1.3 – Justificativa	3
2 - O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	6
2.1 - Hipóteses.....	6
2.2 - Etapas do Desenvolvimento da Pesquisa.....	7
3 - O CADASTRO TERRITORIAL E O GEORREFERENCIAMENTO.....	9
3.1– O Cadastro Territorial - Uma Visão Moderna	9
3.2 - A Importância do Custo para os Sistemas Cadastrais.....	10
3.3 - O Cadastro Rural no Brasil	12
3.4 - A Lei 10.267	14
3.5 - Elementos Necessários para o Georreferenciamento.....	15
3.6 – A Precisão Posicional no Contexto da Lei 10.267	16
3.7 – A Estrutura Geodésica Oficial Disponível	18
3.7.1 - A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.....	19

3.7.2 - As Redes GPS Estaduais.....	21
3.7.3 – A Rede INCRA de Bases GPS.....	24
4 – CRITÉRIOS DE QUALIDADE PARA PROJETOS DE REDES	26
4.1 – Projetos Otimizados de Redes Geodésicas	26
4.2 - Critério para Otimização da Precisão.....	26
4.3 - Critério para Otimização da Confiabilidade	28
4.4 - Critério para a Otimização dos Custos de Implantação.....	31
4.5 - A Operacionalidade como o 4º Critério de Otimização	32
5 – OS ATRIBUTOS DOS VÉRTICES E A OPERACIONALIDADE.....	33
5.1 - O Conceito de Operacionalidade.....	33
5.2 – Identificação dos Atributos que Influenciam a Operacionalidade.....	34
5.3 – Conceitos dos Atributos.....	37
5.3.1 - Acessibilidade.....	37
5.3.2 - Ambiente Circundante.....	39
5.3.2.1 - Visibilidade dos Satélites GPS	40
5.3.2.2 – Diluição Geométrica da Precisão - GDOP	42
5.3.2.3 – Multicaminhamento.....	50
5.3.3 - Intervisibilidade para Estação Total	51
5.3.3.1 - Bases Curtas (Vértices Duplos) para o GPS	51
5.3.4 – Monumento e Documentação.....	53
5.3.5 – Logística, Conforto e Segurança	54
6.0 - ATRIBUIÇÃO DE PESOS.....	55
6.1 – O Método Utilizado.....	55
6.2 - Entrevista Escrita.....	61
6.3 - Questionário.....	62
6.4 - Cálculo dos Pesos e Parâmetros Estatísticos	63
6.5 - Resultados	64
6.6 - Análise dos Resultados da Pesquisa de Pesos.....	68
6.6.1 - A Qualidade dos Estimadores Obtidos	69
6.6.2 - A Seleção da Medida de Tendência Central Adequada	71
6.6.3 -Testes de Significância Estatística.....	72
6.6.4 – Comparação entre as Amostras.....	72

6.7 – Conclusões da Pesquisa de Atribuições de Pesos	75
7- DENSIDADE DA REDE	77
7.1 - Dispêndio de Tempo no Georreferenciamento em Função da Densidade da Rede de Apoio.....	78
7.2 – Análise da Acessibilidade de Redes de Apoio.....	84
7.2.1 – A Área de Estudo.....	84
7.2.2 –Acessibilidade aos Vértices da Rede GPS Estadual	85
7.2.3 – Acessibilidade para Densidade de 40 Km entre Vértices	87
7.2.4 –Acessibilidade - Vértices Distribuídos em Cidades	89
7.2.5 – Acessibilidade nas Diferentes Densidades	92
8- ÍNDICE DE OPERACIONALIDADE.....	96
8.1 - Composição do Índice de Operacionalidade	96
8.1.1 – Contribuição do Atributo Acessibilidade (ACE)	97
8.1.2 – Contribuição do Atributo Ambiente Circundante (AMB)	98
8.1.3 – Contribuição do Atributo Intervisibilidade* (INT*)	100
8.1.4 – Contribuição do Atributo Monumento e Documentação (MON).....	100
8.1.5 – Contribuição do Atributo Logística, Conforto e Segurança (LOG)	101
8.2 - Cálculo do Índice de Operacionalidade.....	102
8.3 - Intervalos do Índice de Operacionalidade.....	105
8.4 - Classes de Operacionalidade das Redes de Apoio.....	106
9 - REDES ATIVAS	107
9.1 - Redes Privadas Comerciais	107
9.2 - Operacionalidade das Redes Ativas.....	109
10- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	114
10.1 - Conclusões	114
10.2 - Recomendações	116
11 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
12 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
ANEXO A - QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA PESQUISA DE ATRIBUIÇÃO DE PESOS	127
ANEXO B - PROGRAMA PARA CÁLCULO DE PESOS.....	132

ANEXO C - TESTES DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA – “RANK SUM TEST”	143
ANEXO D - VALORES DO ÍNDICE DE OPERACIONALIDADE	147

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 3.1: Transporte de Coordenadas.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3.2: Rede Planimétrica Brasileira no ano de 1996.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.3: Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3.4: Rede GPS do Estado de São Paulo.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.5: Rede Minas.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3.6: Pontos GPS oficiais.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.7: Rede de Bases GPS-INCRA.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5.1: Área de visibilidade de um satélite GPS.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 5.2: Visibilidade de satélites GPS para diferentes latitudes.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 5.3: Erro na Coordenada em função do erro na distância.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5.4: Configuração de mínimo GDOP.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5.5: GDOP em função do ângulo de elevação em graus.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 5.6: Variação do GDOP em função do ângulo de corte em Belém.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 5.7: Variação do GDOP em função do ângulo de corte em São Carlos.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 5.8: Multicaminhamento.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.9: Georreferenciamento a partir de uma base curta.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 6.1: Relação hierárquica entre os atributos e operacionalidade.</i>	<i>56</i>

<i>Figura 6.2: Formulário para comparação de atributos</i>	62
<i>Figura 6.3: Tela do programa para cálculo dos pesos.</i>	63
<i>Figura 6.4: Histograma do atributo Acessibilidade.</i>	64
<i>Figura 6.5: Histograma do atributo Ambiente Circundante.</i>	65
<i>Figura 6.6: Histograma do atributo Intervisibilidade.</i>	66
<i>Figura 6.7: Histograma do atributo Monumento e Documentação</i>	67
<i>Figura 6.8: Histograma do atributo Logística, Conforto e Segurança.</i>	68
<i>Figura 6.9: Qualidades dos Estimadores</i>	69
<i>Figura 6.10: Avaliação da qualidade da média obtida.</i>	70
<i>Figura 7.1: Georreferenciamento a partir de dois vértices.</i>	79
<i>Figura 7.2 – Georreferenciamento a partir da RBMC</i>	80
<i>Figura 7.3: Georreferenciamento a partir da Rede GPS Estadual</i>	81
<i>Figura 7.4: Georreferenciamento - rede de 40 Km entre vértices</i>	81
<i>Figura 7.5: Comparação do tempo gasto no georreferenciamento.</i>	82
<i>Figura 7.6: Tempo de georreferenciamento com vértices duplos</i>	83
<i>Figura 7.7: Área de estudo</i>	85
<i>Figura 7.8: Rede com densidade de 40 Km</i>	87
<i>Figura 7.9: Distribuição dos pontos por cidades</i>	89
<i>Figura 7.10: Histograma para as diferentes densidades</i>	93
<i>Figura 8.1: Composição do Índice de Operacionalidade.</i>	96
<i>Figura 8.2: Índice de operacionalidade para todas as combinações dos atributos e condições de operacionalidade</i>	104
<i>Figura 9.1: Estações ativas disponibilizadas pela Empresa Santiago & Cintra.</i>	108
<i>Figura 9.2: Estações ativas disponibilizadas pela Empresa Manfra</i>	108
<i>Figura 9.3: Índice de perda de dados da estação Viçosa (VICO)</i>	110

Figura 9.4: Índice de perda de dados da estação Bom Jesus da Lapa(BOMJ)	110
Figura 9.5: Comparação entre redes convencionais e redes ativas.	112

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1: Estações da RBMC.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 6.1: Escala de comparação par a par.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 6.2: Índice de aleatoriedade.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 6.3: Matriz de comparação par a par.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 6.4: Informações gerais da pesquisa de atribuição de pesos.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 6.5: Distribuição de freqüência: Acessibilidade</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 6.6: Distribuição de freqüência: Ambiente Circundante.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 6.7: Distribuição de freqüência: Intervisibilidade.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 6.8: Distribuição de freqüência: Monumento e Documentação</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 6.9: Distribuição de freqüência:Logística, Conforto e Segurança .</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 6.10: Valores da Média, Mediana e Moda, para cada atributo.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 6.11: Ranking das observações ACE e AMB</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 6.12: Resultados RANK SUM TEST.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 7.1: Sugestão de tempo de rastreo.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 7.2: Tempo de ocupação em função da distância entre estações. </i>	<i>79</i>
<i>Tabela 7.3: Dados do georreferenciamento: RBMC.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 7.4: Dados do georreferenciamento: Redes GPS Estaduais</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 7.5: Dados do georreferenciamento: Rensidade de 40 Km.</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 7.6: Tempo despendido no georreferenciamento.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 7.7: Matriz de distância origem-destino: Rede GPS.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 7.8: Distribuição de Freqüência das distâncias: Rede Estadual....</i>	<i>86</i>

<i>Tabela 7.9: Distribuição média de frequência: Redes GPS Estaduais.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 7.10: Matriz de distâncias origem-destino: Rede de 40 Km.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 7.11: Distribuição de frequência de distâncias por vértice</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 7.12: Distribuição média de frequência: Rede de 40 Km.</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 7.13: Matriz de distâncias origem-destino em Km. Pontos distribuídos por cidades.</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 7.14: Frequência de distâncias por vértice. Distribuição de vértices por cidades.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 7.15: Distribuição média de frequência: Vértices distribuídos por cidades</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 7.16: Frequência média de distâncias, por densidade.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 8.1: Contribuição do atributo Acessibilidade para o tempo de implantação de uma base.</i>	<i>98</i>
<i>Tabela 8.2: Período diário com GDOP acima de 6.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabela 8.3: Contribuição do atributo Ambiente Circundante no tempo de implantação de uma base</i>	<i>99</i>
<i>Tabela 8.4: Contribuição do atributo Vértices Duplos (INT*)</i>	<i>100</i>
<i>Tabela 8.5: Contribuição do atributo Mon. e Documentação (MON).....</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 8.6: Contribuição do atributo Logística, Conforto e Segurança (LOG).....</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 8.7: Tempo para implantação de base: Rede de 40 km.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabela 8.8: Intervalos de Operacionalidade</i>	<i>105</i>
<i>Tabela 8.9: Classes de Operacionalidade.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabela 9.1: indicadores MP1, MP2 e Drift da Estação PARA.</i>	<i>111</i>
<i>Tabela 9.2: Tempo de implantação de uma base a partir de redes convencionais e redes ativas</i>	<i>111</i>
<i>Tabela 9.3: Classes de operacionalidade das redes convencionais e redes ativas.....</i>	<i>112</i>

RESUMO

SOUZA, G. C. (2004). *Operacionalidade de redes geodésicas de apoio ao cadastro rural*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

Nos últimos anos, tem sido evidente a importância dos sistemas de cadastro territorial. Isso tem ocorrido, principalmente, devido à sua crescente função no desenvolvimento econômico, e no gerenciamento ambiental. Dentre os elementos fundamentais de um sistema cadastral, destaca-se o custo do cadastramento, o qual deve ser compatível com a utilidade de cada imóvel cadastrado. Nesse contexto, e considerando as exigências da Lei 10.267, este trabalho demonstra que certas características das redes geodésicas de apoio ao cadastro influenciam determinantemente nos custos do cadastramento dos imóveis rurais e, portanto, que tais características devem ser cuidadosamente consideradas quando da implantação e manutenção de sistemas cadastrais. É introduzido o conceito de Operacionalidade, como mais um parâmetro a ser maximizado na elaboração de um novo projeto, ou na análise de uma rede já existente. A determinação dos parâmetros de Operacionalidade fundamentou-se na identificação e atribuição de “pesos” às características dos vértices, através de uma pesquisa entre profissionais e estudiosos da área, e mediante o envio de dezenas de questionários. Dessa pesquisa foi possível inferir que os atributos relacionados ao acesso, monumentação do vértice, uso de receptores GPS e uso por Estação Total, têm o mesmo peso, sendo que uma importância menor foi atribuída às facilidades logísticas locais. Ficou demonstrado também que, além dos atributos dos vértices, a densidade da rede também influencia a Operacionalidade. Utilizando-se de simulações, e tendo como referência uma região piloto, selecionada dentro do Estado de São Paulo, quantificou-se a influência da densidade que, agregada às características dos vértices, permitiu desenvolver um método para obtenção de um indicador numérico da operacionalidade, o qual

denominou-se *Índice de Operacionalidade*. O trabalho permitiu, ainda, separar as redes em 4 classes de operacionalidade, de acordo com a expectativa de dispêndio de tempo para a implantação de uma base topográfica de apoio aos levantamentos cadastrais de imóveis rurais.

Palavras-chave: cadastro rural; redes geodésicas; redes de apoio; operacionalidade; classificação de redes geodésicas; projeto de redes.

ABSTRACT

SOUZA, G. C. (2004). Functionality of reference geodetic networks to rural cadastre. Ph.D. Thesis. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

In the last few years, it has been noticeable the importance of territorial cadastre systems. This is happening mainly because of its increasing function in economic development, and in environmental managing. Among the fundamental elements of a cadastre system, the cadastral cost, which must be compatible with the utility of each cadastred land parcel, is emphasized. In this context, and considering the 10.267 Law demands, the present study shows that certain characteristics of reference geodetic networks have influence in a determinant way in the costs of rural cadastre, and for that, these characteristics must be carefully considered when implementing and maintaining cadastral systems. The Functionality concept was introduced as one more parameter to be maximized when elaborating a new project, or in the analysis of an already existing network. The determination of Functionality elements was based in the identification and attribution of "weighs" to the network stations characteristics through an investigation by mailing questionnaires to surveyors and researchers. From this investigation, it was possible to infer that the attributes related to the network stations access, monuments, functionality for GPS and Total Station surveys have the same weigh, however local logistics facilities have been attributed with less importance. It was also demonstrated that, besides the network stations attributes, the network density also influences the Functionality. Using simulations, and having as reference a pilot area, selected within São Paulo state, it was quantified the density influence that, together with the network stations characteristics, allowed the development of a method to obtain a numerical indicator of the Functionality, which was called Functionality Index. This study also permitted to separate the networks into 4 classes

of Functionality, according to the time wasting expectation to establish 2 control points to support cadastral surveys.

Keywords: rural cadastre; geodetic networks; functionality; reference networks classification; networks project.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Apresentação

A existência de um sistema cadastral que permita o conhecimento e o gerenciamento eficiente do seu território é uma das condições fundamentais para o desenvolvimento econômico e social de qualquer país. Esta afirmativa tem sido enfatizada de modo cada vez mais contundente por estudiosos do Brasil e do mundo (LIMA & PHILIPS, 2000; CARNEIRO, 2000; BRANDÃO et al, 2000; KAUFMANN & STEUDLER, 1998; ERBA, 1995).

Um sistema de cadastro deve prover quatro tipos de informações básicas relativas a cada imóvel: onde fica, qual o seu tamanho e conformação, quais os direitos a ele associados e quem detém esses direitos (KAUFMANN & STEUDLER, 1998). As duas primeiras informações são inerentes ao cadastro propriamente dito e as duas últimas estão ligadas ao registro imobiliário. Conforme coloca BRANDÃO et al (2000), a legislação brasileira sempre privilegiou o registro com leis claras a respeito dos direitos sobre as parcelas, garantindo assim a propriedade. O mesmo não aconteceu com o cadastro, cujas leis são omissas e imprecisas e não trazem resultados práticos. Desta forma, as informações relativas às características geométricas e localização dos imóveis rurais, imprescindíveis para o conhecimento da realidade territorial e gerenciamento adequado do sistema cadastral, apresentam-se quase sempre de maneira inconsistente e dúbia, e muitas vezes até inexistentes nos registros cadastrais dos imóveis rurais.

Recentemente, foi dado um grande passo em direção a um cadastro mais eficiente, com a sanção da Lei nº 10.267, de 28 de Agosto de 2001, que determina procedimentos para o cadastro de imóveis rurais (BRASIL, 2001). A nova lei estabelece que os imóveis rurais devem ser identificados a partir das coordenadas dos vértices definidores dos seus limites, georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro. A precisão posicional, com probabilidade de 67%, deste

georreferenciamento, deve ser de 50 cm (INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA, 2002).

A adoção da precisão posicional para os vértices definidores dos imóveis rurais implica em uma modernização dos procedimentos de campo com o uso adequado do sistema GPS¹, além da necessidade de redes de apoio com precisão e confiabilidade. Estas redes devem proporcionar uma maior **operacionalidade** para agilizar os levantamentos cadastrais. O termo operacionalidade é introduzido neste trabalho como um novo indicador, que quantifique a maior ou menor facilidade proporcionada pela rede de apoio na execução dos levantamentos cadastrais. O estabelecimento deste indicador deve estar baseado em um determinado número de atributos da rede, abrangente o suficiente para a sua adequada definição.

A Lei 10.267, ao definir a precisão posicional para o georreferenciamento dos imóveis rurais, fornece-nos o parâmetro de precisão a ser usado nos projetos de novas redes de apoio para o cadastro rural uma vez que, conhecendo-se o erro máximo admissível para os pontos da rede, é possível projetar sua configuração geométrica, desde que se conheça, a priori, a precisão das medidas efetuadas (WOLF, 1980; KUANG, 1996).

O processo de se projetar redes com vistas a obter determinadas características de qualidade está ligado ao estudo de otimização de redes. O objetivo da otimização de redes é identificar uma configuração geométrica adequada e o plano ideal para a execução de medições, que atendam critérios de qualidade preestabelecidos, com o menor esforço possível (KUANG, 1996). Matematicamente, a otimização de redes consiste em minimizar ou maximizar uma função que representa a qualidade da rede (SCHMITT apud KUANG, 1996).

Tradicionalmente, são utilizados três critérios gerais para avaliar a qualidade de uma rede: *precisão, confiabilidade e custos*. A *precisão* retrata a magnitude e direção da elipse de erros das coordenadas de cada ponto com um determinado grau de confiança, resultante do ajustamento das medições na implantação da rede. A *confiabilidade* reflete o limiar da detecção de erros grosseiros, isto é, quanto mais criterioso for o procedimento de aceitação das medições efetuadas, maior será a confiabilidade da rede. A confiabilidade depende também da configuração geométrica, uma vez que esta determina a conformação das equações que relacionam os diversos pontos da rede. Dependendo dessas equações, o processo de ajustamento será mais

¹ GPS – Global Positioning System. Sistema de posicionamento por satélites amplamente utilizado na determinação de coordenadas de pontos na superfície terrestre inclusive para finalidades cadastrais.

ou menos sensível aos erros grosseiros eventualmente existentes nas medidas. Os *custos* expressam os gastos com a implantação, tais como custos de deslocamento, equipamentos, execução das medições e implantação dos monumentos.

A bibliografia sobre projetos otimizados de redes geodésicas não é muito vasta, principalmente no Brasil onde é praticamente inexistente. No âmbito mundial, os pesquisadores têm apresentado métodos analíticos para projetar redes que atendam critérios de precisão, confiabilidade e custos de implantação pré-estabelecidos (GRAFAREND, CROSS, SCHAFFRIN, SCHMITT, WIMMER, JAGER & VOGEL, KUANG, apud KUANG, 1996). Todos estes métodos, contudo, não consideram objetivamente aspectos relacionados com a operacionalidade das redes.

1.2 – Objetivos

Este trabalho propõe-se exatamente a preencher a lacuna acima mencionada, tendo como objetivo geral, considerando a atual legislação brasileira, desenvolver e introduzir a operacionalidade como mais um critério para avaliar redes de apoio ao cadastro rural.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Identificar quais as características (atributos) de pontos das redes de apoio que influenciam na operacionalização do cadastro;
- Encontrar formas de quantificar os níveis de operacionalidade de cada atributo;
- Identificar a influência de cada atributo na operacionalização do cadastro por meio da atribuição de pesos;
- Desenvolver um método que permita estabelecer objetivamente a operacionalidade de uma rede;
- Efetuar simulações e avaliações de redes de apoio já existentes para verificação da funcionalidade do modelo desenvolvido;
- Contribuir com o estabelecimento de diretrizes para a implantação de novas redes de apoio para o cadastro rural no Brasil.

1.3 – Justificativa

Para atender a demanda por um sistema cadastral eficiente, entende-se que a otimização de uma rede não deve considerar somente os aspectos técnicos. A inclusão da operacionalidade na atual metodologia dos projetos poderá possibilitar a implantação de redes que forneçam o apoio geodésico necessário ao cadastro rural a

custos menores, porque levaria em conta, além dos aspectos técnicos, outros aspectos influentes nos sistemas cadastrais, os quais estão relacionados com características sócio-econômicas da região, tais como: rede viária, distribuição da população, distribuição de pólos agrícolas e industriais, entre outros.

Estudos recentes apresentam características de um sistema cadastral moderno, entre elas a de que o cadastro seja autofinanciável (KAUFMANN & STEUDLER, 1998). Entende-se que os custos para implantação e manutenção do sistema cadastral são, na verdade, investimentos que retornam importantes benefícios para os seus usuários e para a sociedade como um todo. Os especialistas consentem que questões importantes relacionadas ao desenvolvimento sustentável dependem da eficiência dos sistemas cadastrais (LIMA & PHILIPS, 2000; CARNEIRO, 2000; BRANDÃO et al, 2000; KAUFMANN & STEUDLER, 1998; ERBA, 1995).

A Federação Internacional de Geômetras (FIG) identifica funções importantes do cadastro, consideradas como retorno dos investimentos nele efetuados (FIG apud KAUFMANN & STEUDLER, 1998):

- Garantir a propriedade e direitos sobre a terra;
- Proporcionar segurança para as operações de crédito;
- Desenvolver e monitorar questões relativas à terra;
- Permitir a cobrança de impostos;
- Proteger as terras do Estado;
- Reduzir os conflitos de terra;
- Facilitar a reforma agrária;
- Melhorar o planejamento e uso da terra;
- Permitir o gerenciamento ambiental;
- Produzir dados estatísticos.

Sob esta ótica, os usuários diretos do cadastro deveriam arcar, ainda que parcialmente, com esses investimentos (KAUFMANN & STEUDLER, 1998). Dentre esses investimentos inclui-se o custo dos levantamentos necessários ao cadastramento dos imóveis rurais.

Os custos do cadastramento de uma parcela certamente estarão vinculados à técnica de levantamento usada e à operacionalidade da própria rede. Entende-se que existe uma relação entre a utilidade de uma parcela e o custo máximo admissível para o seu cadastramento. Portanto, os custos para a determinação das coordenadas definidoras dos seus limites devem ser aceitáveis dentro de certos padrões definidos

pelas relações econômicas vigentes. Se os custos do levantamento não condizem com a utilidade da parcela a ser cadastrada, o próprio mercado inviabiliza o sistema.

Desta maneira, faz-se necessário buscar a precisão desejada para os pontos da rede, não apenas com o menor custo de implantação possível mas, também, com a maximização da sua operacionalidade, objetivando diminuir os custos dos levantamentos a ela referenciados.

Acredita-se que os critérios de qualidade relativos à operacionalidade obtidos nesta pesquisa poderão contribuir para uma melhor avaliação das redes existentes, além de permitir a elaboração de projetos de novas redes mais eficientes para o atendimento das demandas do cadastro rural no Brasil.

Essa questão assume uma importância muito grande, particularmente no Brasil atual, onde grandes mudanças no Sistema Cadastral e no Sistema Geodésico Brasileiro estão sendo empreendidas. Dentre essas mudanças destacam-se a Lei do cadastro rural, o esforço do IBGE na implantação de novas redes GPS (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2003), as redes SIRGAS (SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS - SIRGAS, 1994), a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC (PEREIRA et al, 2003; VASCONCELLOS et al, 1999) e a definição do novo sistema de referência geocêntrico brasileiro - SIRGAS 2000, que deverá ser oficializado a partir do mês de Novembro de 2004 (informação verbal)².

² Informação fornecida por Luiz Paulo Souto Fortes (IBGE) em palestra realizada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo no dia 20/08/2004.

2 - O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Apresenta-se, neste capítulo, as hipóteses e os procedimentos metodológicos empregados no desenvolvimento do presente trabalho.

2.1 - Hipóteses

As hipóteses apresentadas são as seguintes:

- 1) A operacionalidade de uma rede de apoio desempenha papel importante na manutenção de um sistema cadastral eficiente e, portanto, deve ser levada em consideração nos projetos de redes de apoio ao cadastro rural;
- 2) A operacionalidade da rede depende de atributos dos seus vértices. Exemplos de atributos: facilidade de acesso; intervisibilidade para outro vértice, formando uma base; características do ambiente circundante; tipo de monumento;
- 3) A influência de cada atributo na operacionalidade da rede pode ser quantificada e utilizada como parâmetro para projetos de novas redes de apoio ao cadastro;
- 4) Com a introdução da operacionalidade, é possível encontrar uma solução de compromisso entre a maximização da precisão das coordenadas dos pontos e a maximização de uso da rede, mantendo a tolerância ditada pela legislação do cadastro rural.

2.2 - Etapas do Desenvolvimento da Pesquisa

O trabalho foi estruturado em três etapas principais:

a) ETAPA 1 – Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica constou de:

- Estudo da legislação relativa ao cadastro rural no Brasil;
- Estudo do desenvolvimento e estágio atual do Sistema Geodésico Brasileiro;
- Levantamento bibliográfico relativo ao estado da arte nos projetos de redes;
- Levantamento bibliográfico relativo a técnicas de pesquisa social com o objetivo de fundamentar uma pesquisa para quantificação da influência dos atributos dos vértices na *Operacionalidade* de uma rede de apoio;
- Levantamento bibliográfico relativo a análises multicritério para subsidiar a indicação de “pesos” para os atributos que influenciam na operacionalidade.

b) ETAPA 2 – Identificação de atributos dos vértices das redes geodésicas que influenciam a operacionalidade em relação ao cadastro rural e quantificação da influência de cada um na operacionalidade da rede (Para tanto realizou-se uma pesquisa com estudiosos e profissionais envolvidos com os levantamentos cadastrais).

Nesta etapa foram desenvolvidos:

- Seleção de pesquisadores e profissionais supostamente capazes de identificar atributos dos pontos de redes que influenciam na operacionalidade e atribuir “pesos” em função da importância relativa de cada atributo na operacionalidade da rede. As opiniões dos profissionais foram colhidas através de pesquisa por questionários via correio ou internet, ou aplicados diretamente ao entrevistado;
- Elaboração e aplicação de um questionário que foi preenchido pelos pesquisadores e profissionais, quantificação da importância de cada atributo, verificação de consistência e validade dos resultados alcançados;

c) ETAPA 3 – Desenvolvimento de modelo matemático que permita avaliar a “operacionalidade”

O método clássico para compor uma rede tem como ponto de partida os modelos matemáticos para otimização de redes geodésicas que procuram aliar alta precisão, alta confiabilidade e baixo custo de implantação, isto é, a função que representa a qualidade da rede normalmente é do tipo apresentado abaixo (SCHAFFRIN apud KUANG, 1996):

$$\alpha_p(\textit{precisão}) + \alpha_r(\textit{confiabilidade}) + \alpha_c(\textit{custo})^{-1} = \textit{máximo} \quad (2.1)$$

$\alpha_p, \alpha_r, \alpha_c$ são os “pesos” para cada critério de qualidade (precisão, confiabilidade e custos).

A partir dos resultados obtidos na pesquisa com os profissionais, desenvolveu-se uma escala de operacionalidade para cada atributo que ponderados por suas importâncias, fornece um índice de operacionalidade de cada vértice da rede.

O modelo obtido permite exprimir a operacionalidade de uma rede, possibilitando a sua inclusão, como o 4º parâmetro, na otimização de projetos de rede de apoio ao cadastro rural.

3 - O CADASTRO TERRITORIAL E O GEORREFERENCIAMENTO

Este capítulo apresenta uma visão atual dos sistemas cadastrais, segundo diversos autores e instituições. Procura-se ressaltar a importância dos custos para a manutenção de um sistema cadastral eficiente, o que condiz com a hipótese de que a operacionalidade é um aspecto importante e deve ser avaliado quando da implantação de redes de apoio ao cadastro.

Apresenta-se, também, um histórico do cadastro rural no Brasil, mostrando a evolução da Legislação Brasileira sobre o cadastro rural, culminando com a Lei 10.267, que exige o referenciamento dos imóveis rurais ao Sistema Geodésico Brasileiro. Discorre sobre aspectos teóricos e o rigor técnico necessários aos trabalhos de georreferenciamento, considerando as exigências da Lei e os procedimentos de mensuração universalmente consagrados e mostra-se a atual infra-estrutura geodésica brasileira disponível para o georreferenciamento.

3.1– O Cadastro Territorial - Uma Visão Moderna

Especialistas estão de acordo com a seguinte definição de cadastro:

“Cadastro é um inventário público de dados metodicamente organizados concernentes à parcelas territoriais, dentro de um certo país ou município, baseado no levantamento dos seus limites” (WILLIAMSON; DALE; BLACHUT; MCLAUGHLIN apud CARNEIRO, 2000).

Historicamente, os cadastros tiveram finalidades tributárias, organizando-se, em seguida, como instrumento para aplicação territorial do Direito e constituindo, assim, um complemento indispensável dos registros da propriedade. Nos últimos anos reconheceu-se a sua importância como sistema de informação para o planejamento, e atualmente fala-se de Cadastro Integral, Múltiplo ou Multifinalitário (HAAR apud ERBA, 1995).

O Sistema de Cadastro Territorial deve contemplar três aspectos fundamentais: o jurídico, o geométrico e o econômico, uma vez que deve garantir direitos, publicidade, adequada distribuição das cargas fiscais e servir de base para o planejamento e ordenamento territorial. “É necessário uma metodologia para

instrumentá-lo, uma complexa tarefa para executá-lo, uma organização administrativa para conservá-lo e um aporte constante de informações para mantê-lo atualizado” (Reunião de Especialistas de La Plata apud ERBA, 1995).

Modernamente, fala-se em Sistema de Informações Territoriais (SIT), na literatura internacional Land Information Systems (LIS), como um sistema amplo que deve combinar recursos técnicos e humanos, e procedimentos organizacionais, a fim de gerar informações necessárias às exigências do gerenciamento de um território (MCLAUGHLIN apud CARNEIRO, 2000).

Cada país do mundo atual possui, em algum nível, a consciência da importância dos sistemas cadastrais (WILLIAMSON, 2001). Esta consciência é fruto do ressurgimento do interesse em questões territoriais, ocorrido nos últimos vinte anos, e deveu-se, na visão de Carneiro e Loch (1999), a razões de natureza política (mudanças no leste europeu e fim do “apartheid” na África do Sul), social (urbanização desordenada dos países em desenvolvimento) e tecnológicas (GPS, teodolitos eletrônicos, avanços da informática e processos fotogramétricos).

Tal interesse proporcionou um aumento significativo no número de pesquisas abordando o tema, bem como despertou o interesse de organizações como as Nações Unidas e o Banco Mundial, gerando inúmeros trabalhos, encontros, workshops e publicações (CARNEIRO & LOCH, 1999).

De acordo com Williamson (2001), esta multiplicidade de ações proporcionou uma melhor compreensão do conceito de Cadastro e da sua função na sociedade. A compreensão dos princípios do cadastro cresceu juntamente com a percepção de que os sistemas cadastrais desempenham uma função importante para o desenvolvimento econômico, o gerenciamento ambiental e a estabilidade social.

Resultou disso uma série de princípios, declarações e linhas de raciocínio que têm norteado as ações para a implantação e modernização de sistemas cadastrais, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento.

3.2 - A Importância do Custo para os Sistemas Cadastrais

Em 1995, a Federação Internacional de Geômetras (FIG) publicou um importante e abrangente documento sobre o cadastro (Statement on the Cadastre) onde apresenta o conceito de cadastro a partir de uma visão moderna. O documento apresenta, também, o conceito de Sistema de Informações Territoriais e discorre sobre as características desejáveis em um sistema cadastral adequado aos dias atuais, reconhecendo que:

O cadastro sempre foi um campo de atividade importante na história dos povos, mas tem se tornado cada vez mais importante, numa perspectiva global, devido a sua função no desenvolvimento econômico e gerenciamento ambiental (FIG, 1995).

Um aspecto enfaticamente abordado diz respeito aos métodos de avaliação da eficiência dos sistemas cadastrais. Dentre os elementos de avaliação discutidos, destaca-se o custo: “o sistema deve ser de baixo custo ou operado de forma que os custos possam ser cobertos de forma razoável sem onerar demasiadamente os usuários” (FIG, 1995).

Em 1996, a ONU organizou um encontro de especialistas em cadastro (United Nations Interregional Meeting of Experts on the Cadastre), realizado em Bogor, Indonésia. O encontro originou a Declaração de Bogor, que reconhece a importância dos sistemas cadastrais para o desenvolvimento econômico, gerenciamento ambiental e estabilidade social, e faz recomendações destinadas a orientar as ações da própria ONU, governos e organizações não governamentais, no âmbito das questões relacionadas aos sistemas cadastrais. Destaca-se, no documento, uma afirmativa a respeito dos sistemas cadastrais:

O sucesso de um sistema cadastral não depende exclusivamente da sua sofisticação legal e técnica, mas se é capaz de proteger os direitos sobre a terra, permitir (onde for o caso) que esses direitos sejam negociados de forma eficiente, simples, segura, rápida e a um custo adequado (UNITED NATIONS, 1996).

No vigésimo congresso da FIG realizado em Melbourne, Austrália, em 1994, foram criados grupos de trabalhos compostos por especialistas para estudar os diferentes aspectos do cadastro e gerenciamento territorial. A um dos grupos foi dada a tarefa de estudar projetos de reforma cadastral em países desenvolvidos. Com base na análise de tendências nos diversos países, o grupo produziu um importante documento (KAUFMANN & STEUDLER, 1998). Cadastre 2014 - A Vision for a Future Cadastral System) no qual apresenta uma visão de como deverão funcionar os sistemas cadastrais dentro de um período de 20 anos, contados a partir do ano de 1994.

O documento apresenta afirmativas básicas a respeito do cadastro do futuro, abordando aspectos legais, técnicos e operacionais dos sistemas cadastrais. Novamente, a questão do custo é enfatizada. “O cadastro deverá ser autofinanciável”. Argumenta-se que os investimentos e custos de operação devem ser pagos, pelo

menos parcialmente, por aqueles que tem os seus direitos garantidos pelo sistema cadastral. Desta forma, a análise custo/benefício deverá ser um importante aspecto a ser considerado quando da implementação e reforma de sistemas cadastrais, devendo os técnicos e legisladores envolvidos com o cadastro estarem atentos também para questões econômicas.

Zevenbergen (2000) chama a atenção para o fato de que se os direitos sobre a terra, assegurados pelo sistema cadastral, não se encontram em sintonia com as necessidades da sociedade e a custos adequados, em algum tempo as pessoas começarão a burlar o sistema oficial criando soluções “marginais” para as suas necessidades.

3.3 - O Cadastro Rural no Brasil

O ordenamento territorial no Brasil tem sua origem na Lei nº 601 de 1850 que dispõe sobre as terras devolutas do império (BRASIL, 1850) e no Decreto Lei 1318 de 1854, que obrigava todos os possuidores de terras, com qualquer título, declarar a sua propriedade ao vigário da paróquia. O registro no arquivo paroquial constituiu-se, desta forma, no primeiro cadastro imobiliário rural regulamentado no Brasil (SALGADO et al, 2000; PESSANHA et al, 2003).

Com a Proclamação da República e implantação do Regime Federativo, transferiu-se para os Estados, no início século XX, as terras devolutas e a competência exclusiva para arrecadar impostos nos seus respectivos territórios (ZANATTA apud SALGADO et al, 2000). Caberia à União apenas a porção do território indispensável para a defesa das fronteiras, fortificações, construções militares e estradas de ferro federais (ERBA, 1995).

Outros fatos marcantes na história do cadastro rural no Brasil são apresentados a seguir:

1934: Competência conferida aos Estados, pela constituição de julho de 1934, para decretar impostos sobre a propriedade territorial, exceto a urbana (BRASIL, 1934).

1946: A Constituição Federal assegurou o direito de propriedade, mas previa o instrumento da desapropriação por utilidade pública ou interesse social, mediante indenização. Ficou expressa, desta forma, a percepção da importância da função social da propriedade ao condicionar o seu uso ao bem estar social (BRASIL, 1946).

1964: Foi sancionado o Estatuto da Terra, o qual regula os direitos e obrigações relativos aos imóveis rurais. Previa a execução de reforma agrária e promoção da política agrícola, além de assegurar a todos a oportunidade de acesso à

propriedade da terra, condicionada pela sua função social. O Estatuto da Terra atribuiu ao Instituto Brasileiro de Reforma Agrária (IBRA), a responsabilidade de promover os levantamentos para a elaboração do Cadastro de Imóveis rurais do país. A caracterização dos imóveis rurais para o cadastro dar-se-ia pela indicação de: proprietário, títulos de domínio e de posse, localização geográfica, descrição das linhas de divisas, nome dos respectivos confrontantes, dimensões das testadas para vias públicas e o valor das terras, das benfeitorias, dos equipamentos e das instalações existentes discriminadamente (BRASIL, 1964).

1965: O Decreto n.º 55.891 regulamentou a seção do Estatuto da Terra relativa aos cadastros. Dispôs que o IBRA deveria manter centros para coordenação das atividades de registro e tributação, sendo que os levantamentos cadastrais consistiriam no preenchimento de questionários declaratórios. O Cadastro Territorial Rural, assim elaborado, compreenderia todas as terras particulares, bem como as terras públicas, as de posseiros e as devolutas. Dispôs que “[...] de cinco em cinco anos será feita uma revisão geral dos cadastros, na qual serão aperfeiçoados os métodos de apuração dos dados pelo uso de fotografias aéreas das áreas já recobertas” (DECRETO 55.891 Apud Erba, 1995). O cadastro, de cunho declaratório, realizou-se através do apoio das Prefeituras municipais que auxiliaram na coleta das informações, contudo não se efetivou em sua totalidade (SALGADO et al, 2000).

Em 1970, por meio do Decreto-Lei n.º 1.110, foi criado o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), entidade autárquica vinculada ao Ministério da Agricultura (BRASIL, 1970).

Em 1972, a Lei n.º 5.868 que criou o Sistema de Cadastro Rural Nacional o qual compreende: Cadastro de Imóveis Rurais, Cadastro de Proprietários e Detentores de Imóveis Rurais, Cadastro de Arrendatários e Parceiros Rurais e Cadastro de Terras Públicas. O cadastro continuou declaratório e deveria prestar a declaração de cadastro todos os proprietários, titulares de domínio útil ou possuidores de imóveis rurais destinados à exploração agrícola, pecuária, extrativa vegetal ou agroindustrial (BRASIL, 1972).

Em Abril de 1973 foi editado o Decreto n.º 72.106, que regulamentou a Lei N.º 5.868 de dezembro de 1972, instituindo o Sistema Nacional de Cadastro Rural, com o objetivo de promover a integração e sistematização da coleta, pesquisa e tratamento de dados e informações sobre o uso e posse da terra (BRASIL, 1973).

Em 1973, a Lei n.º 6.015 estabeleceu que a identificação do imóvel para o registro deveria ser feita mediante indicação das suas características e confrontações, localização e denominação, se rural ou logradouro e número, se urbano (BRASIL, 1973). A este respeito, Erba (1995), comenta:

A não exigência da Planta de Mensura na hora do registro do imóvel mostra o distanciamento existente entre o Registro de Imóveis e o Cadastro Territorial. Essa falta de exigência de correlação entre os estados de direito e de fato trouxe consigo a conhecida situação de confusão de limites que se arrasta até hoje (ERBA, 1995, p. 43).

Como bem coloca Brandão et al (2000), o histórico apresentado mostra que, em todas as tentativas de organização do sistema territorial brasileiro, sempre priorizou-se a garantia da propriedade em detrimento do aspecto métrico/cartográfico, ou seja, o Brasil nunca dispôs de instrumentos normativos que garantissem a perfeita individuação dos imóveis rurais. Esta realidade contribuiu, até então, para a reconhecida ineficiência do sistema cadastral e do gerenciamento territorial no Brasil.

3.4 - A Lei 10.267

A partir de 1998, o INCRA propôs mudanças, como forma de tentar alterar esta realidade (CARNEIRO et al, 2001). Esforços dos órgãos envolvidos com a questão, levado a termo juntamente com estudiosos de diversas universidades, conduziram à sanção, em 28 de agosto de 2001, da lei 10.267 (BRASIL, 2001), que cria o CNIR (Cadastro Nacional de Imóveis Rurais).

Um dos mais importantes aspectos abordados pela nova Lei é a preocupação com o aspecto métrico/cartográfico dos imóveis. A Lei 10.267 estabelece que:

A identificação dos imóveis rurais para efetivação de registro no Sistema Nacional de Cadastro Rural [...] será obtida a partir de memorial descritivo, assinado por profissional habilitado e com a devida Anotação de Responsabilidade Técnica - ART, contendo as coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais, geo-referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro e com precisão posicional a ser fixada pelo INCRA [...] (BRASIL, 2001, art 3º, § 3º).

O Decreto n.º 4.449, de 30 de outubro de 2002, que regulamenta a referida Lei (BRASIL, 2002), especifica que:

Caberá ao INCRA certificar que a poligonal objeto do memorial descritivo não se sobrepõe a nenhuma outra constante de seu cadastro georreferenciado e que o memorial atende às exigências técnicas, conforme ato normativo próprio (BRASIL, 2002, art. 9º, §1º).

Finalmente, a Portaria do INCRA n.º 954, de 13 de novembro de 2002, estabelece que “[...] o indicador da precisão posicional a ser atingido na determinação de cada par de coordenadas, relativas a cada vértice definidor do limite do imóvel, não deverá ultrapassar o valor de 0,50 m [...]” (INCRA, 2002, art. 1º).

As exigências da Lei estão provocando uma profunda alteração nos procedimentos até então empregados nos levantamentos cadastrais, com conseqüências para a qualidade, custos e necessidades de capacitação do profissional envolvido.

3.5 - Elementos Necessários para o Georreferenciamento

A questão técnica fundamental imposta pela Lei 10.267 é a obrigatoriedade do referenciamento ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Na prática, isto significa que as coordenadas de cada vértice definidor dos imóveis rurais deverão estar referenciadas a pontos da rede geodésica oficial. Na realização desta tarefa é imperativo o emprego de rigor técnico condizente com os procedimentos de mensuração universalmente consagrados, conforme se discute a seguir.

De acordo com Kuang (1996), é necessário um conjunto mínimo de parâmetros para definir uma rede de pontos no espaço ou a sua posição em relação a um sistema de coordenadas pré-definido. Ao exigir o referenciamento ao Sistema Geodésico Brasileiro, a Lei 10.267 obriga que, nos levantamentos das propriedades rurais, deve-se obter informações que permitam estabelecer a posição de todos os seus vértices, em relação aos pontos da rede geodésica oficial. Nesta situação, os parâmetros necessários para o perfeito referenciamento ao SGB são:

- Translação na direção E (UTM);
- Translação na direção N (UTM);
- Azimute;
- Escala.

Para levantamentos por meios terrestres, como é o caso dos levantamentos com Estação Total, além de um (1) ponto do SGB, cujas coordenadas fornecerão as translações em “N” e “E”, será necessário, também, uma direção que materialize a orientação (azimute) do sistema (desconsidera-se, aqui, o caso de levantamentos com

sistemas inerciais para se determinar o azimute, porque são considerados de uso incomum em levantamentos cadastrais). A direção pode ser materializada por um ponto de azimute ou um outro vértice da rede, intervisível ao primeiro. A escala é fornecida pelo próprio equipamento de medição de distância devidamente aferido.

Para levantamentos por satélites, particularmente o Sistema GPS, teoricamente não seria necessário o referenciamento a qualquer ponto do SGB na superfície terrestre. Cada uma das coordenadas obtidas pelo modo absoluto³ com o GPS traz informações de translação referidas à origem do sistema WGS-84 e a determinação de dois ou mais pontos, ainda que no modo absoluto, permitiriam obter as informações de orientação e escala. Tais informações poderiam ser convertidas ao SGB através de parâmetros adequados (IBGE, 1989). Entretanto, além de problemas relacionados com a conversão ao SGB, até o presente estágio de desenvolvimento, o sistema GPS apresenta pouca acurácia na determinação de coordenadas pelo método absoluto (KUANG, 1996). Desta forma, exige-se que os levantamentos por GPS sejam referenciados a um (1) vértice da rede que materializa o SGB. Evidentemente, que nessa afirmação não se leva em conta a necessária verificação do levantamento realizado, o que exigiria a execução de medidas redundantes. Discutir-se-á esta questão mais adiante.

3.6 – A Precisão Posicional no Contexto da Lei 10.267

A legislação estabelece que a “precisão posicional” não deve ultrapassar **0,50m**. O termo “precisão” está relacionado com a dispersão das medidas. Efetuando-se, por exemplo, um transporte de coordenadas utilizando uma Estação Total, medindo um ângulo e uma distância, conforme mostra a Figura 3.1, a cada par de medidas - ângulo (θ) e distância (D) poder-se-ia calcular as coordenadas do ponto “a”. Se o procedimento fosse repetido por um número estatisticamente significativo de vezes, seria possível calcular um valor mais provável (média) e uma medida de dispersão (desvio padrão, por exemplo), que expressariam a precisão da posição do ponto “a”.

³ Procedimento padrão de determinação de coordenadas pelo sistema GPS através das medições de distâncias para os satélites com apenas um receptor e utilização das coordenadas dos satélites obtidas no momento da medição. As coordenadas obtidas por este método de posicionamento são denominadas na literatura como coordenadas de navegação.

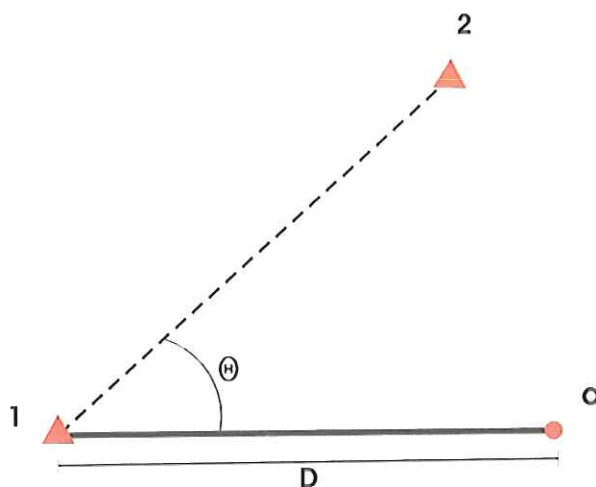


Figura 3.1: Transporte de Coordenadas.

É sabido, no entanto, que a precisão das medidas reflete apenas os erros aleatórios ocorridos durante o processo de medição e que a existência de um erro sistemático, oriundo de qualquer fonte, leva a um valor irreal para as coordenadas, embora a precisão do conjunto de medidas pudesse atender a um critério de precisão estabelecido. Tal procedimento, portanto, não serve para garantir o correto referenciamento ao SGB. Desta forma, a precisão posicional, dentro de um determinado nível de confiança estatística, pode ser garantida apenas partir de um procedimento que envolva uma “**redundância**” de observações permitindo, assim, a verificação das coordenadas obtidas. Para se conseguir redundância nas observações, necessita-se que o **georreferenciamento se dê a partir de, pelo menos, dois pontos da rede que materializa o SGB.**

Esta é uma afirmativa muito importante, tanto para o INCRA, a quem cabe a função de certificar os levantamentos cadastrais, como para os profissionais responsáveis pelos levantamentos, a quem cabe garantir a correção técnica do procedimento empregado.

Salienta-se que, tecnicamente, a redundância das medidas deve ser considerada mesmo no caso de levantamento dos limites do imóvel e não apenas no estabelecimento de pontos de controle. Sem redundância não se pode assegurar, dentro de um certo limite de confiança estatística, a correção das coordenadas.

3.7 – A Estrutura Geodésica Oficial Disponível

A maioria dos pontos da rede geodésica oficial foi levantada através de técnicas clássicas, que alcançam precisão inferior em uma ou mais ordens de grandeza, quando comparadas com técnicas atuais tais como o GPS, SLR (Satellite Laser Ranging), e VLBI (Very Long Baseline Interferometry) (KUANG, 1996).

Em 1996, o IBGE realizou um ajustamento global envolvendo todos os pontos obtidos pelas diversas técnicas – triangulação, poligonação, trilateração, doppler e GPS (ver Figura 3.2). No ajustamento utilizaram-se 49 pontos da rede clássica observados com GPS e Doppler. De acordo com o IBGE, o SGB possuía, em 1996, 3498 vértices de triangulação (pontos em azul), 1158 estações de poligonal e 26 pontos de trilateração (pontos em verde), 1146 estações Doppler (pontos em vermelho) e 187 estações GPS (as linhas de base GPS estão mostradas em azul). Os desvios-padrão das coordenadas obtidas no ajustamento são de 10 cm para estações GPS e de 40 a 70 cm para as estações da Rede Clássica.

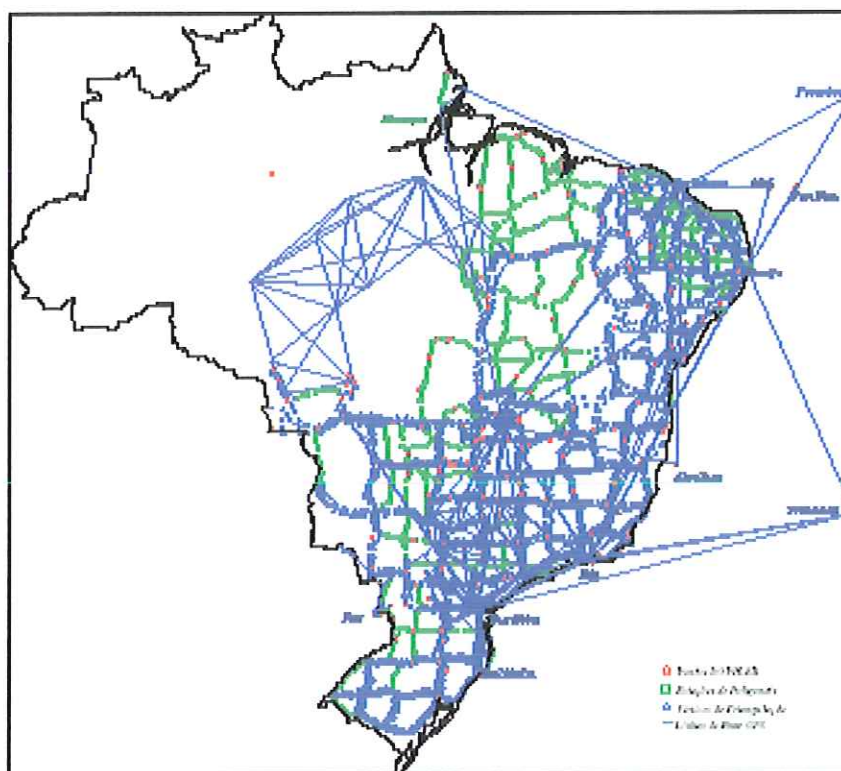


Figura 3.2: Rede Planimétrica Brasileira no ano de 1996.
Fonte: IBGE (1996).

Verifica-se, desta maneira, que a utilização da rede clássica do Sistema Geodésico Brasileiro para o referenciamento de imóveis rurais deve ser vista com restrições, em face da exigência da precisão posicional de 0,50 m.

O INCRA editou, em Novembro de 2003, um conjunto de normas técnicas especificando os procedimentos necessários para o georreferenciamento de imóveis rurais, de forma a atender à Lei 10.267. A norma estabelece a estrutura geodésica oficial que pode ser utilizada para apoiar o georreferenciamento, quais sejam:

- a) Redes geodésicas estaduais estabelecidas a partir do rastreamento de sinais de satélites de posicionamento e homologadas pelo IBGE;
- b) Vértices da rede fundamental (1ª ordem) brasileira, desde que os mesmos tenham sido reocupados com rastreadores de sinais do GPS e suas novas coordenadas homologadas pelo IBGE;
- c) Estações ativas receptoras de sinais de satélites do GPS, da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC/IBGE;
- d) Estações ativas receptoras de sinais de satélites do GPS, da Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS – RIBaC, quando homologadas;
- e) Estações ativas receptoras de sinais de satélites do GPS, pertencentes a outros órgãos públicos ou empresas privadas, desde que homologadas pelo IBGE;
- f) Linhas de nivelamento geométrico e/ou redes trigonométricas, quando necessárias ao apoio vertical, homologadas pelo IBGE (INCRA, 2003, p.13).

Discorre-se, a seguir, sobre as principais redes que deverão ser utilizadas como apoio no georreferenciamento dos imóveis rurais.

3.7.1 - A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

O IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em colaboração com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e financiado pelo Fundo

Nacional de Meio Ambiente (FNMA) iniciou, em 1996, a implantação da RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS, cobrindo todo o território brasileiro (FORTES apud PEREIRA et al, 2003). O objetivo da RBMC é fornecer uma estrutura geodésica de apoio a levantamentos GPS, além de servir de ligação com os sistemas de referência globais (PEREIRA et al, 2003).

A RBMC conta, atualmente, com 15 estações distribuídas ao longo do território brasileiro, conforme mostra a Figura 3.3. Detalhes das estações encontram-se na Tabela 3.1.



Figura 3.3: Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.
Fonte: Pereira et al, 2003.

Tabela 3.1: Estações da RBMC.
Fonte: Pereira et al, 2003.

Estado	Estação	Identificação	Início de Operação
CE	Fortaleza	FORT	13/05/1993
DF	Brasília	BRAZ	03/03/1995
PR	Curitiba	PARA	13/12/1996
SP	Pres. Prudente	UEPP	18/12/1996
BA	B. Jesus da Lapa	BOMJ	18/02/1997
AM	Manaus	MANA	28/04/1997
MG	Viçosa	VICO	22/05/1997
MT	Cuiabá	CUIB	18/06/1997
MA	Imperatriz	IMPZ	16/02/1998
RS	Porto Alegre	POAL	28/10/1998
BA	Salvador	SALV	20/05/1999
PE	Recife	RECF	06/06/1999
CE	Crato	CRAT	09/05/2000
RJ	Rio de Janeiro	RIOD	21/07/2001
RS	Santa Maria	SMAR	09/10/2001

As estações FORT e BRAZ fazem parte da rede IGS (Internacional GPS Service) e as estações FORT, BRAZ, PARA, UEPP, BOMJ, MANA, VICO, CUIB, IMPZ e RIOD pertencem à Rede de Referência Sirgas 2000 (PEREIRA et al, 2003). Cada estação funciona com um receptor geodésico de dupla frequência que coleta continuamente observações do código e fases das ondas portadoras. De acordo com Pereira et al (2003), a configuração geométrica da distribuição das estações permite que, excetuando a região amazônica, os usuários do sistema GPS estejam sempre a distâncias inferiores a 500 km de pelo menos uma das estações e que, dependendo do receptor e dos procedimentos de observação e cálculo, os usuários podem obter precisões que variam de um metro a alguns milímetros, tendo as estações da RBMC como referência.

Recentemente foram incorporadas à RBMC mais 4 estações - Governador Valadares, Montes Claros, Uberlândia e Varginha, todas localizadas no estado de Minas Gerais. Além destas, mais 11 estações devem ser incorporadas à RBMC - 4 estações na região amazônica, 5 no estado de São Paulo (Campinas, Cananéia, São Carlos, São José dos Campos e Ubatuba) e 2 estações no entorno da represa de Itaipu (Guaira e Foz do Iguaçu)⁴ (Informação verbal).

3.7.2 - As Redes GPS Estaduais

No final da década de 80, o IBGE criou o projeto GPS, buscando adequar-se às novas metodologias de levantamento possibilitadas pelo Sistema GPS, as quais mostravam-se superiores, em precisão, rapidez, e economia, aos métodos de posicionamento geodésicos usados até então.

Decidiu-se, portanto, fomentar a implantação de redes GPS em cada unidade da Federação que pudessem servir de estrutura geodésica básica para qualquer projeto que necessitasse de posicionamento. Conforme coloca o próprio IBGE:

As estações integrantes dessas redes têm como principal característica diferencial a garantia da sua integridade física. Desse modo a localização de cada uma delas é em sítios previamente escolhidos,

⁴ Informação fornecida por Luiz Paulo Souto Fortes (IBGE) em palestra realizada na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo no dia 20/08/2004.

juntamente com representação das comunidades estaduais, preferencialmente em locais onde se encontram órgãos públicos, com acesso que facilite a conexão à rede altimétrica de alta precisão do SGB. A concepção das redes estaduais visa permitir seu uso tanto pela topografia clássica quanto por receptores de sinais GPS. Os marcos estabelecidos obedecem às especificações, no tocante a sua estrutura física, emanadas dos órgãos estaduais e avalizadas pelo IBGE (IBGE, 2003).

Até o ano de 1999 foram estabelecidos convênios de cooperação técnica para a implantação de 05 (cinco) redes estaduais nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Espírito Santo e Rio de Janeiro.

Posteriormente, o IBGE firmou convênio com o Estado do Rio Grande do Sul para implantação da rede GPS naquele Estado (SILVA et al, 2001).

No ano de 2001 foram realizados os levantamentos para a implantação da rede GPS no Estado de Minas Gerais (RODRIGUES, 2002) e atualmente têm-se já implantadas as redes GPS dos Estados da Bahia, Mato Grosso do Sul.

As principais características técnicas das redes GPS estaduais são:

1. Precisão: da ordem de centímetros⁵.
 - Rede São Paulo: maior erro na latitude 0,032 m; maior erro na longitude 0,124 m (FONSECA Jr, 1996);
 - Rede Minas: erro máximo na latitude 0,015 m; maior erro na longitude, 0,020 m (RODRIGUES, 2002).
2. Densidade: espaçamento entre pontos da ordem de 150 km.
3. Monumentação: pilar cilíndrico de concreto com dispositivo de centragem forçada.

As Figuras 3.4 e 3.5 apresentam a distribuição espacial dos pontos das Redes São Paulo e Minas, respectivamente.

⁵ Segantine (1995) apresenta erros da ordem de centímetros e Larocca (2000) apresenta erros da ordem de decímetros para diferentes estratégias de ajustamento da Rede GPS do estado de São Paulo

REDE GPS DO ESTADO DE SÃO PAULO

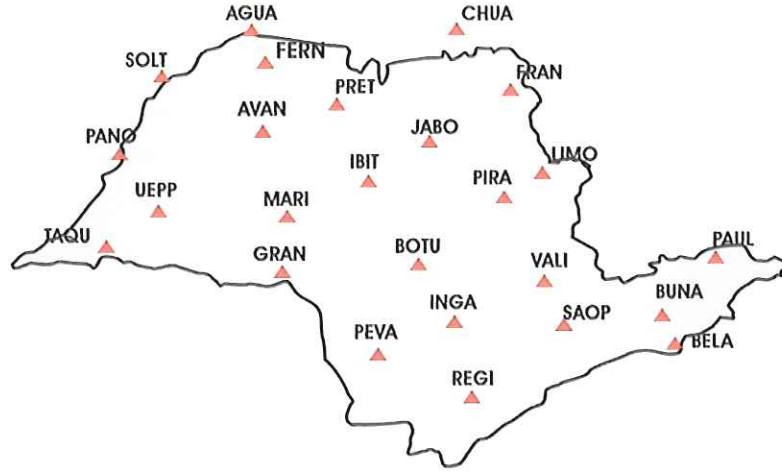


Figura 3.4: Rede GPS do Estado de São Paulo.
Fonte: Fonseca Jr. (1996).

REDE GPS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

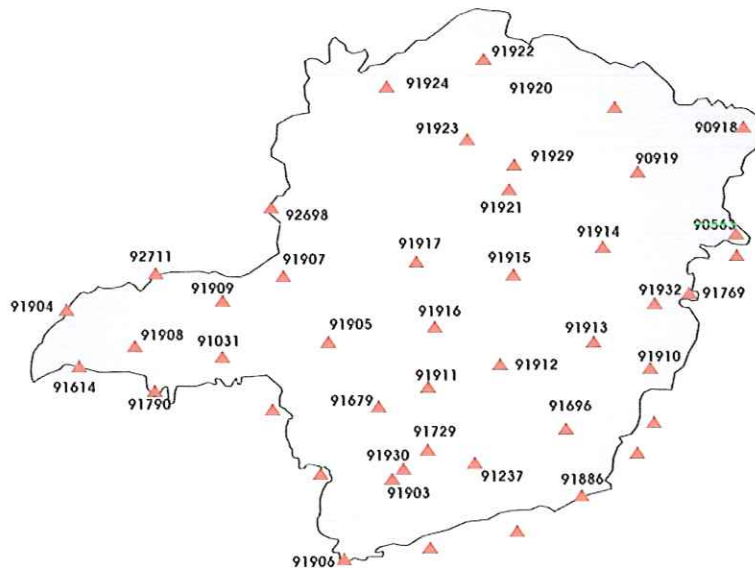


Figura 3.5: Rede Minas.
Fonte: Rodrigues (2002).

A Figura 3.6 apresenta a distribuição espacial dos pontos GPS no Brasil. Excetuando alguns locais que apresentam uma maior concentração de pontos como é o caso das cidades do Rio de Janeiro, Salvador e Brasília, a distância entre estações via de regra é superior a 100 km.

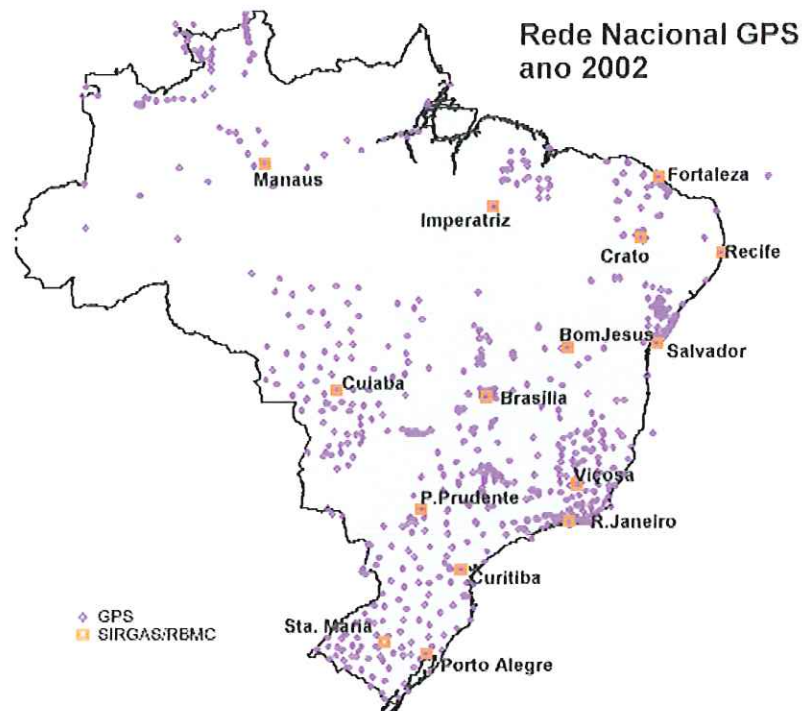


Figura 3.6: Pontos GPS oficiais.
Fonte: Projeto SIRGAS (2002).

3.7.3 – A Rede INCRA de Bases GPS

Constitui-se de uma rede de estações ativas de referência GPS implantadas com o propósito de auxiliar na execução dos serviços de agrimensura desenvolvidos, direta ou indiretamente, pelo INCRA. As estações estão localizadas em unidades próprias do INCRA e, através de acordos, em Universidades Federais ou Estaduais e em sedes de Órgãos e Empresas Públicas e Privadas.

Características:

- Estações ativas com receptores de uma frequência.

- Espaçamento entre estações superior a 300 km (Figura 3.7).

As estações desta Rede não foram oficializadas pelo IBGE e, portanto, ainda não podem ser utilizadas para o georreferenciamento de imóveis rurais.

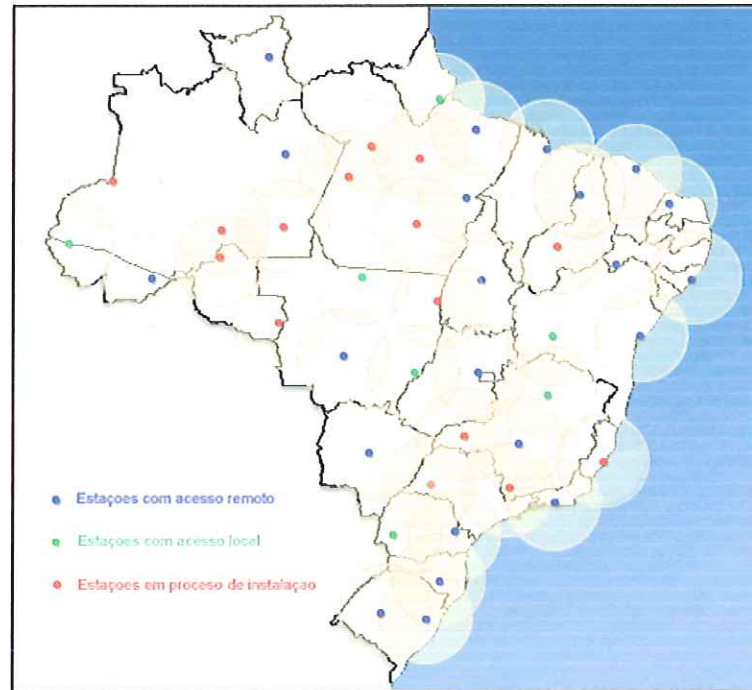


Figura 3.7: Rede de Bases GPS-INCRA
Fonte: INCRA (2004)

4 – CRITÉRIOS DE QUALIDADE PARA PROJETOS DE REDES

Neste Capítulo discorre-se sobre os critérios de qualidade normalmente utilizados nos projetos de redes, enfatizando-se a necessidade de um critério adicional para o caso de redes de apoio ao cadastro.

4.1 – Projetos Otimizados de Redes Geodésicas

Ao implantar redes geodésicas, deve-se adotar procedimentos segundo os quais se possa buscar uma configuração ótima dos pontos da rede e um plano de execução de medições que atendam critérios de qualidade pré-estabelecidos com o mínimo esforço possível, isto é, utiliza-se de técnicas de otimização para alcançar a precisão pré-estabelecida e a confiabilidade necessária, com o menor custo. (GRAFAREND, CROSS, SCHMITT, SCHAFFRIN, KUANG apud KUANG, 1996).

Na prática, as técnicas de otimização de redes geodésicas servem para auxiliar em decisões como a escolha do instrumento de medida mais adequado, a localização dos pontos e, em como a rede deve ser medida para atender aos critérios de qualidade estabelecidos. Um plano otimizado de levantamento deve, portanto, assegurar um trabalho de campo mais econômico, ajudar a identificar e eliminar erros grosseiros existentes nas observações e, ainda, minimizar os efeitos de erros grosseiros não detectados, bem como evitar medições desnecessárias, economizando tempo e outros esforços.

4.2 - Critério para Otimização da Precisão

De maneira geral, o estabelecimento de critérios de otimização para as redes geodésicas está baseado na precisão das medidas utilizadas para descrever a rede. As informações a respeito da precisão da rede encontram-se na matriz de variância-covariância (C_x) das suas coordenadas.

Em geral são utilizados dois grupos de critérios de precisão na otimização de redes. O primeiro consiste numa função escalar dos elementos da matriz variância-

covariância e o segundo em uma matriz de critérios. Tanto no primeiro quanto no segundo caso os critérios de precisão devem atender a necessidade dos usuários.

Grafarend apud Kuang (1996), propôs critérios de precisão a partir de funções escalares da matriz variância-covariância resultante do ajustamento. Alguns exemplos são apresentados a seguir:

$$f = \| C_x \| = \min \quad (4.1)$$

onde:

$\| \|$ representa a norma⁶ da matriz.

$$f = \text{Traço}(C_x) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_h = \min \quad (4.2)$$

onde:

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_h$ são autovalores⁷ não nulos da matriz C_x

$$f = \lambda_{\max} = \min \quad (4.3)$$

onde:

λ_{\max} é o máximo autovalor da matriz C_x

$$f = (\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) = \min \quad (4.4)$$

onde:

$(\lambda_{\max} - \lambda_{\min})$ é a amplitude espectral da matriz C_x

$$f = \text{Det}(C_x) = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \dots \cdot \lambda_h = \min \quad (4.5)$$

onde:

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_h$ são autovalores não nulos da matriz C_x e Det o determinante da matriz.

⁶ A norma expressa a magnitude (tamanho) da matriz. Existem várias formas de se calcular a norma de uma matriz. Uma delas é através da expressão $\| A \| = \sqrt{\sum a_{ij}^2}$ (STRANG, 1993).

⁷ O resultado da multiplicação de alguns vetores especiais "x" por uma matriz A, mantem a mesma direção de "x". Tais vetores são chamados de "autovetores". O vetor resultante Ax é igual a um número λ vezes o vetor original "x", isto é, $Ax = \lambda x$. O número λ é chamado de "autovalor".

Kuang (1996) chama a atenção para o fato de que uma função escalar é uma simplificação das características da matriz C_x e não traduz as características individuais dos seus elementos. Isto permite a sua utilização como critério de comparação de diferentes projetos, mas torna difícil a sua utilização como critério absoluto em casos, como por exemplo, quando os elementos de C_x não podem ultrapassar determinado valor pré-estabelecido para atender aos propósitos da rede. Nessa situação é mais adequado utilizar uma matriz de critérios.

Na otimização por matriz de critérios cria-se uma matriz variância-covariância artificial onde os elementos representam uma situação ótima de acordo com os critérios estabelecidos (KUANG, 1996).

Kuang (1996) afirma que uma simples, mas eficiente, matriz de critérios pode ser constituída de uma matriz na qual os elementos da diagonal são estabelecidos de acordo com as precisões requeridas para as coordenadas.

Para o caso do cadastro rural, a precisão posicional de 50cm pode ser utilizada como parâmetro na definição dos elementos da diagonal da matriz de critérios, sem esquecer de considerar que ela se refere aos vértices dos imóveis e não aos pontos da rede de apoio. É necessário, portanto, fazer uma análise da propagação do erro nos levantamentos destinados ao cadastro do imóvel, para que se possa definir o erro máximo tolerável para os pontos da rede. O INCRA propôs os valores de 0,10 m e 0,20 m como limites de precisão respectivamente para redes de apoio básico e imediato ao cadastro rural (INCRA, 2003). Estes valores podem, portanto, ser utilizados na construção da matriz de critérios para otimização dos projetos de redes de apoio.

4.3 - Critério para Otimização da Confiabilidade

A confiabilidade refere-se à habilidade para detectar erros grosseiros e à capacidade de estimar os efeitos que um erro grosseiro não identificado pode ter na solução do ajustamento (LEICK, 2004). Assim, o estabelecimento de critérios para garantir a confiabilidade de uma rede geodésica está ligado ao estudo do comportamento dos resíduos que, por sua vez, depende da conformação da matriz de parâmetros e pesos, como vê-se a seguir.

No ajustamento por mínimos quadrados, um resíduo de observação é definido como sendo a diferença entre o valor estimado e o valor medido da observação e é dado por (KUANG, 1996):

$$\hat{V} = \hat{L} - L = \left[A(A^T P A)^{-1} A^T P - I \right] L = -RL \quad (4.6)$$

onde:

$$R = I - A(A^T P A)^{-1} A^T P \quad (4.7)$$

A e P representam respectivamente a matriz de parâmetros de configuração e a matriz de pesos.

L representa o vetor das observações e \hat{L} o correspondente vetor dos valores estimados.

Sendo a matriz R dada por:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1i} & \dots & r_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & \dots & r_{ii} & \dots & r_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & \dots & r_{mi} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

O resíduo de cada observação pode ser expresso por:

$$\hat{v}_i = \hat{l}_i - l_i = -\sum_{j=1}^n r_{ij} l_j \quad (i = 1, \dots, n) \quad (4.9)$$

Teoricamente, assume-se que os erros residuais são causados somente por erros aleatórios nas observações. Se o vetor de observações contiver erros grosseiros⁸ (∇L), a influência no vetor dos resíduos ($\nabla \hat{v}$) será:

$$\nabla \hat{v} = -R \nabla L \quad (4.10)$$

e,

$$\nabla \hat{v}_i = \hat{l}_i - l_i = -\sum_{j=1}^n r_{ij} \nabla l_j \quad (i = 1, \dots, n) \quad (4.11)$$

⁸ A expressão erros grosseiros é utilizada aqui para designar observações que não seguem o padrão da maioria dos dados e é habitualmente designada na literatura internacional por "outliers". No Brasil muitas vezes utiliza-se a expressão erros grosseiros para significar enganos normalmente cometidos pelos operadores na execução dos levantamentos.

As equações 4.10 e 4.11 mostram que cada resíduo individual é uma combinação linear de todas as observações e que, quanto mais alta for a correlação entre os resíduos, mais complexa será a dependência entre os resíduos das observações, ou seja, um resíduo poderá ser afetado por uma variação em qualquer uma das observações. Esta é a razão porque, mesmo quando se detecta algum erro grosseiro no processo de ajustamento, é difícil indicar em qual observação o erro ocorreu. É também a razão porque nem sempre pequenos resíduos garantem a qualidade do ajustamento, uma vez que um erro grosseiro cometido em uma única observação poderá ser distribuído em mais que um resíduo.

Os elementos r_i da diagonal da matriz (Equação 4.8) são chamados de números de redundância e dependem do número de observações redundantes utilizadas no ajustamento. Kuang (1996) e Leick (2004) mostram que r_i sempre assume valores no intervalo $0 \leq r_i \leq 1$ e cresce com o número de observações redundantes. O resíduo de cada observação é resultado do produto da matriz R pelo vetor de observações L , portanto, se o valor de r_i aproxima-se do valor máximo, o erro grosseiro ∇l_i , eventualmente existente na observação l_i será multiplicado por um valor próximo de "1" e passará quase que integralmente para o resíduo, o que é desejável. Se ao contrário, o valor de r_i aproxima-se de "0", o erro grosseiro ∇l_i afetará, quase em seu valor integral, o i -ésimo parâmetro ajustado.

Desta forma, quanto maior for a redundância das observações maior será o valor de r_i e maior será a possibilidade de se detectar erros grosseiros através dos valores dos resíduos. Neste caso, a influência dos erros grosseiros não detectáveis nas coordenadas estimadas é minimizada, aumentando-se, assim, a confiabilidade da rede (Detalhes em LEICK, 2004).

Com base nas observações acima, Kuang (1996) propôs um critério geral para a confiabilidade, a ser utilizado nos projetos otimizados de redes geodésicas:

$$\| r \| = \text{máximo} \quad (4.12)$$

onde:

r é um vetor do número de observações redundantes, isto é,

$$r = (r_1, r_2, \dots, r_n)^T \quad (4.13)$$

e,

$\| \|$ representa a norma do vetor.

Deve-se salientar que a análise de confiabilidade das redes não se resume apenas em avaliação do número de redundância e que sua utilização como critério de qualidade em projetos de redes pressupõe a realização de todos os procedimentos anteriores para detecção e eliminação de erros grosseiros que possam causar impacto na solução do ajustamento. Detalhes do estudo de confiabilidade das redes podem ser vistos em (AMORIM, 2004; LEICK, 2004; KUANG, 1996).

4.4 - Critério para a Otimização dos Custos de Implantação

Ao se projetar uma rede geodésica, deve-se atender o usuário quanto à precisão e confiabilidade com o menor custo possível. Os custos dependem de vários fatores, os quais devem ser analisados considerando-se as particularidades de cada projeto.

De acordo com Schmitt apud Kuang (1996), um caminho para se representar matematicamente critérios de custos, consiste em separar os gastos com a execução de medidas em fatores constantes, como por exemplo, custos de deslocamento, custo de utilização dos equipamentos de medidas, etc. Os parâmetros variáveis consistirão na repetição do número de observações. É possível introduzir coeficientes de eficiência de acordo com o procedimento utilizado para efetuar as medidas.

O peso atribuído a determinada observação l_i no processo de ajustamento normalmente segue a relação:

$$w = \sigma_0^2 / \sigma_i^2 \quad (4.14)$$

onde

w = Peso atribuído à observação l_i

σ_0^2 = Variância correspondente ao peso de valor unitário ($w = 1$)

σ_i^2 = Variância da observação l_i

Verifica-se que, quanto maior for a precisão da observação (menor variância), maior será o peso.

É razoável supor que os custos crescerão à medida que for necessário executar medições com maior precisão e, portanto, quanto maior for o peso de uma observação mais alto será o custo da sua realização. Baseado em tal fato, um critério para otimização de custos foi proposto (SCHAFFRIN apud KUANG, 1996):

$$\| W \| = \text{mínimo} \quad (4.15)$$

onde:

W representa a matriz peso

e,

$\| \|$ representa a norma de W .

4.5 - A Operacionalidade como o 4º Critério de Otimização

Tem-se, por um dos postulados principais desta pesquisa, que a operacionalidade é importante para a manutenção de um sistema cadastral eficiente. Tratando-se, pois, de redes de apoio ao cadastro e, considerando o postulado, a operacionalidade deve também ser considerada como mais um critério para os projetos de rede, constituindo-se, assim, no quarto critério de qualidade, além dos três outros - precisão, confiabilidade e custo de implantação descritos acima.

No desenvolvimento deste trabalho buscou-se a identificação e quantificação dos fatores influentes na Operacionalidade, possibilitando a obtenção de um valor numérico capaz de expressá-la. Este valor poderá então ser utilizado como o critério de qualidade da operacionalidade a ser maximizado nos projetos de redes.

Dessa forma, a equação 2.1 apresentada no capítulo 2, que representa o modelo matemático para otimização de projetos de redes, pode ser expressa por:

$$\alpha_p(\text{precisão}) + \alpha_r(\text{confiabilidade}) + \alpha_c(\text{custo} - \text{de} - \text{implantação})^{-1} + \alpha_o(\text{operacionalidade}) = \text{máximo} \quad (4.16)$$

5 – OS ATRIBUTOS DOS VÉRTICES E A OPERACIONALIDADE

Neste capítulo discorre-se sobre o conceito de operacionalidade e identificam-se e conceituam-se os atributos dos vértices que influenciam na operacionalidade de uma rede de apoio ao cadastro rural.

5.1 - O Conceito de Operacionalidade

A palavra operacionalidade exprime qualidade ou condição daquilo “[...] que pode ser aplicado em operações; que contribui para à obtenção de um resultado pretendido. Denomina-se operação ao ato ou conjunto de atos em que se combinam os meios necessários à obtenção de determinados resultados [...]” (HOUAISS, 2001) ou “complexo de meios que se combinam para obtenção de certo resultado” (FERREIRA, 1999).

Decorre dessas definições que a palavra operacionalidade representa a condição de algo, em relação a obtenção de um determinado resultado pretendido. Tratando-se de redes de apoio (controle) ao cadastro, a operacionalidade retrata uma condição da rede em relação à obtenção do cadastro. Esta condição deve ser avaliada em função do objetivo desejado.

Pretendendo-se, por exemplo, georreferenciar os limites de um imóvel rural, dentro de precisão estabelecida, a condição da rede de apoio vai determinar se é, ou se não é, possível realizar a operação de georreferenciamento e quais deverão ser os recursos (métodos, equipamentos, tempo despendido e nível de qualificação dos recursos humanos) empregados nesta tarefa. Não se trata somente de realizar a operação necessária para o georreferenciamento, mas, também, verificar se os recursos despendidos são adequados para o perfeito funcionamento do sistema cadastral.

Postula-se, nesta pesquisa, que a condição da rede que retrata a sua operacionalidade é expressa por características tais como: densidade e distribuição espacial dos vértices, acessibilidade e ambiente onde se localiza o vértice, tipo de monumento empregado para materialização, entre outros. Essas características irão

proporcionar ao usuário um certo nível de dificuldade (ou facilidade) quando utilizar a rede para apoiar levantamentos cadastrais, determinando, por exemplo, o método e o tipo de equipamento a ser empregado, a capacitação profissional necessária e o tempo de execução, os quais, certamente, terão influência nos custos do levantamento.

No contexto deste trabalho, o custo do levantamento deve ser avaliado considerando-se o objetivo final pretendido, ou seja, a manutenção da eficiência do sistema de cadastro territorial. Por sistema cadastral eficiente entender-se-á aquele capaz de proteger os direitos sobre a terra e permitir que esses direitos sejam tratados de forma eficiente, simples, rápida, segura e a um custo adequado (UNITED NATIONS, 1996).

5.2 – Identificação dos Atributos que Influenciam na Operacionalidade

A preocupação com certas características desejáveis dos vértices das redes geodésicas, que contribuem para o bom andamento e qualidade das operações de medição, aparece nos principais instrumentos normativos e outras publicações desta área do conhecimento. Existem recomendações que demonstram a preocupação com algumas características, tais como tipo de monumento empregado para materializar o vértice geodésico, segurança, garantia de perenidade, documentação, facilidade de localização e acesso. Alguns exemplos são transcritos a seguir.

- Preocupação com o monumento (perenidade, localização, documentação):

Considerando a potencial precisão a ser alcançada pelo GPS, deve-se garantir que os monumentos sejam estáveis, se possível sobre rochas sãs, ou sobre maciços blocos de concreto com uma fundação profunda. (SEGANTINE, 1995, p.142).

Os pontos planimétricos e as referências de nível do apoio básico topográfico devem ser implantados em locais seguros, monumentados por marcos de concreto, de preferência na forma tronco piramidal, enterrados, com o topo ao nível do solo, contendo encravada neste uma placa de identificação e materialização dos pontos [...] (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1994, p.9).

Os pontos planimétricos de apoio básico e as referências de nível implantadas e materializadas no terreno devem ter fichas individuais (monografias...), contendo itinerários de acesso, croqui com orientação, amarrações, testemunhas e outras informações que conduzam a uma perfeita localização e identificação (ABNT, 1994, p.9).

- Recomendações quanto ao ambiente no entorno do vértice, intervisibilidade ou ponto de azimute:

A implantação dos marcos geodésicos, de controle ou de apoio imediato, deve ser feita em locais com a proteção adequada, tais como: próprios do estado, campus de universidades, escolas, etc., com monumentação estável e visibilidade para aplicação da metodologia clássica, evitando também locais onde haja a possibilidade de implantação de obras futuras que possam vir a prejudicar a estabilidade do marco e sua utilização (ABNT, 1998, p.11).

Os marcos geodésicos devem ser acompanhados de um ou dois marcos de azimute, instalados a uma distância mínima; sua precisão máxima do azimute determinado a partir do posicionamento relativo com o GPS é baseada no espaçamento mínimo entre pares intervisíveis [...] (ABNT, 1998, p.12).

Os pontos devem estar em local de boa visibilidade, tanto para os satélites quanto para o emprego da metodologia geodésica clássica (ABNT, 1998, p.11).

No planejamento para implantação de uma rede GPS deve-se ter em mente os diferentes aspectos envolvidos no projeto e entre eles, pode-se citar os locais onde serão implantados os marcos, considerando o acesso, a preservação, a estabilidade do solo e as restrições do próprio sistema GPS como, por exemplo, obstrução de sinais (FONSECA JR, 1996, p.37).

A fim de maximizar o número de satélites observáveis [...] os locais de implantação destes marcos devem apresentar boa visibilidade do horizonte local - acima de 20° (vinte graus) - em qualquer direção, e ser distantes de linha de transmissão de energia elétrica e de faces de edificações. As estações devem ainda ser de fácil acesso, estar em

áreas de instituições públicas e protegidas de vandalismo (RODRIGUES, 2002, p.73).

A literatura não apresenta, contudo, qualquer tentativa de sistematização desses atributos, bem como de uma avaliação menos subjetiva das suas influências na operacionalização dos levantamentos cadastrais.

Procurou-se, a partir da bibliografia e de consultas pessoais a pesquisadores e profissionais da área, relacionar as características dos vértices (atributos) que normalmente constam de recomendações a serem observadas na implantação de vértices de redes geodésicas de apoio.

Elaborou-se a seguinte lista:

1. Facilidade de acesso;
2. Ambiente que permita o bom andamento das medições;
3. Garantia de durabilidade (perenidade) do monumento que materializa o ponto;
4. Monumento que facilite a instalação e utilização dos equipamentos de medição;
5. Facilidade para a perfeita identificação e localização do monumento;
6. Documentação adequada;
7. Existência de pontos de azimutes para facilitar a orientação dos levantamentos geodésicos convencionais;
8. Segurança para realização da medição;
9. Facilidades oferecidas pela proximidade de centros comerciais que permitam a movimentação e acomodação adequada de equipes de levantamento e manutenção de equipamentos e veículos;
10. Proximidade entre os pontos, para minimizar os deslocamentos ao se ocupar os pontos de apoio.

Neste estudo, as características de 3 a 6 listadas acima foram agrupadas em um único atributo. Entendeu-se que elas referem-se ao monumento que materializa o vértice e, por isso, foram agrupadas no atributo que se denominou *Monumento e Documentação*.

As Características 8 e 9 foram agrupadas, pelo mesmo motivo, em um único atributo que se denominou *Logística, Conforto e Segurança*.

As demais características foram renomeadas e o conjunto de atributos a serem avaliados ficou assim constituído:

1. Acessibilidade;
2. Ambiente Circundante;
3. Intervisibilidade;
4. Monumentação e Documentação;
5. Logística, Conforto e Segurança.

Considerou-se que a característica número 10 (dez) não pode ser expressa como atributo de um único ponto, mas, sim, como uma característica geral da rede a qual se denominou Densidade da Rede.

5.3 – Conceitos dos Atributos

5.3.1 - Acessibilidade

De maneira geral, a acessibilidade pode ser conceituada como uma medida que expressa o nível de dificuldade para se alcançar um determinado lugar (GOTO, 2000). No caso deste trabalho, o lugar a ser alcançado é o ponto da rede que será utilizado como apoio para o georreferenciamento. A acessibilidade depende de fatores como distância, características do percurso e tipo de transporte.

Um modelo de avaliação de acessibilidade deve permitir o cálculo de índices de acessibilidade dentro de uma área de estudo em relação aos destinos-chave considerados. Neste caso, os destinos-chave são os diversos pontos da rede de apoio, bem como as cidades de onde deverão partir equipes para execução dos levantamentos cadastrais.

Apresentam-se a seguir pontos teóricos de um modelo de acessibilidade, utilizado por Mendes & Ramos apud Ramos & Rodrigues (2002), adaptado aqui para esta aplicação:

- a) A acessibilidade avalia-se em relação a um determinado objetivo;

Neste trabalho o objetivo é o acesso, por meio de veículos, a pontos de rede para controle geodésico dos levantamentos cadastrais rurais.

- b) O índice de acessibilidade é calculado em função das distâncias a um conjunto de destinos-chave;

Allen et al apud Lima (1998) propôs a seguinte expressão para o cálculo da acessibilidade:

$$A_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n C_{ij} , i = 1,2,\dots,n \quad (5.1)$$

onde:

A_i = Acessibilidade do destino i ;

n = Número de localidades (pontos) utilizadas no cálculo e;

C_{ij} = Custo percebido pelo viajante entre os destinos i e j .

Lima (1998) utilizou a distância como custo percebido pelo viajante por considerar que a velocidade do tráfego era constante na situação por ele estudada. Em casos onde a velocidade é variável, devido a diferentes características da via ou tipo de transporte utilizado, pode se adotar o tempo como medida da acessibilidade.

- c) Os destinos-chave estão relacionados com o objetivo e podem possuir diferentes pesos;
- d) Os meios que permitem alcançar os destinos-chave podem apresentar diferentes níveis de resistência ao movimento, fazendo com que exista uma percepção de um maior custo de viagem. Por exemplo, o tempo de viagem é maior em estradas de terra que em estradas pavimentadas.

Sugerem-se as seguintes velocidades médias de percurso, em função do tipo de via utilizado:

1. Estrada pavimentada em automóvel ou utilitário: 80km/h ;
2. Estrada de terra em automóvel ou utilitário: 40km/h ;
3. Percurso a pé em caminhos, trilhas e pastagens: 4km/h ;
4. É necessário também fazer uma avaliação de condições especiais do percurso eventualmente existentes, tais como percurso a pé, em terrenos montanhosos, lamacentos, pântanos e transposição de obstáculos como cercas, rios e outros.

Nesta situação, a expressão de Allen et al adaptada seria (ALLEN et al apud LIMA, 1998):

$$A_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n T_{ij} , i = 1,2,\dots,n \quad (5.2)$$

onde:

A_i = Acessibilidade do ponto i em horas;

n = Número de localidades utilizadas no cálculo;

T_{ij} = Tempo de percurso em horas para se alcançar o ponto i da rede de apoio a partir da localidade j (possíveis origens das viagens), sendo que:

$$T_{ij} = a_p D_p + a_t D_t + a_c D_c + T_e \quad (5.3)$$

Considerando as velocidades sugeridas tem-se que:

$$T_{ij} = 0,0125 D_p + 0,025 D_t + 0,25 D_c + T_e \quad (5.4)$$

D_p = Percurso em estrada pavimentada;

$a_p = 0,0125$ (velocidade média de 80 km/h);

D_t = Percurso em estrada de terra;

$a_t = 0,025$ (velocidade média de 40 km/h);

D_c = Percurso a pé;

$a_c = 0,25$ (velocidade média de 4 km/h);

T_e = Tempo devido a condições especiais do percurso.

5.3.2 - Ambiente Circundante

As características do ambiente, onde localizam-se os pontos da rede de apoio, podem influenciar na rapidez e qualidade das medições efetuadas pelos diversos tipos de equipamentos. Para o caso específico de medições com receptores GPS, as condições do ambiente em volta do ponto devem ser cuidadosamente observadas, devendo ser isentas de obstáculos ou superfícies refletoras que possam obstruir ou refletir o sinal do satélite.

Os levantamentos com os receptores GPS requerem que pelo menos 4 satélites sejam rastreados ao mesmo tempo, sendo altamente desejável que 5 satélites estejam “visíveis” todo o tempo. A visibilidade de apenas 4 satélites pode não proporcionar uma geometria adequada em determinado tempo (PARKINSON & SPILKER JR, 1996).

De maneira geral, quando se discute a questão do ambiente adequado para levantamentos com o GPS, devem-se analisar três aspectos: o primeiro, a visibilidade, que se refere ao número de satélites disponíveis para serem rastreados em um determinado instante; o segundo, a conformação geométrica dos satélites rastreados, que influencia na precisão das coordenadas obtidas; e o terceiro, o multicaminhamento, que se refere a possíveis desvios do sinal antes de chegar ao receptor, causados por superfícies refletoras no ambiente que circunda o local do levantamento.

5.3.2.1 - Visibilidade dos Satélites GPS

Cada satélite GPS pode ser rastreado a partir de uma região compreendida por um ângulo β com origem no centro da Terra, medido a partir da linha que une o satélite ao centro da Terra, considerada esférica, como mostra a Figura 5.1 (PARKINSON & SPILKER JR, 1996).

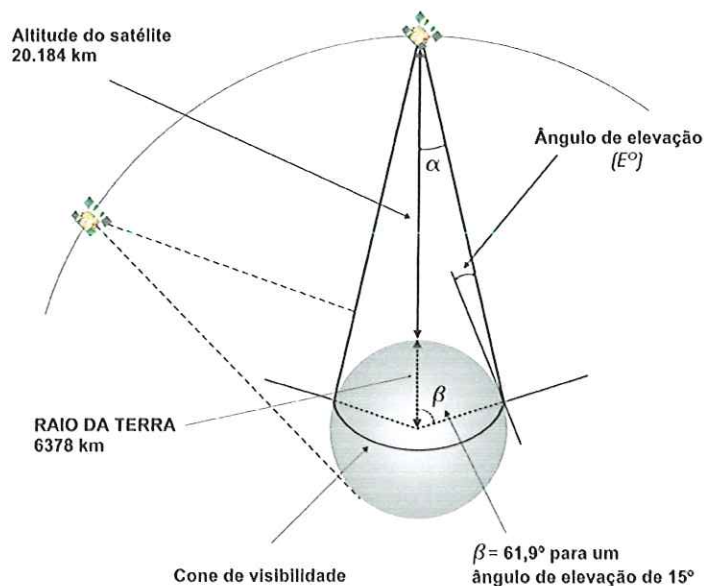


Figura 5.1: Área de visibilidade de um satélite GPS.
Fonte: Parkinson & Spilker Jr. (1996).

O ângulo β é determinado pelo ângulo de elevação E^0 . Quanto maior o ângulo de elevação, menor será o ângulo β e, portanto, também será menor a região da superfície terrestre para a qual o satélite é visível. O ângulo α (ver figura) é calculado em função do raio da terra R_t , da altitude da órbita do satélite H_s e do ângulo de elevação E^0 (PARKINSON & SPILKER JR, 1996).

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \left[\left(\frac{R_t}{R_t + H_s} \right) \cos E^0 \right] \quad (5.5)$$

Sendo que:

$$\beta = 90 - \alpha - E^0 \quad (5.6)$$

Considerando os valores de (R_t) e (H_s) apresentados na figura e um ângulo mínimo de elevação " E^0 " de 15° ⁹, o valor do ângulo " β " será de $61,59^\circ$.

Para uma constelação de 24 satélites igualmente distribuídos em uma "esfera" definida pelas órbitas dos satélites¹⁰, a fração de satélites correspondente à fração da esfera subtendida pelo ângulo β será: $24(1/2)(1 - \cos \beta) = 8.2$ satélites.

A distribuição da constelação de satélites GPS, contudo, não é homogênea, e a visibilidade dos satélites varia com a posição na superfície da Terra. Parkinson & Spilker Jr. (1996) apresentam expectativas de visibilidade dos satélites GPS para uma constelação de 24 satélites e um ângulo de elevação de 10 graus para diferentes latitudes (Figura 5.2). São dados médios obtidos em 24 horas e um conjunto de longitudes espaçadas de 11,25 graus para cada latitude.

⁹ Este é o valor normalmente utilizado como ângulo de corte nos levantamentos com GPS.

¹⁰ Para efeito deste cálculo, as órbitas aqui são consideradas esféricas (PARKINSON & SPILKER JR, 1996).

VISIBILIDADE DE SATÉLITES GPS
ÂNGULO DE CORTE DE 10°

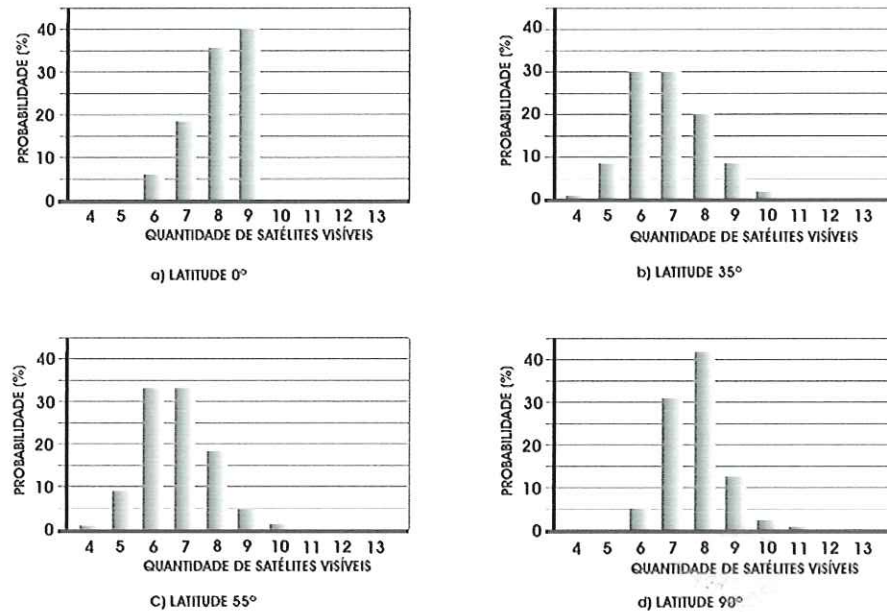


Figura 5.2: Visibilidade de satélites GPS para diferentes latitudes
Fonte: Parkinson & Spilker Jr. (1996).

Verifica-se que, para latitudes muito baixas ou muito altas, no mínimo seis satélites estão sempre visíveis, enquanto que, para latitudes nas proximidades de 35 e 55 graus, em uma certa fração de tempo, 5 e até mesmo 4 satélites apenas são visíveis.

5.3.2.2 – Diluição Geométrica da Precisão - GDOP

A melhor solução para a posição, em um dado conjunto de medidas, é aquela que minimiza o GDOP (Geometric Dilution of Precision), o qual depende da configuração geométrica dos satélites no momento da medição (PARKINSON & SPILKER JR, 1996).

O GDOP é dado por:

$$GDOP = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2} \quad (5.7)$$

onde:

σ = erro médio quadrático (rms) das medidas da pseudodistância¹¹;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ são os erros médios quadráticos (rms) das coordenadas obtidas;

¹¹ Assume-se que os erros nas medidas da pseudodistância são independentes e têm média zero e, ainda, que o erro médio quadrático de todas as medidas tem o mesmo valor (σ).

σ_r = o erro médio do relógio expresso em unidades de distância.

Como mostra a Figura 5.3, uma variação ($d\rho$) na medida da distância (ρ) gera uma variação dP na posição do ponto.

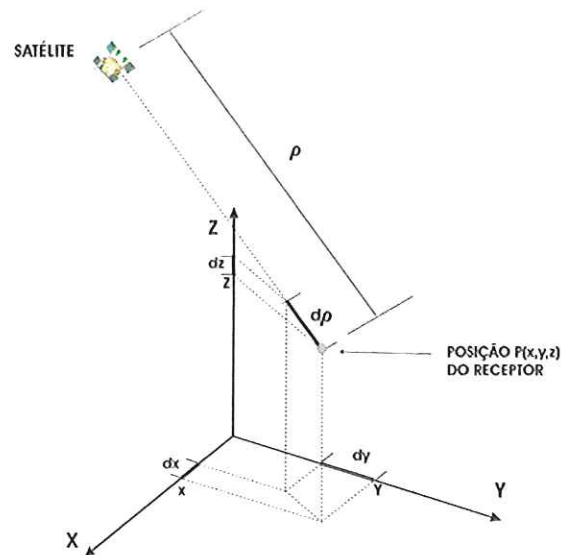


Figura 5.3: Erro na Coordenada em função do erro na distância.

dP é fornecido por:

$$dP = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \quad (5.8)$$

onde:

dx , dy e dz são as projeções do erro ($d\rho$) nos eixos X , Y e Z do sistema de coordenadas empregado.

Se considerarmos o erro do relógio (b) expresso em unidade de distância, têm-se que (PARKINSON & SPILKER JR, 1996):

$$d\rho_i = \frac{\delta\rho_i}{\delta x} dx + \frac{\delta\rho_i}{\delta y} dy + \frac{\delta\rho_i}{\delta z} dz + \frac{\delta\rho_i}{\delta b} db \quad (5.9)$$

Para o caso de 4 satélites tem-se que:

$$d\rho = \begin{bmatrix} d\rho_1 \\ d\rho_2 \\ d\rho_3 \\ d\rho_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & 1 \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & 1 \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & 1 \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ db \end{bmatrix} = G.dP^{12} \quad (5.10)$$

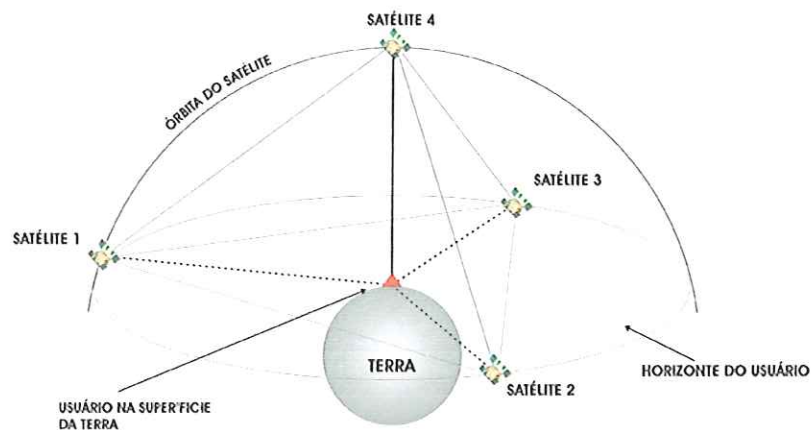
onde:

$(d\rho_i)$ = Variação na pseudodistância em relação a cada satélite;

G = Matriz que representa a direção do vetor pseudodistância para cada satélite (matriz de senos e co-senos);

dP = Variação da posição do ponto P.

Conforme mostra a Figura 5.4, os vetores para cada satélite formam um tetraedro com vértices em cada satélite.



CONFIGURAÇÃO DE MÍNIMO GDOP PARA 4 SATÉLITES

Figura 5.4: Configuração de mínimo GDOP.
Fonte: Parkinson & Spilker Jr. (1996).

12 A expressão completa é

$$d\rho = \begin{bmatrix} d\rho_1 \\ d\rho_2 \\ d\rho_3 \\ d\rho_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & 1 \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & 1 \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & 1 \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ db \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dn_1 \\ dn_2 \\ dn_3 \\ dn_4 \end{bmatrix} = G.dP + dn$$

onde dn_i = erro adicionais próprios do sistema GPS, em cada medida. Por simplicidade deixa-se de considerá-los aqui.

Parkinson & Spilker Jr (1996) demonstram que:

$$GDOP = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2} = \sqrt{\text{tr}(G^T G)^{-1}} \quad (5.11)$$

sendo que:

$$\text{tr}(G^T G)^{-1} = \left[\frac{1}{|G|^2} \right] \sum_{ij} (g_{ij}^{-1})^2 \quad (5.12)$$

onde:

$\frac{g_{ij}}{|G|}$ são elementos de G^{-1} , ou seja, quanto maior for o valor de $|G|$, menor

será o GDOP.

E ainda que:

$|G|$ é diretamente proporcional ao volume do tetraedro (Figura 5.4).

Maximizando o volume do tetraedro, diminui-se, portanto o GDOP.

Se considerarmos 4 satélites e um usuário na superfície terrestre, o volume é maximizado quando um satélite encontra-se no zênite do "usuário" e os outros três igualmente espaçados de 120° , em um plano perpendicular à linha que une o "usuário ao zênite" (Figura 5.4).

Nesta situação, a equação 5.10 pode ser expressa em função do ângulo de elevação dos satélites 1,2 e 3, como segue:

$$d\rho = \begin{bmatrix} d\rho_1 \\ d\rho_2 \\ d\rho_3 \\ d\rho_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos E & 0 & \text{sen } E & 1 \\ -\frac{1}{2}\cos E & \sqrt{\frac{3}{4}}\cos E & \text{sen } E & 1 \\ -\frac{1}{2}\cos E & -\sqrt{\frac{3}{4}}\cos E & 1 & 1 \\ 0 & 0 & \text{sen } E & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \\ db \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

O GDOP pode, então, ser expresso em função do ângulo de elevação (E) (PARKINSON & SPILKER JR, 1996):

$$GDOP = \frac{(4/3)\sec^2 E + [(13/6) - (1/2)\cos 2E]}{\sqrt{[\cos(E/2) - \text{sen}(E/2)]^4}} \quad (5.14)$$

A possibilidade de expressar o GDOP em função do ângulo de elevação foi de grande utilidade nesta pesquisa uma vez que permitiu estabelecer uma classificação para o atributo Ambiente Circundante em função do ângulo de corte determinado por eventuais bloqueios de visibilidade no entorno dos vértices da rede de apoio.

Os valores de GDOP em função do ângulo de elevação são apresentados no gráfico da Figura 5.5.



Figura 5.5: GDOP em função do ângulo de elevação em graus
Fonte: Parkinson & Spilker Jr. (1996).

Quanto maior for o número de satélites visíveis maior será a probabilidade do GDOP ser menor e, portanto, mais adequado para a execução de medições, embora, nem sempre a adição de um ou mais satélites represente uma diminuição do GDOP.

Quando o número de satélites visíveis é grande (acima de 6), a retirada de um satélite por obstrução causada pelo ambiente circundante ou mesmo devido a ocorrência de problemas com o satélite pode, muitas vezes, não alterar significativamente o GDOP. Se o número de satélites é baixo (5 ou mesmo 6), o GDOP torna-se significativamente sensível à retirada de satélites por um dos motivos citados.

As Figuras 5.6 e 5.7 mostram a variação do GDOP quando se altera o ângulo de corte de 15 graus¹³ para 25 graus. As simulações foram feitas para cidades de Belém e São Carlos, considerando o dia 29/11/2003. Utilizou-se o programa SKI, da Leica, versão 2.3.

¹³ O ângulo de corte de 15 graus é comumente utilizado nos levantamentos com o GPS para evitar observações de satélites próximo ao horizonte onde os erros devidos à ionosfera, troposfera e multicaminhamento são maiores (PARKINSON & SPILKER JR. 1996).

Verifica-se que, para a latitude mais baixa (Belém), o número de satélites visíveis é maior e alterações significativas¹⁴ no GDOP ocorrem para ângulos de corte mais elevados. Isto evidencia a necessidade de maiores cuidados com o ambiente circundante à medida que as latitudes ficam mais elevadas.

A visibilidade mínima para a cidade de Belém, com latitude de 1,5° S, (Figura 5.6a) é praticamente de 7 satélites (6 satélites em uma pequena fração de tempo de cerca de 15 minutos) durante as 24 horas do dia, enquanto que para a cidade de São Carlos (Figura 5.7 a), com 22° de latitude, é de 6 satélites durante quase todo o dia (5 satélites em cerca de 1,5 horas e até mesmo 4 satélites em cerca de 15 minutos).

A Figura 5.6b mostra que, para a cidade de Belém, os valores de GDOP encontram-se abaixo de 6, praticamente de forma ininterrupta, durante todo o período. Quando se altera o ângulo de corte para 25 graus (Figura 5.6 c), ocorrem períodos com GDOP acima de 6 que perfazem um total de 6,5 h durante todo o dia.

Para a cidade de São Carlos (Figura 5.7 b) os valores de GDOP encontram-se abaixo de 6 por um período de 23 horas. Quando se altera o ângulo de corte para 25 graus (Figura 5.7 c), o GDOP permanece acima de 6 durante períodos que somam 9,2 h ao longo do dia.

¹⁴ Considerou-se que alterações significativas são aquelas que elevam o GDOP para valores maior que 6.

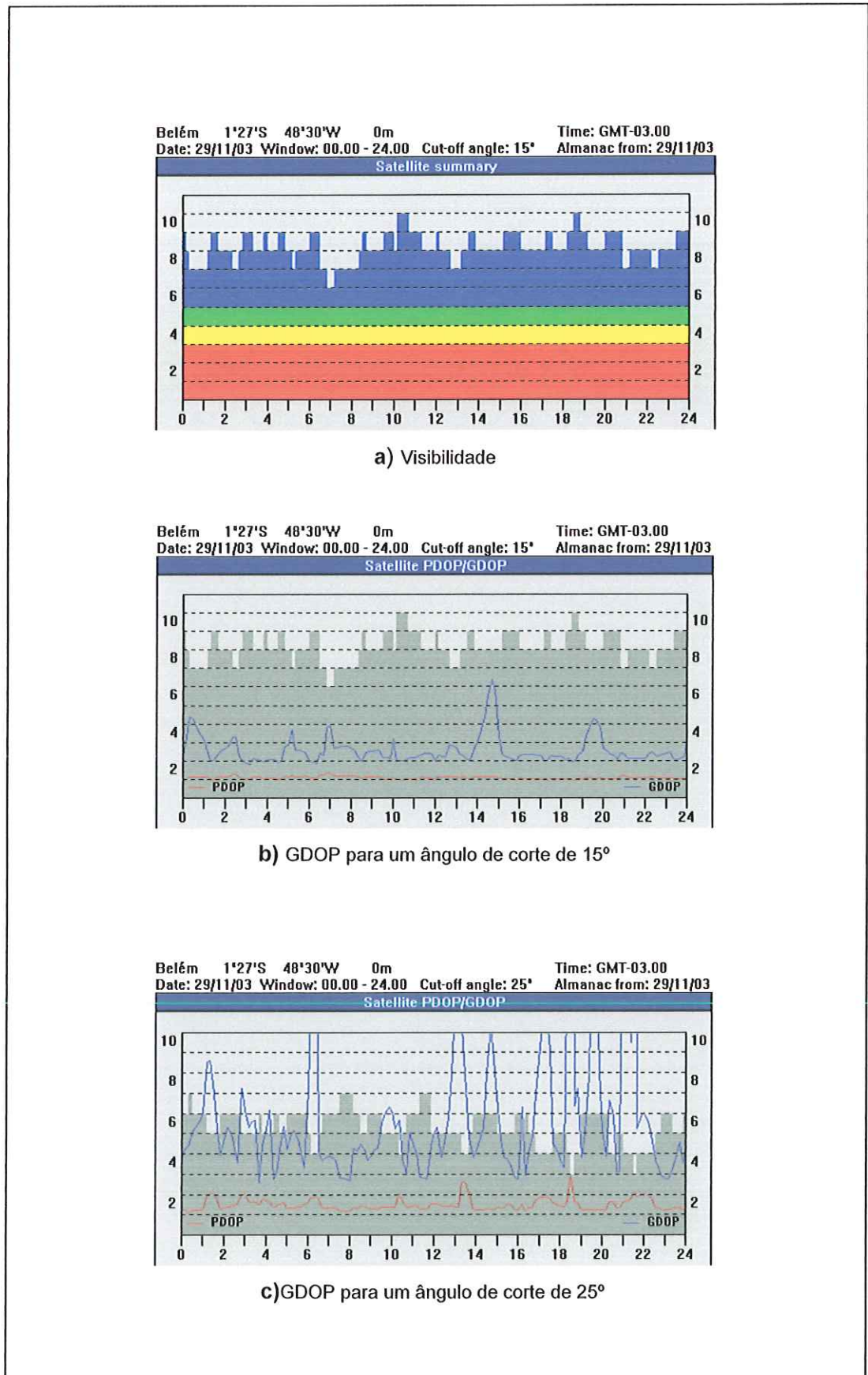
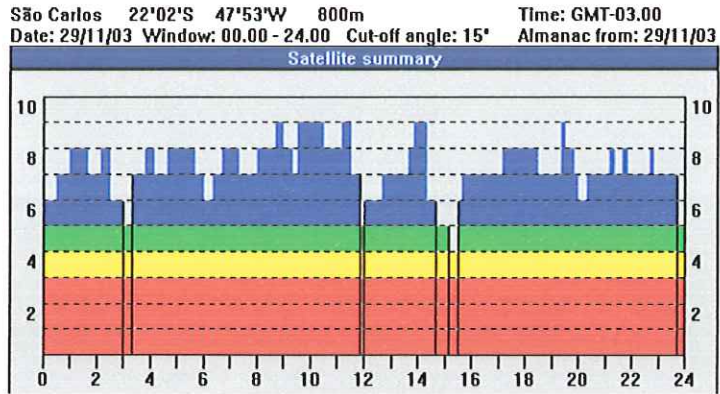
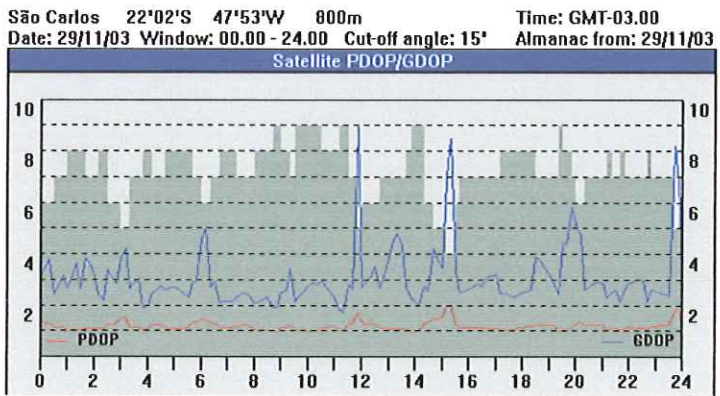


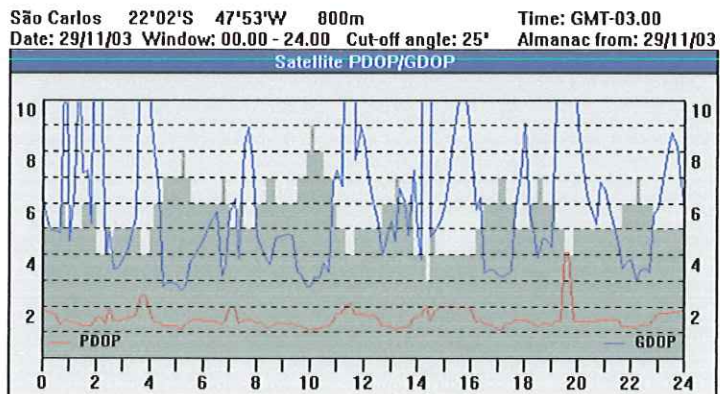
Figura 5.6: Variação do GDOP em função do ângulo de corte em Belém.



a) Visibilidade



b) GDOP para um ângulo de corte de 15°



c) GDOP para um ângulo de corte de 25°

Figura 5.7: Variação do GDOP em função do ângulo de corte em São Carlos.

5.3.2.3 – Multicaminhamento

O multicaminhamento ocorre quando o sinal emitido pelo satélite chega à antena do receptor por mais de um caminho, sendo causado principalmente por reflexões em superfícies no entorno do receptor (HOFMANN-WELLENHOF et al, 1997).

Como mostra a Figura 5.8, o sinal chega à antena do receptor por três caminhos diferentes, um direto e dois indiretos oriundos de reflexões nas superfícies próximas ao receptor. Como consequência, os sinais recebidos apresentam diferenças de fase entre si, que são proporcionais às distâncias percorridas pelos sinais (TRANQUILLA apud HOFMANN-WELLENHOF et al, 1997).

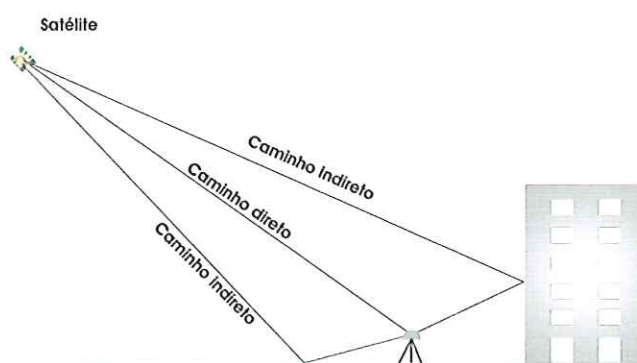


Figura 5.8: Multicaminhamento.
Fonte: Hofmann-Wellenhof et al, (1997).

De acordo com Seeber (1993), o multicaminhamento afeta as medidas tanto pelo código quanto pela portadora e muitas perdas de ciclos podem ser causadas pelos seus efeitos.

Segundo Mônico (2000), o multicaminhamento depende do local onde se posiciona a antena, das características da antena e das técnicas utilizadas nos receptores para reduzir os sinais refletidos.

Tanquilla e Carr apud Hofmann-Wellenhof et al (1997) apresentaram a seguinte classificação para os erros causados pelo multicaminhamento, na medida da pseudodistância (Tabela 5.1):

Tabela 5.1: Erros na pseudodistância causados pelo multicaminhamento.
Fonte: Tranquilla & Carr apud Hofmann-Wellenhof et al (1997).

AMBIENTE	MAGNITUDE DO ERRO
Sinal difuso e irregular originado em uma área ampla e distribuída. Ex.: sinal passando através de um ambiente metálico irregular.	10 m
Reflexão especular a partir de objetos bem definidos ou superfícies refletoras nas proximidades da antena.	2 – 6 m
Flutuações de baixa frequência causada por superfícies de água.	10 m

O efeito do multicaminhamento na fase da portadora pode ser estimado e apresenta uma mudança máxima na distância de cerca de 5 cm sendo que esse valor pode ser maior se combinações lineares forem utilizadas (LEICK, 2004; HOFMANN-WELLENHOF et al, 1997; SEEBER, 1993).

Seeber (1993) afirma que, devido à mudança na geometria dos satélites, os efeitos do multicaminhamento na fase apresentam períodos típicos de 30 minutos.

5.3.3 - Intervisibilidade para Estação Total

Um ponto possui a característica de intervisibilidade se permitir visadas para outro ponto da rede, configurando assim uma base topográfica. Esse é um atributo desejável para os pontos de uma rede de apoio imediato para o cadastro porque permite a orientação e fechamento de poligonais, facilitando a realização e verificação dos levantamentos. Em algumas situações, pode ser utilizado apenas um ponto de azimute permitindo apenas a orientação dos levantamentos.

A precisão de uma direção materializada por dois marcos geodésicos depende fundamentalmente do erro posicional e do espaçamento entre os pontos (comprimento da base). Quanto maior for o comprimento da base, menor vai ser a influência dos erros de posição de cada estação na direção a ser observada. Entretanto, é necessário salientar que bases muito longas podem acrescentar erros de outras fontes, principalmente devido à refração (SCHAAL, 1995), que passam a ser extremamente significativos em distâncias maiores, conforme as condições atmosféricas no momento das medições.

Considerando a operacionalidade, a situação ideal seria aquela em que o usuário da rede pudesse deslocar-se na menor distância e maior facilidade possíveis para instalar um alvo (um prisma de estação total, por exemplo) no outro ponto.

É necessário, portanto, ponderar tais questões para se estabelecer o comprimento mais adequado para a base topográfica. De maneira geral, deve-se buscar o menor comprimento para a base, desde que atenda aos critérios de precisão do azimute exigidos para os levantamentos cadastrais.

5.3.3.1 - Bases Curtas (Vértices Duplos) para o GPS

Nos levantamentos geodésicos terrestres, a disposição geométrica dos pontos no terreno tem importância fundamental, tanto pela necessidade de intervisibilidade entre os vértices, quanto pela influência da geometria na precisão das coordenadas.

Nos levantamentos com o uso do GPS a influência da geometria na precisão das coordenadas não recai exclusivamente sobre a disposição dos pontos no terreno,

mas também sobre a geometria dos satélites no momento da medição (KUANG, 1996). Desta forma, aventa-se a possibilidade de se realizar o georreferenciamento, mesmo em situações onde a disposição geométrica dos pontos no terreno não seja a ideal, de acordo com os preceitos da geodesia clássica. Assim, uma base de pontos intervisíveis implantada para permitir a partida dos levantamentos geodésicos convencionais poderia, também, ser utilizada para apoiar os levantamentos com o uso do GPS. Isso não se daria pela intervisibilidade, que é irrelevante para o GPS, mas sim pela existência dos dois pontos da base, os quais podem servir de apoio para o georreferenciamento.

Busca-se, com isto, uma solução de compromisso entre a operacionalidade e a *precisão* exigida pela legislação, porque, sendo necessário utilizar pelo menos dois pontos da rede de apoio, o tempo despendido para o georreferenciamento certamente diminuirá se esses pontos estiverem próximos entre si, evitando a necessidade de longos deslocamentos para ocupá-los.

Alguns testes foram realizados a partir de pontos localizados no Campus da Escola de Engenharia de São Carlos e no Centro de Recursos Hídricos e Ambientais da EESC (CRHEA), com o objetivo de avaliar o georreferenciamento a partir de dois pontos de apoio muito próximos entre si (da ordem de 200m)¹⁵, sendo que o ponto a ser georreferenciado encontra-se a uma distância aproximada de 20 km, conforme mostra a Figura 5.9.

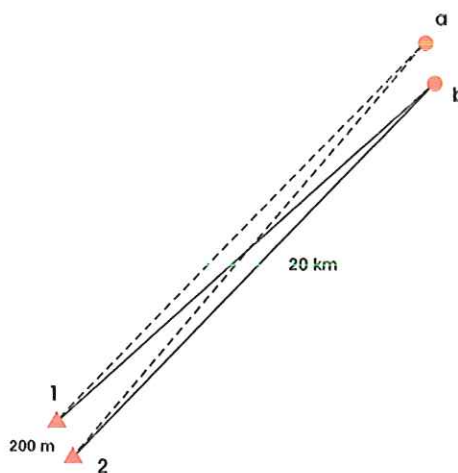


Figura 5.9: Georreferenciamento a partir de uma base curta.

¹⁵ Os testes foram realizados com uma base da ordem de 200 m, entretanto, é necessário considerar que este é um valor pequeno e podem proporcionar erros significativos nos azimutes para partida nos levantamentos à Estação Total, devendo-se considerar a utilização de bases mais longas.

Em todos os testes realizados, o erro de fechamento, calculado pela soma algébrica das componentes dos três vetores medidos em cada triângulo, não ultrapassou 0,02 m, resultado que aponta para a possibilidade de utilização deste procedimento na implantação de bases topográficas para apoio imediato dos levantamentos dos imóveis rurais.

5.3.4 – Monumento e Documentação

O atributo Monumento e Documentação refere-se às características da estrutura utilizada para materializar o ponto geodésico. Considera-se que o tipo de monumento pode influenciar no tempo necessário para estacionar o equipamento e proceder à medição. Monumentos com centragem forçada, por exemplo, podem facilitar o trabalho de medição, influenciando inclusive na precisão da medida.

Considera-se, também, que o tipo de monumento pode facilitar a localização do ponto geodésico, uma vez que monumentos pouco visíveis podem demandar muito tempo para serem localizados, notadamente quando situam-se em locais em que a vegetação pode crescer e cobri-los totalmente, dificultando a sua localização. Pode, ainda, influenciar na sua integridade, dificultando, ou não, a sua destruição por ação do homem e do tempo.

A guarda e manutenção também é um aspecto importante relacionado com o monumento. Entende-se que a garantia da integridade pode estar vinculada à atribuição de responsabilidades pela manutenção do ponto a órgãos públicos, prefeituras e concessionárias de serviço público, tais como as administradoras de rodovias, companhias de energia e água, entre outros. A localização dos pontos em instituições públicas ou privadas pode facilitar a guarda e manutenção da sua integridade, mas é necessário que se garanta a facilidade de acesso. Em termos de operacionalidade, o princípio básico a ser utilizado para este atributo é buscar sempre a garantia de integridade do marco da rede de referência sem, contudo, limitar a sua acessibilidade.

A Documentação (monografias) também é outro item importante relacionado com o monumento. A documentação compreende:

- a) Dados técnicos atualizados do ajustamento, tais como precisão, confiança estatística e injunções;
- b) Características do monumento, amarrações para “offsets” próximos ou ponto de segurança, se houver;

- c) Indicadores atualizados de acesso, tais como mapas, croquis, descrição de percurso e outras informações necessárias para a rápida localização do ponto geodésico;
- d) Informação de procedimentos para acesso quando o ponto estiver localizado em áreas de acesso restrito.

A construção de monumentos destinados a materializar os vértices de redes geodésicas estaduais, de maneira geral tem obedecido as seguintes especificações (FACULDADE DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA DE PIRASSUNUNGA, 2004; SILVA et al, 2001; FONSECA JR, 1996):

- Pilar cilíndrico ou prismático em concreto com altura entre 1,00 e 1,50 m e diâmetro entre 0,30 e 0,40 m;
- Base robusta de concreto;
- Dispositivo de centragem forçada;
- Implantação em locais públicos como escolas e universidades, de fácil acesso e com atribuição de responsabilidades pela guarda e manutenção;
- Monografia adequada.

5.3.5 – Logística, Conforto e Segurança

Atributo que representa facilidades proporcionadas pela região em torno do ponto, facilitando a sua ocupação. Entende-se, por logística, a proximidade de centros comerciais e restaurantes que podem trazer facilidades ao usuário em ocupações de longa duração, por permitir a movimentação e acomodações adequadas de equipes de levantamento e manutenção de equipamentos e veículos. A localização pode proporcionar conforto ao possibilitar, por exemplo, o estacionamento de veículos nas proximidades. Pode, também, proporcionar segurança ao se evitar, por exemplo, pontos em acostamentos de rodovias muito movimentadas, locais de acesso perigoso, etc.

Entende-se que o atributo Logística, Conforto e Segurança deve ser avaliado fundamentalmente em função da sua proximidade com centros comerciais e em função de restrições locais quanto ao conforto e segurança.

6.0 - ATRIBUIÇÃO DE PESOS

Neste capítulo fundamenta-se o método utilizado para determinar a influência de cada atributo (pesos) na operacionalidade da rede, discorre-se sobre os procedimentos empregados na elaboração e realização da pesquisa com profissionais e pesquisadores e discutem-se os resultados obtidos.

6.1 – O Método Utilizado

Tem-se, por hipótese, que a *operacionalidade* sofre a influência de atributos dos pontos da rede e que é possível quantificar a influência desses atributos no grau de dificuldade de cada levantamento.

Pressupõe-se, conforme proposto no Capítulo 2, que pesquisadores e profissionais, pelo seu conhecimento e vivência diária com os trabalhos relacionados com os levantamentos cadastrais, têm condições de explicitar qualitativamente a influência de cada um dos atributos dos pontos da rede nos levantamentos, identificando a importância relativa dos atributos na operacionalização do cadastro. Utilizaram-se técnicas de “pesquisa social” e procedimentos para se estabelecer hierarquias e prioridades (SAATY, 1990) como ferramentas para se obter essas informações e dispô-las em uma determinada escala que possibilitasse a sua utilização em projetos de redes de apoio imediato ao cadastro rural.

A pesquisa social, como técnica das ciências sociais, tem conquistado credibilidade a partir da aceitação generalizada do seu uso em instituições acadêmicas. A literatura especializada (REA & PARKER, 2002; ALVES-MAZZOTTI & GEWANDSZNAJDER, 2001; SCHRADER, 1978; NOGUEIRA, 1973; ACKOFF, 1972) disponibiliza métodos que possibilitam a coleta de informações descritivas, comportamentais e preferenciais de determinado grupo social, os quais foram utilizados neste trabalho.

Para a atribuição de pesos adotou-se uma técnica proposta por Saaty (1990), como parte de um processo analítico para tomada de decisões chamado “The Analytic Hierarchy Process”. Saaty modela situações reais estabelecendo níveis hierárquicos,

de acordo com a função dos diversos elementos envolvidos no problema analisado, sendo que, um dos pontos principais do AHP (Analytic Hierarchy Process) é o método de determinação do grau de influência de cada elemento de um determinado nível hierárquico, no nível seguinte.

Entende-se que um sistema cadastral pode ser decomposto em níveis hierárquicos de acordo com a função de cada um dos seus elementos e pode-se considerar que os atributos de pontos de uma rede de apoio, tais como acessibilidade, ambiente circundante e outros, pertencem a um mesmo nível hierárquico. Cada atributo tem um grau de influência (peso) na operacionalidade da rede que se encontra no nível imediatamente superior, conforme apresentado na Figura 6.1.

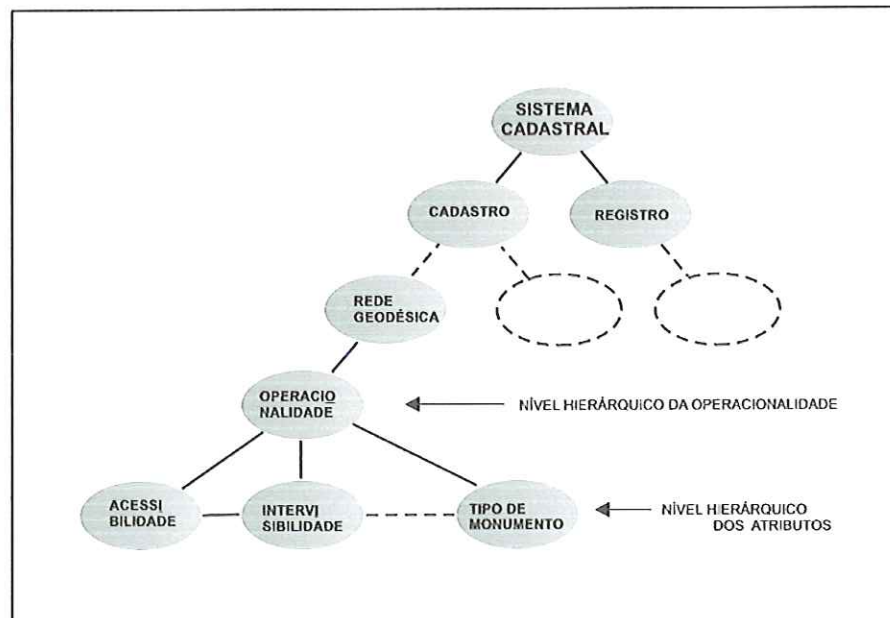


Figura 6.1: Relação hierárquica entre os atributos e operacionalidade.

No método desenvolvido por Saaty (1990), os “ n ” atributos a serem comparados são dispostos em uma matriz $n \times n$, na mesma ordem tanto nas linhas quanto nas colunas. Dessa maneira, o valor de cada termo a_{ij} é preenchido com um número que representa a importância relativa do atributo da linha i em relação ao atributo j . A equação 6.1 mostra que a matriz é recíproca. Exemplo: se o atributo da linha $i = 3$ é 4 vezes mais importante que o atributo da coluna $j = 5$, tem-se que $a_{3,5} = 4$ e $a_{5,3} = 1/4$.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (6.1)$$

Saaty propôs uma escala de comparação de critérios par a par, dividida em nove níveis numéricos, conforme apresentado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Escala de comparação par a par. Adaptado de SAATY, (1990).

Grau de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois atributos contribuem de forma idêntica para o objetivo.
3	Ligeiramente mais importante	A análise e a experiência mostram que um atributo é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Significativamente mais importante	A análise e a experiência mostram que um atributo é significativamente mais importante que outro.
7	Fortemente mais importante	A maior importância de um atributo em relação ao outro pode ser demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida um dos atributos é absolutamente predominante para o objetivo.
2,4,6,8	Valores intermediários	Podem ser utilizados quando necessário, a critério do julgador.

De acordo com Saaty (1990), o autovetor com o máximo autovalor da matriz de comparação fornecerá a ordem de prioridade dos atributos e pode ser calculado pela seguinte equação:

$$w_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} / \sum_{k=1}^n \left[\left(\prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (6.2)$$

Prova-se que, para o caso de uma matriz recíproca em que as comparações são baseadas em medidas exatas, o máximo autovalor (λ_{\max}) é exatamente igual ao número de elementos de cada coluna ou linha (SAATY, 1990). Portanto, o máximo autovalor pode ser usado como uma medida da consistência da matriz ou seja quanto mais próximo de "n" for o máximo autovalor, mais consistente será o julgamento efetuado.

O índice de consistência (CI – Consistency Index) é fornecido pela equação:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6.3)$$

O máximo autovalor pode ser calculado através da seguinte equação:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \left(\frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_2}{w_2} + \dots + \frac{w'_n}{w_n} \right) \quad (6.4)$$

onde:

$$W' = A \times W \quad (6.5)$$

Saaty chamou de Índice de aleatoriedade (RI – Random Index) o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada aleatoriamente e, a partir de simulações usando a escala de 1 a 9, propôs valores para RI (Tabela 6.2), de acordo com a ordem da matriz.

Tabela 6.2: Índice de aleatoriedade.
Fonte SAATY, (1990).

n	RI	n	RI	n	RI
1	0,00	6	1,24	11	1,51
2	0,00	7	1,32	12	1,48
3	0,58	8	1,41	13	1,56
4	0,90	9	1,45	14	1,57
5	1,12	10	1,49	15	1,59

Finalmente, o grau de consistência (CR - Consistency Ratio)¹⁶ pode ser calculado pela relação CI/RI. De acordo com SAATY (1990), um grau de consistência de 0,10 ou menor é considerado aceitável.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6.6)$$

Apresenta-se a seguir um exemplo de aplicação do método para os atributos de pontos de uma rede de apoio ao cadastro.

Sejam os atributos:

- Acessibilidade;
- Ambiente Circundante;
- Intervisibilidade;
- Monumento e Documentação;

¹⁶ Em lugar da tradução "Taxa de Consistência" adotou-se aqui a expressão "Grau de Consistência", utilizada por Ramos & Rodrigues (2002).

- Logística, Conforto e Segurança.

De acordo com o julgamento par a par feito por um profissional experiente, construiu-se a seguinte matriz de comparação:

Tabela 6.3: Matriz de comparação par a par.

	Acessibilidade	Ambiente Circundante	Intervisibilidade	Monumento e Documentação	Logística, Conforto e Segurança
Acessibilidade	1	1/3	1	1/3	1
Ambiente Circundante	3	1	1	1	5
Intervisibilidade	1	1	1	1	3
Monumento e Documentação	3	1	1	1	3
Logística, Conforto e Segurança	1	1/5	1/3	1/3	1

Na matriz acima verifica-se, por exemplo, que o atributo Ambiente Circundante, ao ser comparado com o atributo Acessibilidade, recebeu o valor 3. Por convenção, compara-se sempre o elemento da linha com o elemento da coluna, o que significa dizer que, na visão do julgador e de acordo com a escala proposta (Tabela 6.1), o atributo Ambiente circundante é ligeiramente mais importante que o atributo Acessibilidade, para a operacionalidade da rede de apoio cadastral.

Conforme a Equação 6.2, o máximo autovetor será:

$$w_1 = (1 \times 1/3 \times 1 \times 1/3 \times 1)^{1/5} / ((1 \times 1/3 \times 1 \times 1/3 \times 1)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5)^{1/5} + (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1/5 \times 1/3 \times 1/3 \times 1)^{1/5})$$

$$w_2 = (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5)^{1/5} / ((1 \times 1/3 \times 1 \times 1/3 \times 1)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5)^{1/5} + (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1/5 \times 1/3 \times 1/3 \times 1)^{1/5})$$

$$w_3 = (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} / ((1 \times 1/3 \times 1 \times 1/3 \times 1)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5)^{1/5} + (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1/5 \times 1/3 \times 1/3 \times 1)^{1/5})$$

$$w_4 = (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} / ((1 \times 1/3 \times 1 \times 1/3 \times 1)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5)^{1/5} + (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1/5 \times 1/3 \times 1/3 \times 1)^{1/5})$$

$$w_5 = (3 \times 1/5 \times 1/3 \times 1/3 \times 1)^{1/5} / ((1 \times 1/3 \times 1 \times 1/3 \times 1)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 5)^{1/5} + (1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 3)^{1/5} + (3 \times 1/5 \times 1/3 \times 1/3 \times 1)^{1/5})$$

$$W = \begin{bmatrix} 0,11 \\ 0,31 \\ 0,22 \\ 0,28 \\ 0,08 \end{bmatrix}$$

Cálculo do máximo autovalor (λ_{\max}):

$$W' = A \times W = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1 \\ 3 & 1 & 1 & 1 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,11 \\ 0,31 \\ 0,22 \\ 0,28 \\ 0,08 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,61 \\ 1,56 \\ 1,17 \\ 1,39 \\ 0,42 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{5} \left(\frac{0,61}{0,11} + \frac{1,54}{0,31} + \frac{1,16}{0,22} + \frac{1,38}{0,28} + \frac{0,42}{0,08} \right) = 5,20$$

Cálculo do índice de consistência (CI):

$$CI = \frac{5,20 - 5,00}{5 - 1} = 0,05$$

Cálculo do grau de consistência (CR):

$$CR = \frac{0,05}{1,12} = 0,04$$

O valor de CR é menor que 0,10, que é aceitável de acordo com Saaty (1990).

Considera-se, pois, que o vetor "W" representa a influência de cada um dos atributos na operacionalidade, ou seja:

- Acessibilidade = 0,11
- Ambiente Circundante = 0,31
- Intervisibilidade = 0,22
- Monumento e Documentação = 0,28
- Logística, Conforto e Segurança = 0,08

Fundamentos e detalhes do método de atribuição de pesos no contexto do processo de tomada de decisão AHP (*Analytic Hierarchy Process*) podem ser vistos em Saaty (1990).

Outros recursos para atribuições de pesos podem ser utilizados. Detalhes em Rea & Parker (2002); McClave et al (1997); Schrader (1978); Nogueira (1973); Ackoff (1972).

6.2 - Entrevista Escrita

Na pesquisa adotou-se a entrevista escrita como instrumento para coletar as opiniões dos profissionais e especialistas.

A entrevista escrita é uma interação em que o entrevistador não está presente à situação de mensuração. Segundo Schrader (1978), trata-se de um método de baixo custo, podendo ser realizado via correios utilizando-se questionários impressos. Rea & Parker (2002) apresentam outras vantagens na utilização da pesquisa pelo correio: o questionário pode ser preenchido de acordo com a conveniência do entrevistado; o entrevistado não sofre restrição de tempo, podendo pensar nas respostas e consultar registros pessoais; o fato de não existir contato pessoal com o entrevistador pode fazer com que o entrevistado perceba uma maior garantia de anonimato do que no caso das outras técnicas; na entrevista escrita os entrevistados estão sujeitos à mesma redação de perguntas e não ficam expostos ao viés induzido pelo entrevistador em termos de inflexão de voz, má interpretação das perguntas ou outros erros de escrita ou administrativos.

Em contrapartida, existem algumas limitações na sua aplicação como, por exemplo, o fato de que na escolha dos entrevistados já se deve ter presente que esses devem estar aptos e acostumados à entrevista escrita.

De acordo com Nogueira (1973), os questionários expedidos por pesquisadores particulares dificilmente alcançam mais de 20 por cento de devoluções. Tal fato, entretanto, depende da natureza da pesquisa, do grupo de entrevistados selecionado e da habilidade com que se organizou a série de questões com as correspondentes instruções. Richter apud Schrader (1978) apresenta índices de devolução de até 84 % para grupos de entrevistados relativamente homogêneos.

Rea & Parker (2002) apresentam procedimentos que objetivam alcançar índices de resposta entre 70 a 90% na devolução dos questionários. Young apud Nogueira (1973) apresenta princípios para a elaboração de questionários eficientes, baseado na experiência de diferentes pesquisadores. Nogueira (1973), ainda, sugere que, para o caso de um número relativamente pequeno de entrevistados (vinte, trinta),

é preferível dar ao questionário a forma de uma carta pessoal. Assegura que é mais eficiente o interessado dirigir-se de modo informal e direto a uma pessoa do que de uma maneira indireta e formal, através de uma circular.

6.3 - Questionário

Os questionários foram aplicados via correio eletrônico (e-mail) ou diretamente a grupos reunidos em uma sala. Neste último caso, a aplicação dos questionários foi realizada em reuniões de profissionais e pesquisadores em eventos como cursos e congressos.

O questionário foi elaborado de forma a facilitar a comparação par a par dos atributos de acordo com a escala de comparação proposta por Saaty, já descrita anteriormente. Em lugar de apresentar diretamente a matriz de comparação (Tabela 6.3), foi solicitado ao entrevistado o preenchimento do formulário mostrado na Figura 6.2. A cada linha, o entrevistado deveria preencher um campo com um valor da escala de comparação, indicando, no seu julgamento, a importância relativa entre os atributos de acordo com a escala proposta. O questionário completo encontra-se no Anexo A.

Tabela de Comparação				
	ACESSIBILIDADE		AMBIENTE CIRCUNDANTE	
	ACESSIBILIDADE		INTERVISIBILIDADE	
	ACESSIBILIDADE		MONUMENTO E DOCUMENTAÇÃO	
	ACESSIBILIDADE		LOGÍSTICA, CONFORTO E SEGURANÇA	
	AMBIENTE CIRCUNDANTE		INTERVISIBILIDADE	
	AMBIENTE CIRCUNDANTE		MONUMENTO E DOCUMENTAÇÃO	
	AMBIENTE CIRCUNDANTE		LOGÍSTICA, CONFORTO E SEGURANÇA	
	INTERVISIBILIDADE		MONUMENTO E DOCUMENTAÇÃO	
	INTERVISIBILIDADE		LOGÍSTICA, CONFORTO E SEGURANÇA	
	MONUMENTO E DOCUMENTAÇÃO		LOGÍSTICA, CONFORTO E SEGURANÇA	
De Igual importância	Ligeiramente mais importante	Significativamente mais importante	Fortemente mais importante	Extremamente mais importante
1	3	5	7	9

Figura 6.2: Formulário para comparação de atributos

Foi solicitado ao entrevistado, também, que, se na sua avaliação existissem novos atributos além daqueles propostos, esses fossem enumerados e comparados

com um dos atributos anteriores. Essa pergunta foi acrescentada com o objetivo de identificar eventuais atributos não considerados pelo pesquisador.

6.4 - Cálculo dos Pesos e Parâmetros Estatísticos

O cálculo dos pesos foi executado de acordo com a equação 6.2 descrita neste capítulo.

Optou-se por fazer um programa para cálculo dos pesos e parâmetros estatísticos, adequado ao modelo do questionário utilizado na pesquisa. Conforme apresentado na Figura 6.3, a tela de entrada de dados reproduz o formulário de comparação do questionário aplicado, para onde os dados são transferidos via teclado. O programa, em linguagem VISUAL BASIC, compõe e apresenta na tela a matriz de comparação e calcula os pesos, o grau de consistência e os parâmetros estatísticos. Os resultados são armazenados em dois arquivos distintos, um para questionários aceitos, e outro, para questionários rejeitados, de acordo com o grau de consistência verificado. O código fonte do programa encontra-se no Anexo B.

The screenshot shows a software interface titled "ATRIBUIÇÃO DE PESOS - COMPARAÇÃO PAR A PAR". It includes a comparison matrix, input fields for weights and consistency, and a table of statistical results.

QUESTIONÁRIO 19

	ACE	AMB	INT	MON	LOG
ACESSIBILIDADE	1	0.3333	1	0.3333	1
ACESSIBILIDADE	3	1	1	1	5
ACESSIBILIDADE	1	1	1	1	3
ACESSIBILIDADE	3	1	1	1	3
AMB. CIRCUNDANTE	1	0.2	0.3333	0.3333	1
AMB. CIRCUNDANTE	1	1	1	1	1
AMB. CIRCUNDANTE	5	1	1	1	1
INTERVISIBILIDADE	1	1	1	1	1
INTERVISIBILIDADE	3	1	1	1	1
MON. E DOCUMENTAÇÃO	3	1	1	1	1

PESOS

ACE	0.11
AMB	0.31
INT	0.22
MON	0.28
LOG	0.08

GRAU DE CONSISTÊNCIA

0.04

ESTATÍSTICA

	PESO MÉDIO	DESVIO PADRÃO
ACE	0.18	0.14
AMB	0.27	0.15
INT	0.20	0.14
MON	0.27	0.15
LOG	0.08	0.06

QUESTIONÁRIO CONSISTENTE - ACEITO

Calcular PESOS

LIMPAR

Figura 6.3: Tela do programa para cálculo dos pesos.

6.5 - Resultados

A Tabela 6.4 apresenta informações gerais da pesquisa:

Tabela 6.4: Informações gerais da pesquisa de atribuição de pesos.

Questionários enviados por e-mail	67
Respondidos por e-mail	17
Aplicados pessoalmente	83
Total de questionários aplicados	150
Total de questionários respondidos	100
Questionários com erro no preenchimento	4
Questionários rejeitados pelo índice de consistência	67
Questionários utilizados no cálculo dos pesos	29

Apresenta-se a seguir, por atributo, as tabelas com as distribuições de frequências e respectivos histogramas, de acordo com as atribuições de pesos efetuadas pelos entrevistados. Os valores obtidos para os pesos foram distribuídos de acordo com a frequência de ocorrência em intervalos de amplitude 0,10.

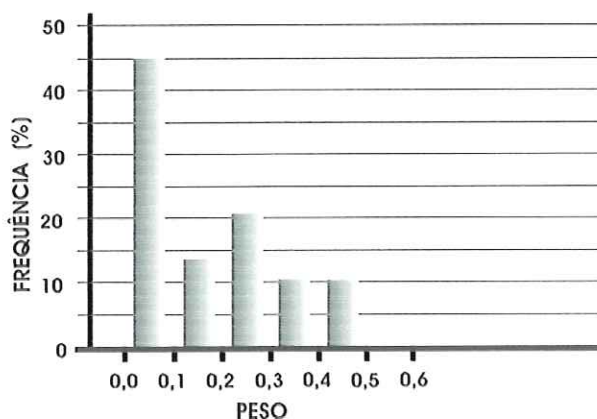
a) Acessibilidade

Tabela 6.5: Distribuição de frequência - Acessibilidade

Acessibilidade		
Pesos	Frequência Absoluta	Frequência Relativa (%)
≤ 0,10	13	44,8
0,10 0,20	4	13,8
0,20 0,30	6	20,7
0,30 0,40	3	10,3
0,40 0,50	3	10,3
> 0,50	0	0
Total	29	100,0

Média = 0,18

Desvio Padrão = 0,14



a) ACESSIBILIDADE

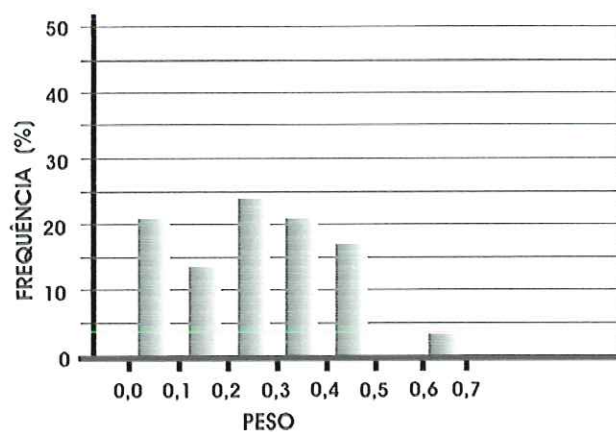
Figura 6.4: Histograma do atributo Acessibilidade.

b) Ambiente Circundante

Tabela 6.6: Distribuição de frequência - Ambiente Circundante.

Ambiente Circundante		
Pesos	Frequência Absoluta	Frequência Relativa (%)
$\leq 0,10$	6	20.7
0,10 - 0,20	4	13.8
0,20 - 0,30	7	24.1
0,30 - 0,40	6	20.7
0,40 - 0,50	5	17.3
0,50 - 0,60	0	0.0
0,60 - 0,70	1	3.4
$> 0,70$	0	0.0
Total	29	100,0

Média = 0,27
Desvio Padrão = 0,15



b) AMBIENTE CIRCUNDANTE

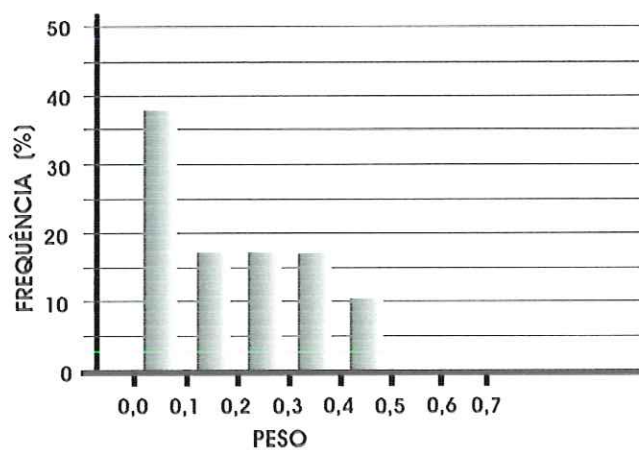
Figura 6.5: Histograma do atributo Ambiente Circundante.

c) Intervisibilidade

Tabela 6.7: Distribuição de frequência – Intervisibilidade.

Intervisibilidade		
Pesos	Frequência Absoluta	Frequência Relativa (%)
$\leq 0,10$	11	37.9
0,10 0,20	5	17.3
0,20 0,30	5	17.3
0,30 0,40	5	17.2
0,40 0,50	3	10.3
$> 0,50$	0	0.0
Total	29	100,0

Média = 0,20
Desvio Padrão = 0,14



c) INTERVISIBILIDADE

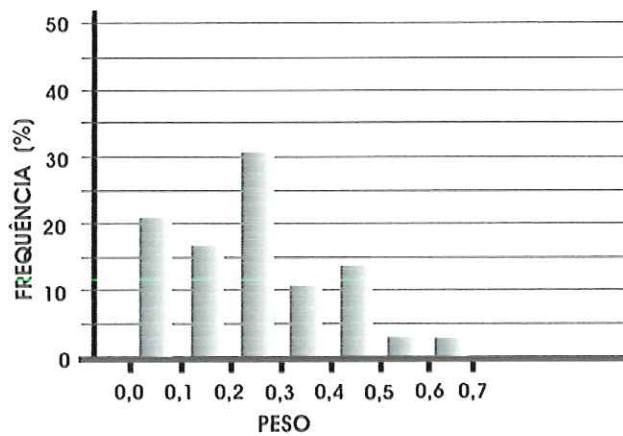
Figura 6.6: Histograma do atributo Intervisibilidade.

d) Monumento e Documentação

Tabela 6.8: Distribuição de frequência:
Monumento e Documentação

Monumento e Documentação		
Pesos	Frequência Absoluta	Frequência Relativa (%)
$\leq 0,10$	6	20.7
0,10 - 0,20	5	17.2
0,20 - 0,30	9	31.0
0,30 - 0,40	3	10.3
0,40 - 0,50	4	13.8
0,50 - 0,60	1	3.5
0,60 - 0,70	1	3.5
$> 0,70$	0	0.0
Total	29	100,0

Média = 0,27
Desvio Padrão = 0,15



d) MONUMENTO E DOCUMENTAÇÃO

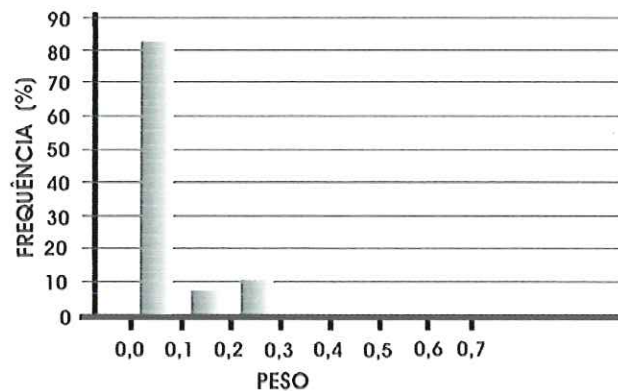
Figura 6.7: Histograma do atributo Monumento e Documentação.

a) Logística, Conforto e Segurança

Tabela 6.9: Distribuição de frequência Logística, Conforto e Segurança

Logística, Conforto e Segurança		
Pesos	Frequência Absoluta	Frequência Relativa (%)
$\leq 0,10$	24	82,8
$0,10 \text{ - } 0,20$	2	6,9
$0,20 \text{ - } 0,30$	3	10,3
$> 0,30$	0	0,0
Total	29	100,0

Média = 0,08
Desvio Padrão = 0,06



e) LOGÍSTICA, CONFORTO E SEGURANÇA

Figura 6.8: Histograma do atributo Logística, Conforto e Segurança.

6.6 - Análise dos Resultados da Pesquisa de Pesos

Na pesquisa pressupunha-se que os entrevistados seriam capazes, devido ao seu conhecimento e experiência, de ordenar, por importância, os atributos de pontos de redes de apoio que influenciam na “operacionalização” dos levantamentos cadastrais. Decorre deste pressuposto a existência de prováveis “ruídos” nos resultados da pesquisa, quais sejam:

- Quanto mais experiente e conhecedor do assunto, maior será a capacidade do entrevistado de estimar a importância verdadeira de cada atributo. Assim, variações prováveis nas estimativas individuais decorrentes de eventuais diferenças no nível de conhecimento e experiência de cada um eram esperadas;

- Mesmo considerando igual capacidade para estimar a importância verdadeira de cada atributo, prováveis falhas do instrumento de coleta utilizado (questionário) podem não ter transmitido de forma adequada ao entrevistado o tipo de julgamento que dele se solicitava, de acordo com o que foi idealizado pelo pesquisador;
- A escala de comparação utilizada para converter o julgamento qualitativo do entrevistado em valores numéricos (SAATY, 1990) também se constituiu em fonte de imprecisões nos dados obtidos.

Cabe ao pesquisador, em face da magnitude das incertezas e “ruídos” apresentados nos dados, os quais estão caracterizados nesta pesquisa, pelos altos valores de desvios padrão observados, avaliar quão significativos são os resultados obtidos utilizando testes estatísticos adequados, conforme se procede a seguir.

6.6.1 - A Qualidade dos Estimadores Obtidos

Chatfield (1998) define *estimador* como sendo qualquer estatística utilizada para estimar um parâmetro desconhecido, por exemplo, a *média* de uma amostra para estimar a *média* de uma população. Classifica-os, de acordo com a distribuição da amostra, em *Eficientes* e *Não eficientes*, *Com ruído* ou *Sem ruído*, conforme mostra a Figura 6.9.

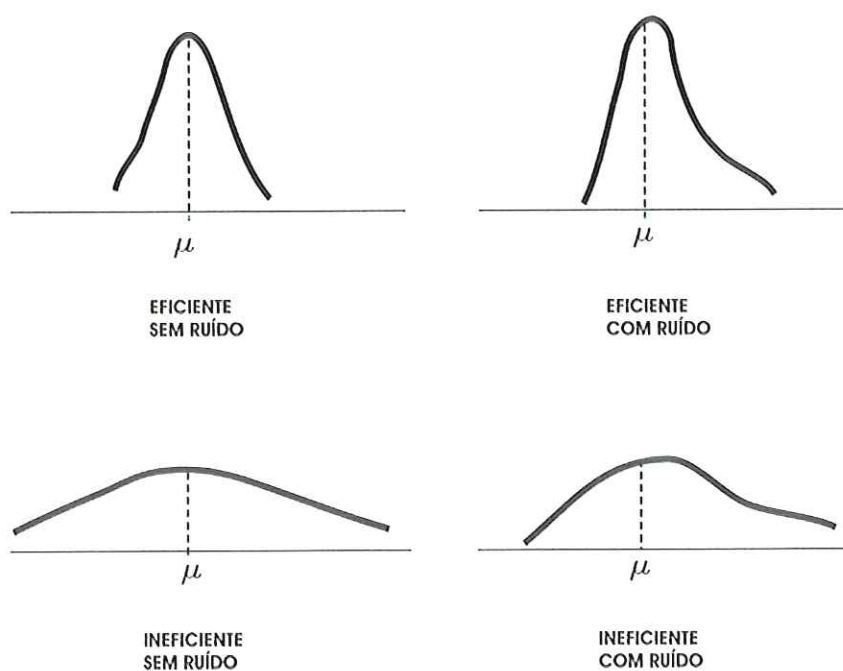


Figura 6.9: Qualidades dos Estimadores.

Portanto, uma simples verificação na forma da distribuição dos dados permite uma avaliação qualitativa do estimador obtido. Conforme mostra a Figura 6.10, a média obtida para o atributo Logística, Conforto e Segurança apresenta-se como o estimador mais eficiente, embora apresente algum ruído. As médias obtidas para os atributos Ambiente Circundante e Monumento e Documentação apresentam menores ruídos, embora mostrem-se ineficientes. Os atributos Acessibilidade e Intervisibilidade mostram médias com eficiências intermediárias, mas extremamente ruidosas.

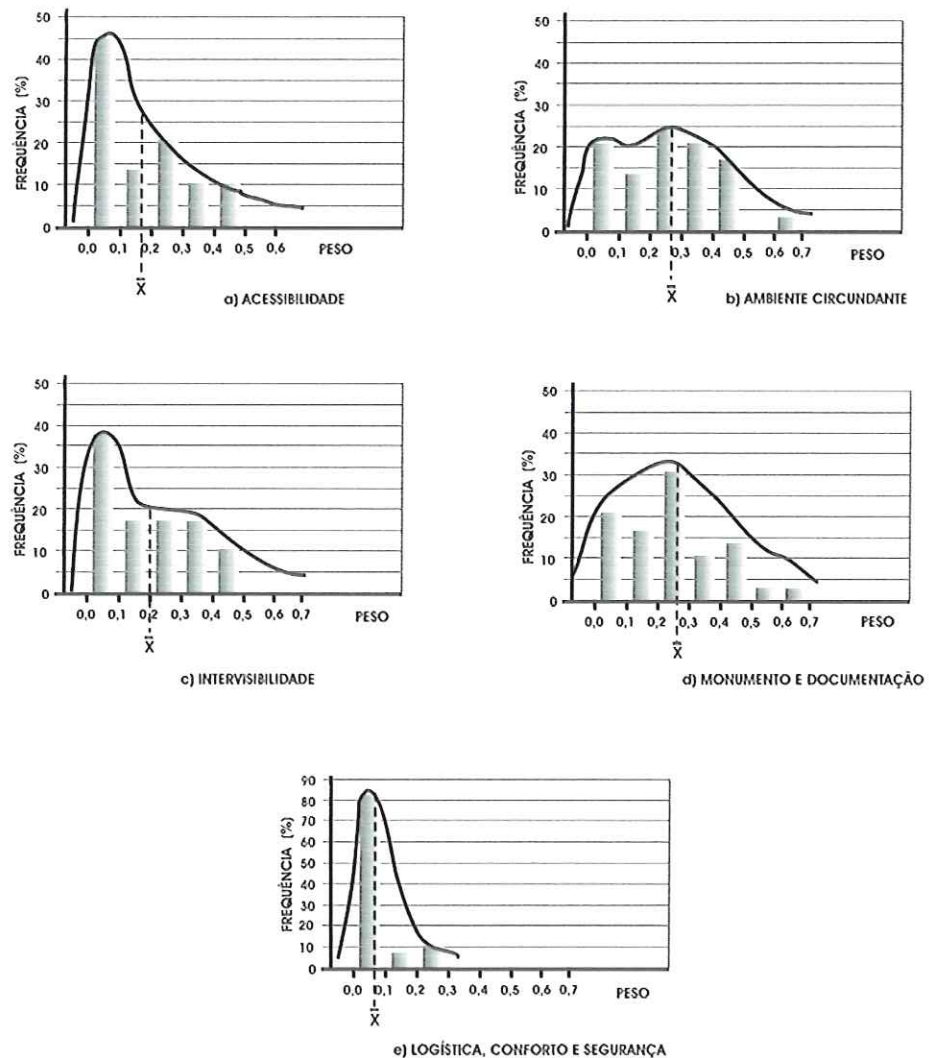


Figura 6.10: Avaliação da qualidade da média obtida.

6.6.2 - A Seleção da Medida de Tendência Central Adequada

De acordo com Rea & Parker (2002), na distribuição normal, a moda, a mediana e a média são iguais. Mas, se a distribuição apresentar alguns valores muito altos ou muito baixos, as três medidas de tendência central começam a se afastar entre si, causando uma assimetria na distribuição, que pode ser positiva, quando alguns valores altos elevam a média, ou negativa, quando alguns valores baixos diminuem a média.

Os resultados apresentados, particularmente nos casos da acessibilidade (Figura 6.10a), Intervisibilidade (Figura 6.10c) e, em menor grau, Logística, Conforto e Segurança (Figura 6.10e) mostram claramente este comportamento, ratificados pelos valores calculados da Média, Mediana e Classe Modal, apresentados na tabela 6.10.

Tabela 6.10: Valores da Média, Mediana e Moda, para cada atributo.

Atributo	Média	Mediana	Classe Modal
Acessibilidade	0,18	0,11	0,0 - 0,1
Ambiente Circundante	0,27	0,27	0,2 - 0,3
Intervisibilidade	0,20	0,15	0,0 - 0,1
Monumento e Documentação	0,27	0,28	0,2 - 0,3
Logística, Conforto e Segurança	0,08	0,06	0,0 - 0,1

Chatfield (1998) afirma que, para uma distribuição normal, a eficiência da mediana é cerca de 64% em relação à média, sugerindo que é sempre melhor utilizar a média. Entretanto, de acordo com Rea & Parker (2002), a mediana deve ser usada como estatística mais representativa da tendência central da distribuição quando o pesquisador avaliar que a média é excessivamente afetada pela assimetria; para dados nominais deve-se usar a moda e, naturalmente, a média deve ser usada para dados com distribuição normal.

Mcclave et al (1997) ratifica as afirmações Rea & Parker (2002) salientando que a mediana é menos sensível às observações extremas que causam assimetria na distribuição e que deve ser usada como medida de tendência central nos testes estatísticos não-paramétricos.

Diante de tais critérios e a depender dos resultados dos testes de significância estatística, deve-se avaliar a possibilidade de se utilizar a mediana nos casos dos atributos Acessibilidade, Intervisibilidade e Logística, Conforto e Segurança.

6.6.3 - Testes de Significância Estatística

Os testes estatísticos utilizados para fazer inferências sobre uma amostra simples ou comparar duas amostras, normalmente estão fundamentados no pressuposto de que os dados comportam-se segundo a Curva Normal de Distribuição de Probabilidades. Quando esse pressuposto não é satisfeito, deve-se utilizar os chamados testes não-paramétricos (MCCLAVE et al, 1997; MAGALHÃES & LIMA, 2002).

Nos testes não paramétricos, ao invés de se utilizar estatísticas que envolvem parâmetros como média e variância, utiliza-se quase sempre a ordem relativa dos dados (relative ranks), classificados por magnitude, a fim de fazer inferências a respeito de uma ou mais amostras (MCCLAVE et al, 1997).

No caso desta pesquisa, a hipótese considerada de que os entrevistados seriam capazes de avaliar, com certa precisão, a influência dos atributos na operacionalização do cadastro, levaria o pesquisador a uma expectativa de distribuição normal para os resultados, apenas se o método fosse capaz de filtrar completamente a subjetividade e inconsistências do julgamento de cada entrevistado. O método utilizado procura minimizar estes efeitos, mas certamente não pode eliminá-los completamente. Os resultados mostram, desta forma, distribuições significativamente assimétricas, particularmente nos casos dos atributos Acessibilidade, Intervisibilidade e Logística, Conforto e Segurança. Diante desse fato, optou-se por utilizar testes estatísticos não-paramétricos, indicados em casos onde a distribuição é assimétrica.

6.6.4 – Comparação entre as Amostras

Utilizou-se o “Wilcoxon Rank Sum Test” (MCCLAVE et al, 1997), para comparar as amostras. Nesse teste, em lugar de se utilizarem os parâmetros (média e desvio padrão), avaliam-se as amostras, ordenando, por magnitude, as observações individuais das duas amostras tomadas conjuntamente.

O método pressupõe que, para amostras equivalentes, as magnitudes dos números de ordem estabelecidos serão distribuídas aleatoriamente entre as duas amostras, e as somas dos números de ordem de cada amostra tendem à igualdade ($T_A = T_B$). Caso contrário, espera-se uma diferença significativa entre elas. Quanto maior for a diferença entre as somas do número de ordem atribuídos à cada amostra, maior será a evidência de que elas não têm a mesma distribuição (MCCLAVE et al, 1997).

Os valores críticos para a rejeição são estabelecidos em função das somas dos números de ordem atribuídos a cada amostra, do tamanho de cada amostra e do nível de significância desejado para o teste.

De acordo com Mcclave et al (1997), distribuição de amostras com 10 ou mais elementos pode ser aproximada por uma distribuição normal com média e variância dada respectivamente por:

$$E(T_A) = \frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2} \quad (6.7)$$

e,

$$\sigma_{T_A}^2 = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} \quad (6.8)$$

Portanto, pode-se utilizar a estatística "z" dada por:

$$z = \frac{T_A - \frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2}}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}} \quad (6.9)$$

onde:

T_A = Soma dos números de ordem da amostra "A".

n_1, n_2 = Número de observações das amostras.

Comparação entre as amostras Acessibilidade X Ambiente Circundante:

H_0 : A média obtida para o atributo Acessibilidade não difere estatisticamente da média obtida para o atributo Ambiente Circundante ($\mu_{ACE} = \mu_{AMB}$)

H_a : A média obtida para o atributo Acessibilidade é menor que a média obtida para o atributo Ambiente Circundante ($\mu_{ACE} < \mu_{AMB}$)

Construiu-se uma tabela com números de ordem, estabelecidos em função da magnitude dos resultados obtidos, considerando as duas amostras em conjunto, conforme mostra a Tabela 6.11. Nota-se que para valores iguais, em amostras diferentes, adotou-se um valor médio de forma a não alterar a soma do "Ranking", conforme prescreve Mcclave et al (1997). Veja, como exemplo, o caso dos valores "0,04" do atributo Acessibilidade e "0,04" do atributo Ambiente Circundante, os quais deveriam receber números de ordem "2" e "3", receberam 2,5 nos dois casos.

Tabela 6.11: Ranking das observações ACE e AMB

Medidas ACE	Ranking ACE	Medidas AMB	Ranking AMB
0.03	1.0	0.04	2.5
0.04	2.5	0.05	5.5
0.04	4.0	0.05	7.5
0.05	5.5	0.07	10.5
0.05	7.5	0.09	14.5
0.06	9.0	0.10	16.5
0.07	10.5	0.11	20.5
0.08	12.0	0.17	25.0
0.08	13.0	0.18	26.0
0.09	14.5	0.18	27.0
0.10	16.5	0.22	28.5
0.10	18.0	0.24	30.5
0.10	19.0	0.24	32.5
0.11	20.5	0.27	34.5
0.11	22.0	0.27	36.0
0.11	23.0	0.28	37.5
0.13	24.0	0.30	40.0
0.22	28.5	0.31	41.5
0.24	30.5	0.31	43.0
0.24	32.5	0.31	44.0
0.27	34.5	0.35	46.0
0.28	37.5	0.37	47.5
0.29	39.0	0.40	49.0
0.31	41.5	0.41	50.5
0.33	45.0	0.42	52.0
0.37	47.5	0.43	53.0
0.41	50.5	0.45	54.0
0.47	55.5	0.47	55.5
0.49	57.0	0.62	58.0
Soma	722	Soma	989

Valores críticos da estatística "z"

- Nível de significância de 95%: 1,65.
- Nível de significância de 99%: 2,3.

Valor de "z", calculado pela Equação 6.9: 2,08.

Não se rejeita a hipótese nula (H_0) em nível de significância de 99% (amostras de mesma distribuição).

Repetiram-se os testes, comparando:

- **Acessibilidade versus Intervisibilidade**
- **Ambiente Circundante versus Intervisibilidade**
- **Acessibilidade versus Logística, Conforto e Segurança.**

Tais testes são suficientes para identificar se existe equivalência entre atributos, dentre todas as amostras estudadas.

Os resultados estão apresentados na Tabela 6.12.

Tabela 6.12: Resultados RANK SUM TEST.

RANK SUM TEST					
Amostras	n_1	n_2	Z Calculado	Z crítico	
				95 %	99 %
ACE X AMB	29	29	2.08	1.65	2.33
ACE X INT	29	29	0.64	1.65	2.33
AMB X INT	29	29	1.50	1.65	2.33
ACE X LOG	29	29	3.39	1.65	2.33

6.7 – Conclusões da Pesquisa de Atribuições de Pesos

Os testes mostram que:

- A distribuição obtida para o atributo Logística, Conforto e Segurança difere das distribuições obtidas para todos os outros atributos, em significância de 99%;
- As distribuições obtidas para os atributos Acessibilidade, Ambiente Circundante, Intervisibilidade e Monumento e Documentação não diferem entre si em significância de 99%.

Conclui-se, portanto, que, considerando adequado o peso para o atributo Logística, Conforto e Segurança, neste caso 0,08, os pesos dos demais atributos podem ser calculados por:

$$ACE = AMB = INT = MON = \frac{1 - 0,08}{4} = 0,23$$

Assim, considerando uma avaliação no intervalo de 0 (zero) a 1 (um), a influência dos atributos do vértice na operacionalidade da rede será:

$$0,23ACE + 0,23AMB + 0,23INT + 0,23MON + 0,08LOG$$

De forma simplificada e mais adequada à precisão alcançada no experimento, a razão entre o atributo Logística, Conforto e Segurança e os demais atributos é aproximadamente de 1/3 (um para três). Então, a contribuição dos atributos para a operacionalidade da rede, de acordo com o grupo de profissionais que responderam o questionário, deve ser ponderada pelos pesos:

- **Acessibilidade – Peso Três (3)**
- **Ambiente Circundante – Peso Três (3)**
- **Intervisibilidade – Peso Três (3)**
- **Monumento e documentação – Peso Três (3)**
- **Logística, Conforto e Segurança- Peso Um (1)**

7- DENSIDADE DA REDE

Neste Capítulo utilizou-se de simulações e análises diversas com o objetivo explicitar a maneira de como a densidade de uma rede de apoio influencia na sua operacionalidade.

A densidade e a distribuição espacial dos vértices de uma rede de apoio influenciam na rapidez dos levantamentos. Por exemplo: ao se utilizar o sistema GPS no georreferenciamento, o tipo de equipamento utilizado e o tempo despendido na operação dependerão, entre outras coisas, do comprimento da linha de base. De maneira geral, o tempo necessário de rastreo é influenciado pelo comprimento da linha de base e aumenta com o aumento dessa (HOFMANN-WELLENHOF et al, 1997).

A Tabela 7.1 apresenta uma sugestão de tempo de rastreo para levantamentos estáticos com receptores de uma freqüência, proposta por Hofmann-Wellenhof et al (1997).

Tabela 7.1: Sugestão de tempo de rastreo.
Fonte: Hofmann-Wellenhof et al 1997.

Linha de base (km)	Tempo de rastreo (min)
1	20 – 35
5	25 – 45
10	35 – 60
20	55 – 90

As Normas Técnicas para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, publicada pelo INCRA em Novembro de 2003, recomendam um tempo mínimo de rastreo de 30 minutos para distâncias até 20 km.

O comprimento da linha de base também influencia no tipo de equipamento utilizado. Para grandes distâncias é necessário o emprego de receptores de duas freqüências. O INCRA recomenda a utilização de receptores de duas freqüências para linhas de base superiores a 20 km.

Hofmann-Wellenhof et al (1997), argumentam, entretanto, que não se pode estabelecer tempos de rastreio como regra geral e que a melhor forma de se determinar a duração ideal da seção de rastreio é proceder, inicialmente, levantamentos mais demorados nas primeiras seções, para se obter valores típicos para aquela situação. Por exemplo – observações de 120 minutos para linhas de base entre 5 e 20 km. Esses dados, quando processados, deverão apresentar ótimos resultados e deverão servir como parâmetros de comparação para seções com menor duração, estabelecendo-se, então, o menor tempo de rastreio para se alcançar o resultado pretendido.

No caso da Topografia Clássica, as limitações quanto à extensão de poligonais topográficas ou geodésicas, devido a propagação de erros, quando for o caso, irão indicar a densidade de pontos ideal da rede de apoio para os levantamentos cadastrais. As Normas Técnicas para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais (INCRA, 2003) recomendam a extensão máxima de 50 km para poligonais destinadas a implantar pontos de apoio imediato aos levantamentos cadastrais.

A densidade e distribuição espacial também influenciam na acessibilidade dos vértices da rede de apoio (tempo necessário para se alcançar um determinado vértice que será utilizado para apoiar um levantamento).

Apresentam-se, a seguir, simulações que mostram a influência da densidade da rede de apoio no tempo despendido nos trabalhos de georreferenciamento.

7.1 – Dispendio de Tempo no Georreferenciamento em Função da Densidade da Rede de Apoio

Nesta análise, realizada através de simulações, determinou-se o tempo gasto para implantar uma base topográfica, isto é, implantar dois monumentos intervisíveis e determinar as suas coordenadas, utilizando o Sistema GPS. Esses pontos serviriam de apoio imediato para o levantamento cadastral¹⁷.

Consideraram-se redes com três níveis distintos de densificação – a RBMC, as Redes GPS estaduais e uma rede hipotética com nível de densificação de 40 Km entre vértices, supostamente mais adequada para o uso do GPS nos trabalhos de georreferenciamento. Adotou-se o tempo mínimo de rastreio recomendado pelas

¹⁷ A Norma de Georreferenciamento do INCRA deixa dúvidas quanto aos conceitos de “apoio básico” e “apoio imediato”. Considerou-se aqui que pontos com essas características e finalidade enquadram-se no conceito de pontos de apoio imediato.

Normas Técnicas para Georreferenciamento de Imóveis rurais, conforme apresentado na Tabela 7.2.

Tabela 7.2: tempo de ocupação em função da distância entre estações.
Fonte: INCRA, 2003.

Distância entre estações	Ocupação mínima em minutos	Observáveis	Tipo de solução esperada
Até 20 km	30	L_1 ou L_2	DD Fix
20-50 km	120	L_1/L_2	DD Fix
Acima de 100 km	240	L_1/L_2	DD Float

A Figura 7.1 ilustra um método bastante utilizado para se proceder à implantação da base utilizando o sistema GPS. A partir de dois vértices, 1 e 2, pertencentes à rede de referência, medem-se vetores independentes para os pontos a e b¹⁸. Considerando que os vértices 1 e 2 são injunções, este procedimento garante uma redundância de observações, permitindo a obtenção das coordenadas dos pontos a e b, a partir de um ajustamento por mínimos quadrados.

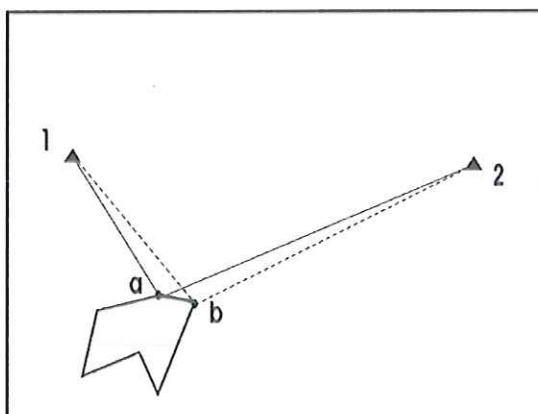


Figura 7.1: Georreferenciamento a partir de dois vértices da rede de referência.

Na primeira situação, o georreferenciamento dá-se a partir da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), cuja densidade proporciona distâncias superiores a 500 km entre seus vértices (Figura 7.2).

¹⁸ Na figura 7.1, os pontos a e b estão localizados no perímetro da área a ser cadastrada mas, considerando o conceito de pontos de apoio imediato aqui adotado, poderiam estar localizados dentro ou mesmo fora dela.

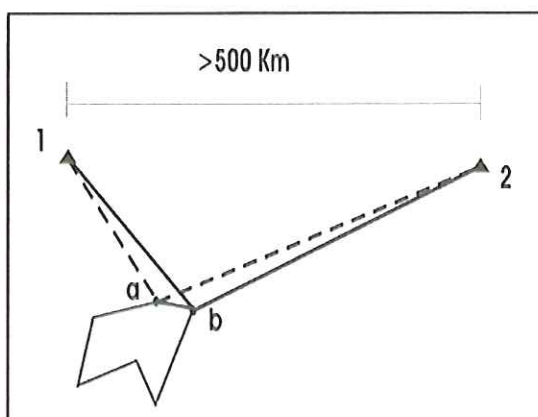


Figura 7.2 – Georreferenciamento a partir da RBMC.

Nesse caso, não há necessidade de se ocupar os vértices da rede, porque os mesmos dispõem de estações ativas, não havendo dispêndio de tempo para deslocamento até os seus vértices. São necessários receptores de duas frequências porque o comprimento dos vetores é da ordem de centenas de quilômetros, sendo que o tempo de rastreamento totalizará 8 horas, considerando o levantamento simultâneo de 2 vetores em 4 horas, conforme o tempo de rastreamento recomendado pelo INCRA (INCRA, 2003). Estes dados estão resumidos Na Tabela 7.3.

Tabela 7.3: Dados do georreferenciamento – RBMC

Número de vetores levantados	4
Número de vértices ocupados	2 (a e b)
Tipo de receptor	L1/L2
Tempo de rastreamento	8 h
Deslocamento até os vértices da rede	0 h
Tempo total	8 h

Na segunda situação, o georreferenciamento dá-se a partir das Redes GPS estaduais.

Tratando-se das redes GPS estaduais, existe a necessidade de se ocupar também os seus vértices, requerendo dispêndio de tempo com deslocamento até os pontos 1 e 2 (Figura 7.3). Considerou-se um gasto mínimo de 4h para um deslocamento de 300 Km (2 vezes a distâncias entre os vértices da rede GPS estadual que é da ordem de 150 Km). Seria necessário o levantamento de 4 vetores com um tempo de rastreamento de 2 horas por vetor. Esses valores estão resumidos na Tabela 7.4.

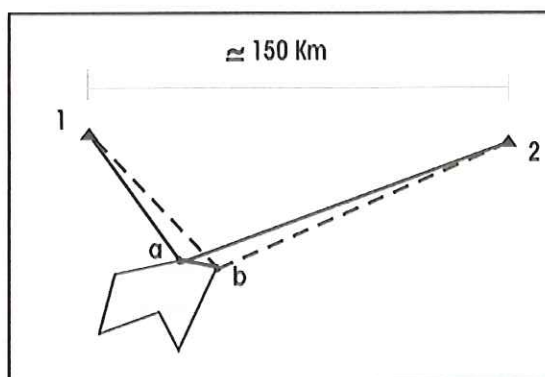


Figura 7.3: Georreferenciamento a partir das Redes GPS Estaduais.

Tabela 7.4: Dados do georreferenciamento – Redes GPS Estaduais

Número de vetores levantados	4
Número de vértices ocupados	4 (1, 2, a e b)
Tipo de receptor	L1/L2
Tempo de rastreamento	8 h
Deslocamento até os vértices da rede	4 h
Tempo total	12 h

Na terceira situação, considerou-se uma rede de referência hipotética com densidade da ordem de 40 Km de distância entre vértices.

A análise deste nível é motivada pela busca da densidade mais econômica para a execução dos levantamentos, tendo em vista as características do sistema GPS. A situação é ilustrada pela Figura 7.4. Os dados do levantamento encontram-se na Tabela 7.5.

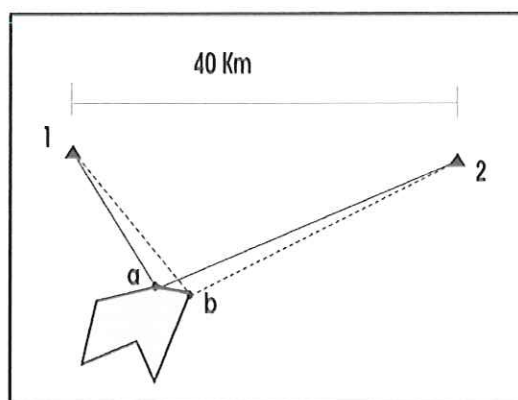


Figura 7.4: Georreferenciamento a partir de uma rede hipotética com densidade de 40 Km entre vértices.

Tabela 7.5: Dados do georreferenciamento - densidade de 40 Km.

Número de vetores levantados	4
Número de vértices ocupados	4 (1, 2, a e b)
Tipo de receptor	L1
Tempo de rastreio	2 h
Deslocamento até os vértices da rede	1 h
Tempo total	3 h

A Tabela 7.6 apresenta um resumo do tempo de levantamento despendido no georreferenciamento, de acordo com a densidade¹⁹. Os mesmos resultados são apresentados pelo gráfico da Figura 7.5.-

Tabela 7.6: Tempo despendido no georreferenciamento.

Densidade	Tempo de levantamento (h)
RBMC	8
Redes GPS Estaduais	12
40 km	3

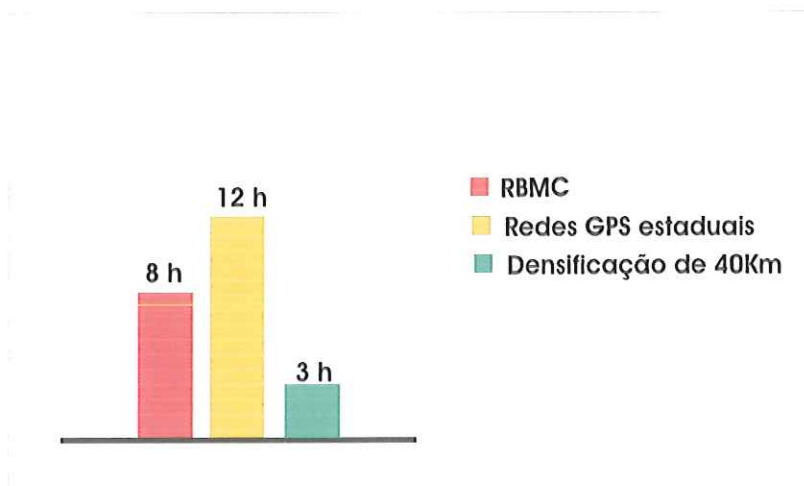


Figura 7.5: Comparação do tempo gasto no georreferenciamento.

¹⁹ No cálculo do tempo de rastreio considerou-se, em todos os casos, que o comprimento dos vetores para os pontos a e b (figuras 7.2 à 7.4) têm, em média, ordem de grandeza semelhante à metade da distância entre os vértices da rede.

Verifica-se uma variação significativa do tempo gasto no georreferenciamento, quando se altera a densidade. Certamente, a influência nos custos do levantamento será imediata.

A utilização de uma base curta (vértices duplos), conforme apresentado no item 5.3.3.1, reduz o tempo despendido no georreferenciamento. No caso de uma rede com densidade de 40 km, o tempo de georreferenciamento passaria de 3 para 2 horas, como mostra o gráfico da Figura 7.6.

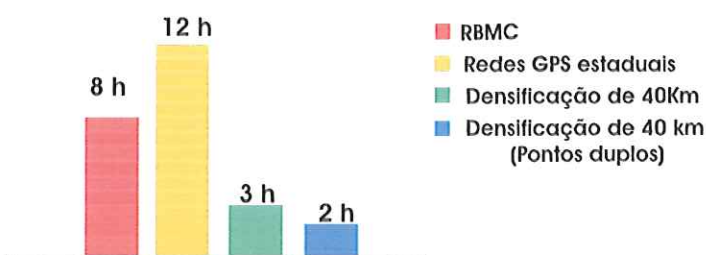


Figura 7.6: Comparação do tempo gasto no georreferenciamento, considerando a existência de vértices duplos.

7.2 – Análise da Acessibilidade de Redes de Apoio

Também através de simulações, fez-se uma análise da acessibilidade, considerando três diferentes densidades da rede de apoio. Nesta análise, a acessibilidade é definida pela distância de deslocamento de carro de uma cidade até o vértice. O método utilizado para o cálculo da acessibilidade foi discutido no item 5.3.1. Cada vértice da rede constituiu-se em um destino e, cada cidade, em uma origem de viagens. Essa condição foi estabelecida com base no pressuposto de que a cada execução do levantamento cadastral de um imóvel gera-se, a partir das cidades, viagens com destino aos vértices da rede, para a obtenção do apoio necessário ao georreferenciamento.

Densidade 1: Redes GPS estaduais com espaçamento entre vértices acima de 100 km. A motivação para análise deste nível de densificação se deve ao fato de que as redes estaduais atualmente se constituem em uma das principais estruturas de referência geodésica brasileira para o georreferenciamento.

Densidade 2: Vértices com espaçamento médio de 40 km. A análise, neste nível, é motivada pela busca da densidade mais econômica para a execução dos levantamentos, devido as características do sistema GPS. Conforme já discutido neste capítulo, o tempo de rastreamento para vetores da ordem de 20 km via de regra é menor, além de possibilitar a utilização de receptores de 1 (uma) frequência.

Densidade 3: Redes com vértices localizados em todas as sedes de município. A escolha deste nível de densificação foi motivada por fatores tais como, a possibilidade de atribuição de responsabilidade legal pela guarda e manutenção dos marcos a cada prefeitura municipal e a distribuição, por prefeitura, dos custos de levantamentos e monumentação. Aspectos relacionados com o atributo Logística, Conforto e Segurança também foram considerados.

7.2.1 – A Área de Estudo

O Estudo teve como modelo uma área na região central do Estado de São Paulo, limitada pelos vértices PIRASSUNUNGA, IBITINGA e JABOTICABAL da Rede GPS do estado de São Paulo, conforme apresentado na Figura 7.7.

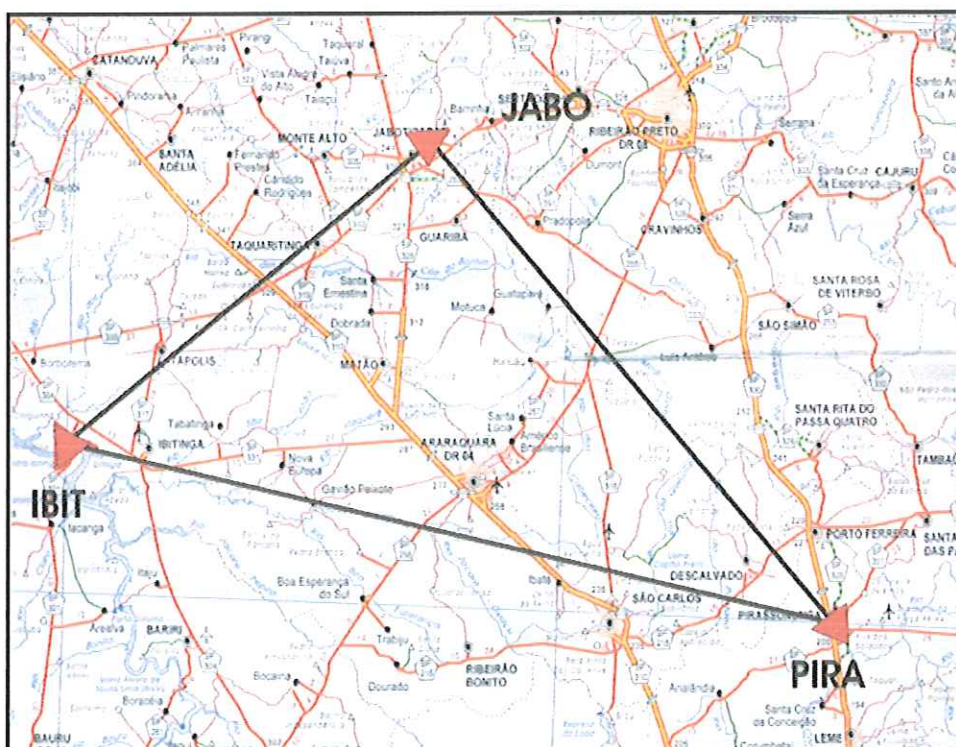


Figura 7.7: Área de estudo.

A área de estudo possui uma densidade média de uma cidade para cada 300 km². Trata-se de uma densidade que ocorre na maior parte do Estado de São Paulo²⁰. Dessa forma, os resultados obtidos aqui podem ser extrapolados para grande parte do estado de São Paulo e, naturalmente, para outras regiões do Brasil que possuam distribuição geográfica das cidades, características da malha viária e redes GPS semelhantes.

7.2.2 – Acessibilidade aos Vértices da Rede GPS Estadual

O cálculo da acessibilidade levou em consideração apenas os 3 vértices da rede GPS estadual que, neste caso, definem os limites da área de estudo (PIRASSUNUNGA, JABOTICABAL E IBITINGA). A matriz de distâncias origem-destino é apresentada na Tabela 7.7.

²⁰ Região de Araçatuba: 1 / 320 km². Região de Fernandópolis: 1 / 220 Km². Região de Presidente Prudente 1 / 300k m². Região de Campinas/Piracicaba: 1 / 250 km². Região de Paraguaçu Paulista: 1 / 400 km². A única região que difere significativamente é a região de Registro: 1 / 1000 Km². (As densidades foram calculadas a partir do Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo) (SÃO PAULO, 2001).

Tabela 7.7: Matriz de distância origem-destino - Rede GPS

Origem	Destino	IBIT	JABO	PIRA
Américo Brasiliense		104	83	123
Araraquara		94	76	113
Descalvado		172	140	33
Dobrada		111	42	156
Gavião Peixoto		65	89	144
Guariba		130	25	133
Guataporá		147	57	118
Ibitinga		23	95	185
Jaboticabal		108	4	141
Matão		96	49	143
Motuca		121	45	138
Nova Europa		54	81	155
Pirassununga		200	142	0
Rincão		132	61	123
Santa Ernestina		96	37	158
Santa Lúcia		110	75	129
Tabatinga		44	78	162
Taquaritinga		81	33	166

A distribuição de frequência por classe, com intervalos de 40km, é mostrada na Tabela 7.8.

Tabela 7.8: Distribuição de Frequência das distâncias: Rede GPS Estadual

Distâncias (Km)	Frequência (%)		
	IBIT	JABO	PIRA
≤ 40	5.6	22.2	11.1
40 - 80	16.7	44.5	0.0
80 - 120	44.4	22.2	11.1
120 - 160	22.2	11.1	61.1
160 - 200	11.1	0.0	16.7
> 200	0.0	0.0	0.0
Total	100,0	100,0	100,0

A Tabela 7.9 apresenta a distribuição média de frequência de distâncias da rede.

Tabela 7.9: Distribuição média de frequência: densidade das Redes GPS Estaduais

Distância (Km)	F r e q ü ê n c i a (%)
≤ 40	13.0
40 - 80	20.4
80 - 120	25.9
120 - 160	31.5
160 - 200	9.2
> 200	0.0
Total	100,0

7.2.3 – Acessibilidade para Densidade de 40 Km entre Vértices

Os vértices foram dispostos de maneira uniforme com espaçamento médio de 40 km, fazendo com que qualquer ponto da área de estudo esteja sempre à uma distância máxima de 20 km para um dos vértices da rede. Nessa condição, são necessários 10 pontos para cobrir toda a área, incluindo os três vértices da rede GPS do estado de São Paulo, que definem os seus limites. Todos os vértices foram colocados em margens de rodovias pavimentadas para garantir uma mesma condição de acessibilidade.

A Figura 7.8 apresenta a distribuição dos pontos na área de estudo. Os círculos representam a área de influência de cada um, considerando o raio de 20 Km.

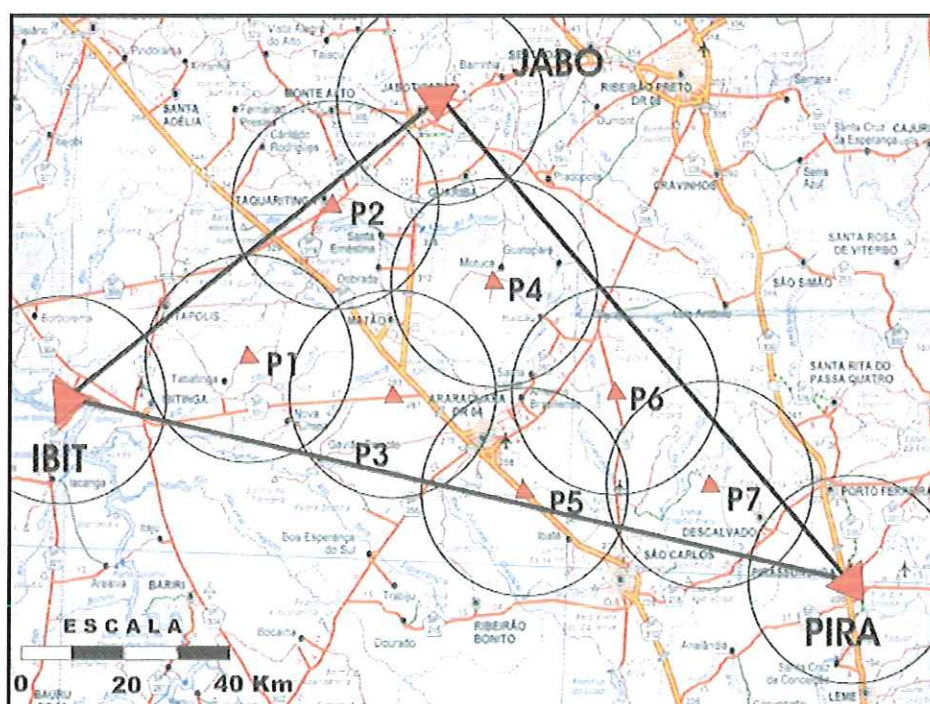


Figura 7.8: Rede com densidade de 40 Km.

A Tabela 7.10 apresenta a matriz de distâncias entre cada origem i (cidades) e destino j (vértices da rede). Estas medidas foram obtidas a partir do Mapa Rodoviário do Estado de São Paulo, edição de 2001 do Departamento de Estradas de Rodagem, escala:1.000.000. Utilizou-se o programa Auto-Cad para vetorização e medição das distâncias de cada percurso.

Tabela 7.10: Matriz de distâncias origem-destino em Km. Densidade de 40 Km.

Origem	Destino	IBIT	JABO	PIRA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Américo Brasiliense		104	83	123	74	73	32	34	28	27	109
Araraquara		94	76	113	64	63	22	46	15	34	95
Descalvado		172	140	33	141	141	99	113	64	75	15
Dobrada		111	42	156	53	20	38	40	61	78	140
Gavião Peixoto		65	89	144	34	60	22	79	48	71	128
Guariba		130	25	133	80	40	57	25	79	63	147
Guataporá		147	57	118	116	78	75	47	62	30	117
Ibitinga		23	95	185	34	70	56	103	90	112	171
Jaboticabal		108	4	141	65	27	62	48	85	77	157
Matão		96	49	143	44	30	24	29	46	69	126
Motuca		121	45	138	74	60	50	3	63	40	133
Nova Europa		54	81	155	23	49	25	72	59	82	139
Pirassununga		200	142	0	171	171	130	142	93	105	48
Rincão		132	61	123	85	70	51	14	49	25	117
Santa Ernestina		96	37	158	51	14	44	46	67	84	147
Santa Lúcia		110	75	129	79	79	37	29	34	30	114
Tabatinga		44	78	162	7	46	42	91	77	99	157
Taquaritinga		81	33	166	39	3	53	62	75	98	155

A Tabela 7.11 apresenta a frequência das distâncias entre os vértices e as cidades, em classes de 40 km.

Tabela 7.11: Distribuição de frequência de distâncias por vértice

Distância (Km)	Frequência (%)									
	IBIT	JABO	PIRA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
≤ 40	5,6	22,2	11,1	27,8	33,3	38,9	38,9	16,7	33,3	5,6
40 - 80	16,7	44,4	0,00	50,0	55,6	50,0	38,9	66,7	33,3	5,6
80 - 120	44,4	22,2	11,1	11,1	0,00	5,6	16,7	16,7	33,3	27,8
120 - 160	22,2	11,1	61,1	5,6	5,6	5,6	5,6	0,00	0,00	55,6
160 - 200	11,1	0,0	16,7	5,6	5,6	0,00	0,00	0,00	0,00	5,6
> 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Observa-se, nesse exemplo, que as maiores frequências ocorrem na faixa de 40 a 80 km.

A Tabela 7.12 apresenta as frequências médias.

Tabela 7.12: Distribuição média de frequência:
densidade de 40 Km.

Distância (Km)	Frequência Média (%)
≤ 40	23.3
40 - 80	36.1
80 - 120	18.9
120 - 160	17.2
160 - 200	4.5
> 200	0.0
Total	100,0

7.2.4 –Acessibilidade - Vértices Distribuídos em Cidades

Os vértices foram dispostos na sede de cada município, totalizando 20 vértices, já incluídos os vértices da rede GPS estadual. Dessa maneira, a matriz origem-destino constituiu-se de **18 origens** (todas as cidades existentes na área de estudo) e **20 destinos** de viagens (cidades mais os vértices da rede GPS)²¹. A Figura 7.9 mostra a distribuição dos vértices na área de estudo.

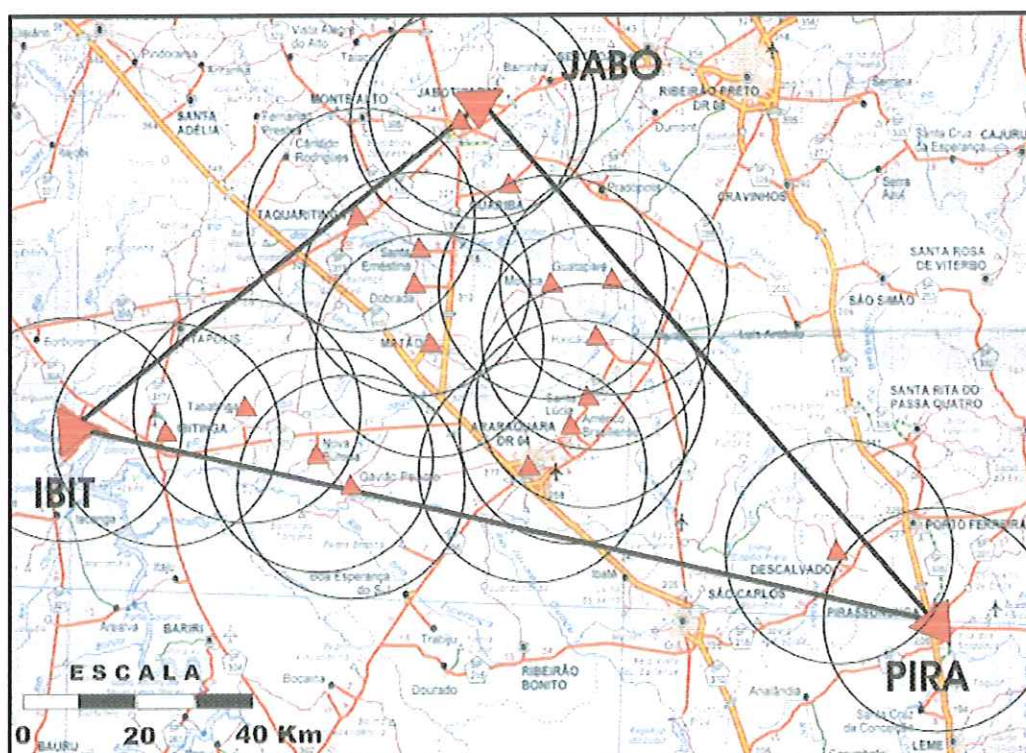


Figura 7.9: Distribuição dos pontos por cidades.

As Tabelas 7.13 e 7.14 na página 91 apresentam, respectivamente, a matriz de distâncias origem-destino e a distribuição de frequência por vértice.

²¹ Considerou-se que o vértice PIRASSUNUNGA da rede GPS do estado de São Paulo está localizado na própria sede do município.

Tabela 7.13: Matriz de distâncias origem-destino em Km. Pontos distribuídos por cidades.

Destino	IBIT	JABO	A.Bras	Araraq	Descv	Dobra	G.Peixo	Guarib	Guatap	Ibitinga	Jaboti	Matão	Motuca	N.Euro	Pirassu	Rincão	S.Erns	S.Lúcia	Taba	Taquar
Origem	104	83	0	18	94	68	56	58	43	97	82	54	36	66	126	20	74	5	84	83
A. Brasileira	94	76	18	0	81	49	37	67	51	77	72	35	54	46	112	38	54	23	64	63
Descalvado	172	140	94	81	0	126	113	138	104	154	150	112	114	125	42	98	132	99	142	142
Dobrada	111	42	68	49	126	0	60	32	78	93	37	10	40	62	157	51	6	66	79	21
Gavião Peixoto	65	89	56	37	113	60	0	78	88	47	82	46	70	10	145	75	66	60	33	60
Guariba	130	25	58	67	138	32	78	0	44	111	25	39	22	81	133	38	26	53	98	42
Guataparã	147	57	43	51	104	78	88	44	0	130	55	72	48	99	135	33	72	37	116	79
Ibitinga	23	95	97	77	154	93	47	111	130	0	90	79	102	36	186	113	99	101	25	64
Jaboticabal	108	4	82	72	150	37	82	25	55	90	0	44	43	74	142	60	31	73	75	27
Matão	96	49	54	35	112	10	46	39	72	79	44	0	30	49	145	41	26	56	60	39
Motuca	121	45	36	54	114	40	70	22	48	102	43	30	0	72	136	16	47	30	89	64
Nova Europa	54	81	66	46	125	62	10	81	99	36	74	49	72	0	156	83	68	71	23	50
Pirassununga	200	142	126	112	42	157	145	133	135	186	142	145	136	156	0	129	157	130	171	176
Rincão	132	61	20	38	98	51	75	38	33	113	60	41	16	83	129	0	57	15	100	72
Santa Ernestina	96	37	74	54	132	6	66	26	72	99	31	26	47	68	157	57	0	73	60	15
Santa Lúcia	110	75	5	23	99	66	60	53	37	101	73	56	30	71	130	15	73	0	87	87
Tabatinga	44	78	84	64	142	79	33	98	116	25	75	60	89	23	171	100	60	87	0	49
Taquaritinga	81	33	83	63	142	21	60	42	79	64	27	39	64	50	176	72	15	87	49	0

Tabela 7.14: Frequência de distâncias por vértice. Distribuição de vértices por cidades.

Distânc. (Km)	Frequência (%)																			
	IBIT	JABO	A.Bras	Araraq	Descv	Dobra	G.Peix	Guarib	Guatap	Ibitinga	Jaboti	Matão	Motuca	N.Euro	Pirassu	Rincão	S.Erns	S.Lúcia	Taba	Taquar
≤ 40	5.6	22.2	27.8	33.3	5.6	38.9	22.2	38.9	16.7	16.7	27.8	38.9	38.9	22.2	5.6	38.9	33.3	33.3	22.2	27.8
40 - 80	16.7	44.4	38.9	55.6	5.6	44.4	55.6	33.3	50.0	22.2	44.4	50.0	38.9	50.0	5.6	33.3	50.0	38.9	33.3	50.0
80 - 120	44.4	22.2	27.8	11.1	44.4	5.6	16.7	16.7	22.2	44.4	16.7	5.6	16.7	16.7	5.6	22.2	5.6	22.2	33.3	11.1
120 - 160	22.2	11.1	5.6	0.0	44.4	11.1	5.6	11.1	11.1	11.1	11.1	5.6	5.6	11.1	66.7	5.6	11.1	5.6	5.6	5.6
160 - 200	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	5.6	5.6
> 200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

A Tabela 7.15 apresenta a distribuição média de frequência de distâncias da rede.

Tabela 7.15: Distribuição média de frequência:
Vértices distribuídos por cidades

Distância (Km)	Freqüência (%)
≤ 40	25.8
40 - 80	38.1
80 - 120	20.6
120 - 160	13.3
160 - 200	2.2
> 200	0.0
Total	100,0

7.2.5 – Acessibilidade nas Diferentes Densidades

A Tabela 7.16 mostra a distribuição de frequência média da distância, em classes com intervalos de 40 km, para as três densidades estudadas.

Tabela 7.16: Frequência média de distâncias, por densidade.

Distâncias (Km)	Frequência Média (%)		
	40 km	Cidades	Rede GPS
≤ 40	23.3	25.8	13.0
40 - 80	36.1	38.1	20.4
80 - 120	18.9	20.6	25.9
120 - 160	17.2	13.3	31.5
160 - 200	4.5	2.2	9.2
> 200	0.0	0.0	0.0
Total	100,0	100,0	100,0

A Figura 7.10 apresenta o histograma de frequência média de distâncias nas três situações analisadas.

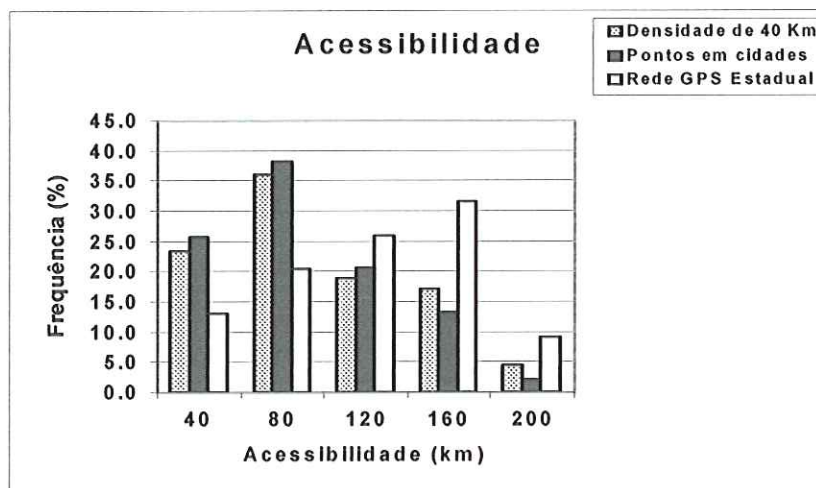


Figura 7.10: Histograma de frequência para as diferentes densidades.

Verifica-se, conforme o gráfico da Figura 7.10, que a acessibilidade média da rede, quando a densidade é da ordem de 40 km (10 pontos) e quando os vértices são distribuídos por cidade (20 pontos), são semelhantes, apesar do número maior de vértices no último caso. Esse fato é explicado pela distribuição espacial, que influencia a acessibilidade de forma distinta, em cada caso (LIMA,1998). No primeiro caso, a distribuição é homogênea, contribuindo para a otimização da acessibilidade naquele nível de densificação.

Nos dois casos cerca de 60% das distâncias encontram-se abaixo de 80 Km, isto é, gasta-se no máximo uma hora para alcançar o vértice da rede, considerando-se uma velocidade média 80 km/h. Em cerca de 15% dos casos a distância é maior que 120 Km.

A situação inverte-se ao se considerar a rede GPS estadual. Verifica-se que, em cerca de 65% dos casos, a distância é maior que 80 Km. Em 40% dos casos, a distância é maior que 120 km, ou seja, gasta-se mais que duas horas para se alcançar o vértice da rede de apoio.

No caso da distribuição por município, seria necessário implantar 17 vértices. Nessa situação, para um raio de influência de 20 Km, uma pequena área (7% do total) ficaria sem cobertura, como mostra a Figura 7.9.

Para a densidade de 40 km, com pontos idealmente distribuídos, seriam necessários apenas 7 vértices para cobrir toda a área.

Considerando apenas o número de vértices, espera-se, evidentemente, um custo global de implantação maior para o primeiro caso, embora deva-se levar em conta, também, o fato de que os custos de implantação de vértices nas cidades seriam mais econômicos devido à proximidade da infra-estrutura de serviços, não havendo a necessidade de grandes deslocamentos para transporte de material, trabalhadores etc.

Ressalta-se que a distribuição de vértices por cidades pode permitir que o custo global de implantação, inclusive dos levantamentos, seja dividido por prefeitura, isto é, cada cidade poderia responsabilizar-se pela construção do seu monumento e contratar o levantamento GPS necessário, evidentemente seguindo diretrizes do IBGE, o qual ficaria responsável pelo ajustamento e homologação das coordenadas²².

Em relação à operacionalidade, chama-se a atenção para alguns aspectos que podem tornar a distribuição de vértices por município altamente desejável. A guarda e manutenção física do monumento que materializa o vértice é um aspecto importante relacionado com a garantia da sua integridade ao longo do tempo, conforme já discutido neste capítulo. A localização do monumento dentro ou nas imediações de cidades pode permitir a atribuição de responsabilidades, até mesmo legal, pela guarda e manutenção física do monumento às prefeituras e outros órgãos públicos.

A responsabilidade pela manutenção física de toda a estrutura geodésica brasileira é atualmente do IBGE, tarefa monumental em face da grande extensão territorial do Brasil, sendo que o índice de destruição dos marcos da rede geodésica clássica é extremamente elevado. A tarefa de manutenção física dos monumentos poderia, assim, ser distribuída por cidade. Cada prefeitura cuidaria do "seu monumento", resultando num custo baixíssimo por prefeitura. Ao IBGE caberia a definição e fiscalização dos procedimentos de manutenção. Essa possibilidade deve ser avaliada com maior profundidade, inclusive com pesquisa junto às prefeituras, para se avaliar a sua exeqüibilidade.

A proximidade de centros comerciais e restaurantes pode facilitar os trabalhos de georreferenciamento, por que permite a movimentação e acomodação adequada de equipes de levantamento e manutenção de equipamentos e veículos, como já se discutiu anteriormente. É razoável afirmar que, de maneira geral, o atributo Logística, Conforto e Segurança é maximizado quando o vértice está localizado nas imediações de cidades, devido à infra-estrutura que essas oferecem.

²² Certamente, o atendimento de uma demanda desse porte deve ser avaliada pelo próprio IBGE em face dos recursos disponíveis.

Um aspecto relativo à operacionalidade, que deve ser lembrado, refere-se ao atributo Ambiente Circundante. É possível que, no meio urbano, exista maior dificuldade em encontrar locais com ambiente adequado aos levantamentos GPS, o que se constitui em uma desvantagem da distribuição de vértices por cidade.

8- ÍNDICE DE OPERACIONALIDADE

Desenvolve-se um método de obtenção de um indicador numérico para a operacionalidade de uma rede de apoio, o qual se denominou Índice de Operacionalidade. Ainda, neste capítulo, classificam-se as redes de apoio, de acordo com a sua operacionalidade.

8.1 - Composição do Índice de Operacionalidade

Os estudos realizados ao longo deste trabalho mostraram que operacionalidade de uma rede de apoio depende da sua densidade e do conjunto de atributos dos seus vértices, os quais deverão ser ponderados de acordo com os pesos obtidos na pesquisa realizada com os profissionais, conforme mostra a Figura 8.1.

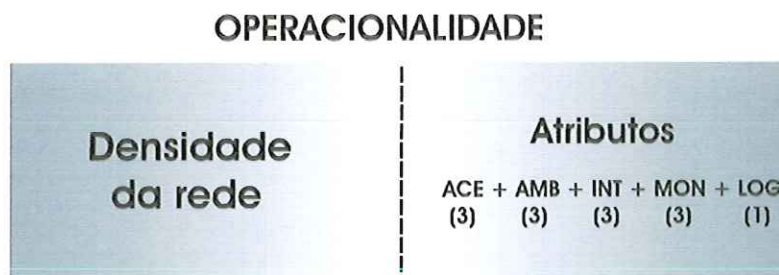


Figura 8.1: Composição do Índice de Operacionalidade.

Definiu-se *Índice de Operacionalidade* como um valor numérico que expresse a eficácia de uma rede geodésica na implantação de uma base topográfica de apoio aos levantamentos cadastrais dos imóveis rurais, constituída de dois pontos intervisíveis e georreferenciados com precisão posicional de 20 cm.

Os pressupostos considerados na composição do índice de operacionalidade foram os seguintes:

1. O Índice de operacionalidade representa uma condição da rede e deverá expressar uma expectativa de tempo para implantação da base;

2. O tempo de rastreamento, necessário para a implantação da base, varia com o comprimento dos vetores, sendo, portanto, dependente da densidade da rede. Neste trabalho, adotou-se o tempo de rastreamento mínimo proposto pelas Normas Técnicas de Georreferenciamento de Imóveis Rurais do Incra (INCRA, 2003);
3. O tempo mínimo para se alcançar os vértices da rede (Acessibilidade) também é dependente da densidade. Adotaram-se valores compatíveis com os resultados obtidos na simulação para uma rede compreendida entre os vértices JABO, PIRA e IBIT da Rede GPS do Estado de São Paulo, conforme apresentado no Capítulo 7;
4. A soma dos tempos de rastreamento e tempo para se alcançar o vértice fornecerá a expectativa de tempo mínimo necessário para implantação;
5. Introduziu-se um indicador denominado condição de operacionalidade, para quantificar a contribuição de cada atributo no tempo de implantação da base: condição de operacionalidade 1, quando o atributo em questão apresenta características que, teoricamente, permitirão implantar a base com o menor dispêndio de tempo e, condição de operacionalidade 2, quando as características do atributo contribuem para o aumento do tempo de implantação;
6. A soma dos tempos, mínimo, estabelecido em função da densidade da rede, e, adicional, estabelecido em função da condição de operacionalidade dos atributos dos vértices, fornecerá a expectativa de tempo total para implantação de uma base topográfica.

8.1.1 – Contribuição do Atributo Acessibilidade (ACE)

Como já foi apresentado anteriormente, o tempo de acesso a um vértice da rede de referência depende da densidade, da malha viária, das características das rodovias e da disposição geográficas das cidades, essas últimas consideradas como origem dos deslocamentos das equipes de topografia. Adotaram-se, aqui, os valores de acessibilidade obtidos para a área compreendida entre os vértices JABO, PIRA e IBIT da Rede GPS do Estado de São Paulo, estudada no Capítulo 7. Esses valores são válidos apenas para áreas com densidades de cidades e malhas viárias

semelhantes, sendo que novos valores devem ser propostos para regiões com características diferentes.

A Tabela 8.1 apresenta a contribuição do atributo Acessibilidade, de acordo com a sua Condição de Operacionalidade, considerando três densidades das redes apoio.

Tabela 8.1: Contribuição do atributo **Acessibilidade** para o tempo de implantação de uma base.

Condição de Operacionalidade	Descrição	Acessibilidade		
		Rede 40 Km	Rede 150 km	Rede 300 km(*)
Condição 1	Corresponde ao dobro da Acessibilidade de maior ocorrência (ida e volta), obtida nas simulações realizadas.	2 horas	4 horas	6 horas
Condição 2	Consideram-se dificuldades no percurso, tais como, estrada de terra, deslocamento a pé ou alguma dificuldade ao local de acesso. Adotou-se, como expectativa máxima, o valor da Condição 1 somado com a Acessibilidade de maior ocorrência.	Até 3 horas	Até 6 horas	Até 9 horas

(*) Não se realizaram simulações para esta densidade. A Acessibilidade foi estabelecida por estimativa, tomando como base os valores obtidos nas outras simulações.

8.1.2 – Contribuição do Atributo Ambiente Circundante (AMB)

A classificação do atributo Ambiente Circundante foi estabelecida de acordo com os seguintes critérios:

1. Adotou-se a relação entre o ângulo de elevação dos satélites e o GDOP como base para a determinação dos parâmetros de classificação. Conforme apresentado no Capítulo 5, é possível expressar a expectativa de GDOP em função da altura mínima de visibilidade dos satélites, determinada por possíveis bloqueios no ambiente que circunda o vértice;
2. Na implantação da base topográfica adotou-se o valor de GDOP igual a 6 (seis) como valor limite para a realização das observações com o GPS, acima do qual corre-se o risco de que seja necessário refazer as observações;
3. Na hipótese de um período significativo com GDOP superior a 6 (seis) durante a execução das observações, considerou-se a expectativa de se refazer pelo menos as observações de 1 (um) vetor, acarretando em tempo adicional na implantação da base topográfica.

Simularam-se, para latitudes representativas do território brasileiro, os valores de GDOP em função do ângulo de bloqueio de visibilidade dos satélites e obteve-se o período diário médio²³ em que o GDOP permanece acima 6, conforme apresentado na Tabela 8.2.

Tabela 8.2: Período diário com GDOP acima de 6

Latitude	Bloqueio de visibilidade		
	15°	20°	25°
1,5° S (Belém -PA)	0,3 h / dia	0,7 h / dia	7,2 h / dia
22,0° S (São Carlos -SP)	0,3 h / dia	3,5 h / dia	10,0 h / dia
31,5° S (Pelotas -RS)	1,4 h / dia	3,9 h / dia	8,7 h / dia

Adotou-se o ângulo 20° como limite máximo de bloqueio de visibilidade, a partir do qual o período com GDOP acima de 6 foi considerado como significativo. A partir deste limite considerou-se que existe uma expectativa de, eventualmente, refazer os trabalhos de campo.

Para obstruções até 20°, a expectativa de GDOP acima de 6 varia de cerca de 1 hora na cidade de Belém (PA) até 4 horas na cidade de Pelotas (RS). Por simplicidade e a favor da segurança, tomou-se como referência o valor obtido para a cidade de Pelotas como parâmetro para estabelecer a Condição de Operacionalidade para o atributo Ambiente Circundante. Deve ficar claro, entretanto, que para baixas latitudes, como é o caso da cidade de Belém, o limite máximo de bloqueio de visibilidade pode ser revisto para um a valor superior a 20°.

A Tabela 8.3 apresenta a contribuição do atributo Ambiente Circundante para o tempo de implantação de uma base topográfica.

Tabela 8.3: Contribuição do atributo **Ambiente Circundante** no tempo de implantação de uma base

Condição de Operacionalidade	Descrição	Tempo Adicional		
		Rede 40 km	Rede 150 km	Rede 300 km
Condição 1	Limitação de visibilidade até 20°	0 h	0	0
Condição 2	Limitação de visibilidade acima de 20°	0,5 h (*)	2 h (*)	4 h (*)

(*) Tempo de rastreamento em cada densidade.

²³ A simulação compreendeu um período de um ano com avaliações mensais (mínimo de 5 meses no ano) do GDOP em três diferentes latitudes. Tendo em vista que a diferença entre tempo sideral e tempo legal é aproximadamente 4 minutos por dia (LEICK, 2004), o período de um ano cobre todas as possibilidades de variação da constelação dos satélites em um determinado lugar. Utilizou-se o programa SKI (versão 2.3).

8.1.3 – Contribuição do Atributo Intervisibilidade (INT)

Conforme foi discutido no item 5.3.3.1, no caso de uso da Estação Total, a presença na rede de apoio de vértices duplos (ponto de azimute), com intervisibilidade perene, é um atributo fundamental para a partida dos levantamentos. No caso do uso do GPS, este atributo é irrelevante, mas a existência de pontos duplos, independente da intervisibilidade, facilita a aplicação da Norma Técnica de Georreferenciamento (INCRA, 2003), porque pode permitir a implantação de uma base topográfica utilizando esses dois pontos como apoio, não existindo a necessidade de deslocamento até outro vértice da rede. Definiu-se, dessa forma, o atributo INT* para representar a existência de vértices duplos, podendo ser intervisíveis ou não.

O uso do atributo Intervisibilidade, destinado a fornecer azimute de partida para os levantamentos, deixa de ser utilizado aqui por considerar-se que o uso da Estação Total no transporte de coordenadas para o georreferenciamento será mínimo, face às amplas vantagens que o GPS oferece nesse tipo de trabalho.

Considerando apenas a utilização do GPS, o ganho de tempo pela existência de pontos duplos corresponde exatamente ao tempo de deslocamento até outro vértice para realização das observações e depende, portanto, da densidade da rede. Estabeleceu-se, desta forma, o tempo adicional no tempo de implantação de uma base topográfica, decorrente da não existência do atributo Intervisibilidade* INT* (vértices duplos), conforme mostrado na Tabela 8.4.

Tabela 8.4: Contribuição do atributo Vértices Duplos (INT*)

Condição de Operacionalidade	Descrição	Tempo Adicional		
		Rede 40 km	Rede 150 km	Rede 300 km
Condição 1	Vértices duplos	0 h	0 h	0 h
Condição 2	Vértices simples	Até 1,0 hora	Até 2,0 horas	Até 4,0 horas

8.1.4 – Contribuição do Atributo Monumento e Documentação (MON)

Se o Monumento é adequado²⁴, possui boa documentação e publicidade (monografia) e dispõe de responsáveis para a sua guarda e manutenção, será grande a probabilidade de que ele seja facilmente encontrado e esteja em perfeitas condições de uso quando o profissional necessitar localizá-lo para realizar o levantamento. Ao contrário, se o monumento não é adequado e não possui guarda, manutenção ou

²⁴ Por monumento adequado entender-se-á o monumento com as características apresentadas no item 5.3.4.



documentação apropriada, é maior a possibilidade de que ele possa estar danificado ou mesmo não ser encontrado, podendo impedir a realização da medição. Nessa situação, o profissional deve procurar outro vértice da rede de referência, o que implicará em um novo deslocamento. O tempo despendido no novo deslocamento depende da densidade da rede: se a densidade da rede é, por exemplo, 150 km (Redes Estaduais), o deslocamento adicional será de no mínimo 150 km, cerca de 2,0h.

Com base nos pressupostos acima, estabeleceu-se a contribuição do atributo Monumento e Documentação no tempo de implantação de uma base, conforme apresentada na Tabela 8.5.

Tabela 8.5: Contribuição do atributo Monumento e Documentação (MON)

Condição de Operacionalidade	Descrição	Tempo Adicional		
		Rede 40 km	Rede 150 km	Rede 300 km
Condição 1	Monumento adequado c/ documentação, guarda e manutenção.	0 h	0 h	0 h
Condição 2	Monumento inadequado sem guarda e manutenção, requer deslocamento para outro marco.	Até 1,0 hora	Até 2,0 horas	Até 4,0 horas

8.1.5 – Contribuição do Atributo Logística, Conforto e Segurança (LOG)

Para o atributo Logística, Conforto e Segurança considerou-se que a proximidade de cidades e condições do local onde se localiza o vértice devem ser utilizados como base para estabelecer a Condição de Operacionalidade. Argumenta-se que, em uma eventual necessidade de pequenos reparos em acessórios como cabos, conectores, baterias, etc., a proximidade de cidades minimiza o tempo adicional decorrente de problemas desta natureza. A proximidade de cidades pode, também, facilitar a acomodação de equipes em trabalhos de maior duração, diminuindo o tempo com deslocamentos para essa finalidade.

A pesquisa de atribuição de pesos, apresentada no Capítulo 6, foi utilizada como parâmetro para se estabelecer a contribuição do atributo Logística, Conforto e Segurança, isto é, considerou-se que o tempo adicional, decorrente da localização dos pontos em regiões distantes das cidades equivale, a um terço do tempo adicional aplicado aos outros atributos, conforme o resultado da pesquisa.

A Tabela 8.6 apresenta a contribuição do atributo Logística, Conforto e Segurança na implantação de uma base.

Tabela 8.6: Contribuição do atributo Logística, Conforto e Segurança (LOG)

Condição de Operacionalidade	Descrição	Tempo Adicional		
		Rede 40 km	Rede 150 km	Rede 300 km
Condição 1	Proximidade de centros comerciais e condições adequadas para realização dos levantamentos	0 h	0 h	0 h
Condição 2	Distante de centros comerciais	0,3 horas	0,7 horas	1,3 horas

8.2 - Cálculo do Índice de Operacionalidade

No cálculo do índice de operacionalidade (OP), os atributos foram ponderados de acordo com os valores obtidos na pesquisa de atribuições de pesos:

- Acessibilidade – **Peso Três (3)**
- Ambiente Circundante – **Peso Três (3)**
- Intervisibilidade - **Peso Três (3)**
- Monumento e documentação - **Peso Três (3)**
- Logística, Conforto e Segurança- **Peso Um (1)**

O índice de operacionalidade (OP), em função da Condição de Operacionalidade e dos pesos de cada atributo pode, então, ser obtido pela expressão:

$$OP = \frac{1}{13} [3.(C_{ACE})^{-1} + 3.(C_{AMB})^{-1} + 3.(C_{INT*})^{-1} + 3.(C_{MON})^{-1} + (C_{LOG})^{-1}] \quad (8.1)$$

onde,

C_{ACE} , C_{AMB} , C_{INT*} , C_{MON} e C_{LOG} são as Condições de Operacionalidade de cada atributo.

O índice de operacionalidade é igual a “1” ($OP = 1$) quando o vértice possui todos os atributos com Condição de Operacionalidade 1, indicando que a operacionalidade é máxima:

$$OP = 13^{-1} \cdot [3.(1)^{-1} + 3.(1)^{-1} + 3.(1)^{-1} + 3.(1)^{-1} + (1)^{-1}] = 1,0$$

Nessa situação o tempo para se implantar uma base topográfica consiste na soma do tempo gasto nas observações (tempo mínimo de rastreio) com a acessibilidade da rede, ambos calculados em função da densidade da rede.

Ocorrendo atributos com Condição de Operacionalidade 2, os tempos adicionais, já apresentados, devem ser considerados. Quando todos os atributos têm essa condição, o Índice de Operacionalidade será mínimo e fornecido por:

$$OP = \frac{1}{13} \cdot [3 \cdot (2)^{-1} + 3 \cdot (2)^{-1} + 3 \cdot (2)^{-1} + 3 \cdot (2)^{-1} + (2)^{-1}] = 0,5$$

A Tabela 8.7 apresenta os tempos necessários para a implantação de uma base topográfica nas situações de Índice de Operacionalidade máximo (1,0) e mínimo (0,5), quando se considera uma rede com espaçamento de 40 km.

Tabela 8.7: Expectativa de tempo para implantação de base - Rede de 40 km.

	Atributos com Condição de Operacionalidade 1 (OP = 1,0)	Atributos com Condição de Operacionalidade 2 (OP = 0,5)
Rastreio	2,0	2,0
Acessibilidade (ACE)	2,0	3,0
Ambiente Circundante (AMB)	0,0	0,5
Vértices Duplos (INT*)	0,0	1,0
Monumento e Documentação (MON)	0,0	1,0
Logística Conforto e Segurança (LOG)	0,0	0,3
Total	4,0 horas	7,8 horas

Calculou-se o Índice de Operacionalidade para todas as combinações possíveis dos atributos e os respectivos tempos de implantação da base para redes com 40, 150 e 300 km de afastamento entre vértices. Os valores estão representados no gráfico da Figura 8.2. A Tabela com todos os valores encontra-se no Anexo D.

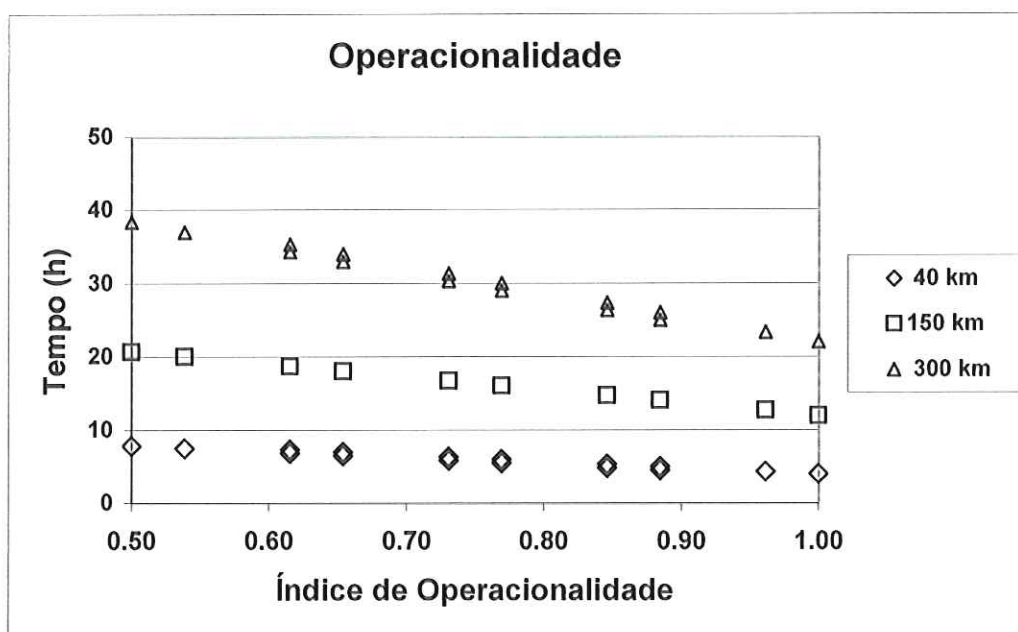


Figura 8.2: Índice de operacionalidade para todas as combinações dos atributos e condições de operacionalidade.

Verifica-se que:

- A inclinação das retas que melhor representam a dispersão dos pares ordenados (índice de operacionalidade e tempo) aumenta com a densidade da rede, o que significa dizer que uma mesma condição de operacionalidade de um atributo acarreta tempos adicionais diferentes para as diferentes densidades.
- O índice de operacionalidade é expresso pelas diferentes combinações das condições de operacionalidade (1 e 2) dos cinco atributos, o que possibilita apenas 2^5 arranjos diferentes, conferindo alta discretização nos valores obtidos. A escolha de apenas duas Condições de Operacionalidade para cada atributo teve como objetivo proporcionar uma resolução mais adequada à precisão dos experimentos realizados. Entretanto, existe a possibilidade de propor um maior número de classes por atributo, aumentando a resolução do índice, se experimentos futuros assim o possibilitarem.
- No cálculo do Índice de Operacionalidade não foram levados em consideração os tempos para montagem e desmontagem de equipamento, refeições e outros dispêndios considerados normais nos trabalhos com GPS. Esses custos e outros específicos para cada situação devem ser

considerados na montagem de planilhas e cronogramas para realização dos levantamentos.

- Em alguns casos, os tempos adicionais utilizados para classificar os atributos foram estabelecidos a bom senso e podem ser objeto de ajustes, à medida que se possa mensurá-los mais adequadamente. Alterações nesses tempos implicariam em mudança na inclinação das retas que melhor representam a dispersão dos pares ordenados - Índice de Operacionalidade e Tempo, sem, contudo, provocar qualquer alteração na metodologia de obtenção do índice.

8.3 - Intervalos do Índice de Operacionalidade

O Índice de Operacionalidade compatibiliza tempo de rastreo, tempos adicionais decorrentes da condição dos atributos e os pesos, estes obtidos através da pesquisa efetuada com profissionais e pesquisadores. A quantificação dos primeiros quase sempre fundamentou-se na experimentação, na pesquisa bibliográfica e nas normas técnicas, enquanto que os pesos foram obtidos a partir de uma avaliação qualitativa, realizada pelos profissionais e pesquisadores. Pequenas incompatibilidades, decorrentes da junção desses dois procedimentos provocaram, em alguns casos, situações onde são obtidos tempos diferentes de implantação de uma base, para um mesmo valor do Índice de Operacionalidade. São pequenas as diferenças como pode ser visto no gráfico da Figura 8.2, mas esse fato, além da já mencionada elevada discretização dos dados, impôs a necessidade de se considerar o conceito de intervalos na utilização do Índice de Operacionalidade, destinados a acomodar essas pequenas discrepâncias. A Tabela 8.8 apresenta os Intervalos de Operacionalidade escolhidos e os correspondentes tempos para implantação de uma base.

Tabela 8.8: Intervalos de Operacionalidade

Intervalos do Índice de Operacionalidade	Expectativa de tempo para implantação de uma base topográfica		
	Rede de 40 km	Rede de 150 km	Rede de 300 km
1,0	4 horas	12 horas	22 horas
0,9 1,0	Até 5 horas	Até 13 horas	Até 24 horas
0,7 0,9	Até 6 horas	Até 17 horas	Até 32 horas
0,5 0,7	Até 8 horas	Até 21 horas	Até 39 horas

8.4 - Classes de Operacionalidade das Redes de Apoio

A pesquisa impôs, ainda, a necessidade de se estabelecer uma classificação para as redes de apoio, tendo como base a expectativa de tempo despendido nos levantamentos.

Na definição das classes de Operacionalidade das redes, procurou-se identificar pontos significativos no dispêndio de tempo para a implantação de uma base, os quais caracterizam limites para alterações nos custos dos levantamentos. Exemplo: um levantamento que pode ser realizado no período de um turno (5 horas) requer gastos apenas com equipamento, transporte e pessoal, enquanto que um levantamento realizado no período de um dia requer, além desses, custos adicionais com alimentação. Da mesma forma, trabalhos com duração maior que um dia necessitam de pernoite para as equipes de levantamento.

Com base no critério acima, definiram-se as classes de operacionalidade das redes de apoio, bem como os Intervalos do Índice de Operacionalidade correspondentes, conforme apresentado na Tabela 8.9.

Tabela 8.9: Classes de Operacionalidade

Classe de Operacionalidade	Expectativa de tempo para implantação de uma base	Índice de Operacionalidade		
		Rede 40 km	Rede 150 km	Rede 300 km
1- Ótima	Até 5 horas (1 turno)	0,9 a 1,0	-----	-----
2- Boa	Até 12 horas (1 dia)	< 0,9	0,9 a 1,0	-----
3- Regular	Até 24 horas (2 dias)	-----	< 0,9	0,9 a 1,0
4- Ruim	Acima de 24 horas (>2 dias)	-----	-----	< 0,9

Verifica-se que para cada densidade, a rede abrange duas classes contíguas sendo que o Índice de Operacionalidade indica a qual delas a rede pertence.

9 - REDES ATIVAS

Neste Capítulo discorre-se sobre as características de operacionalidade das Redes Ativas, classificando-as de acordo com os critérios de operacionalidade estabelecidos no capítulo anterior.

Redes ativas são aquelas cujos vértices dispõem de receptores funcionando continuamente, podendo fornecer, a todo tempo, dados para o processamento relativo das observações GPS.

No Brasil existem duas redes ativas públicas que podem ser utilizadas para o referenciamento de imóveis rurais - A RBMC e a Rede INCRA de Bases Comunitárias (RIBAC), esta última ainda em processo de homologação pelo IBGE. Tais redes já foram descritas no Capítulo 4.

9.1 - Redes Privadas Comerciais

Algumas empresas que comercializam receptores GPS têm procurado implantar estações de monitoramento contínuo, em pontos homologados pelo IBGE, para serem utilizadas pelos seus clientes como estações de referência para as observações GPS, evitando-se, assim, a necessidade de aquisição de dois receptores.

O acesso aos dados, na maioria das vezes, é restrito a clientes ou disponibilizados em arquivos cujos formatos limitam o processamento apenas a programas do fabricante do equipamento.

A Figura 9.1 apresenta as estações ativas mantidas pela empresa Santiago & Cintra Imp. e Exp. Ltda. Destas, 10 estações já foram homologadas pelo IBGE (www.Santiagoocintra.com.br, acesso em 15/07/2004)

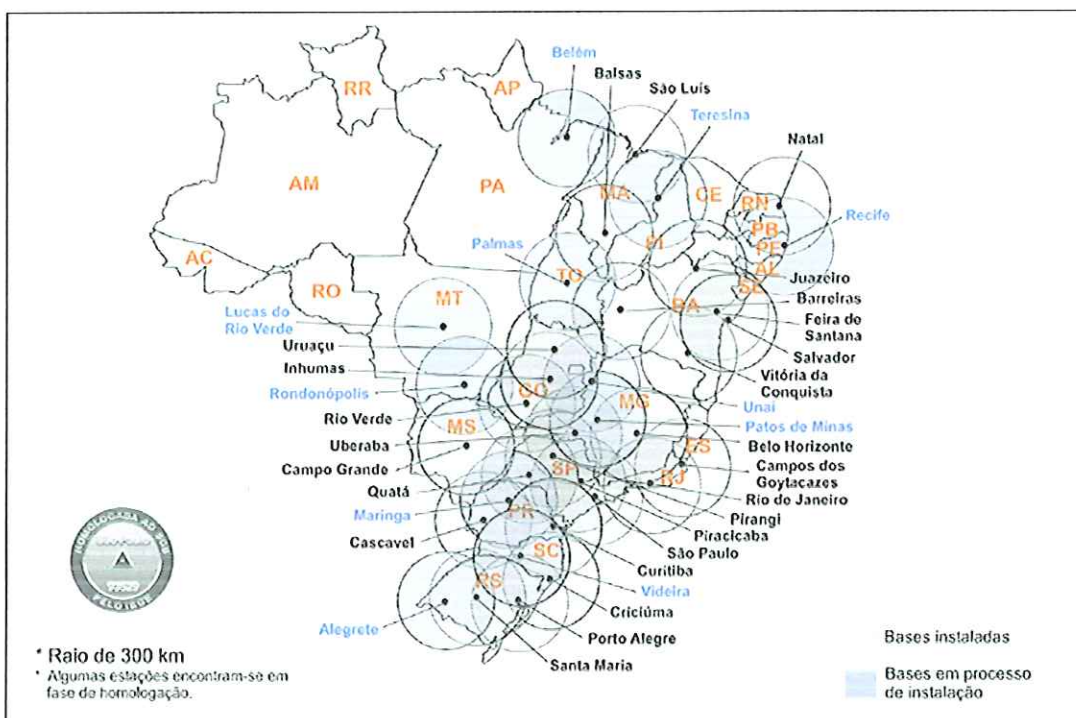


Figura 9.1: Estações ativas da Empresa Santiago & Cintra Imp. e Exp. Ltda.
 Fonte: Santiago & Cintra (2004)

A Figura 9.2. apresenta estações mantidas pela empresa Manfra & Cia Ltda.

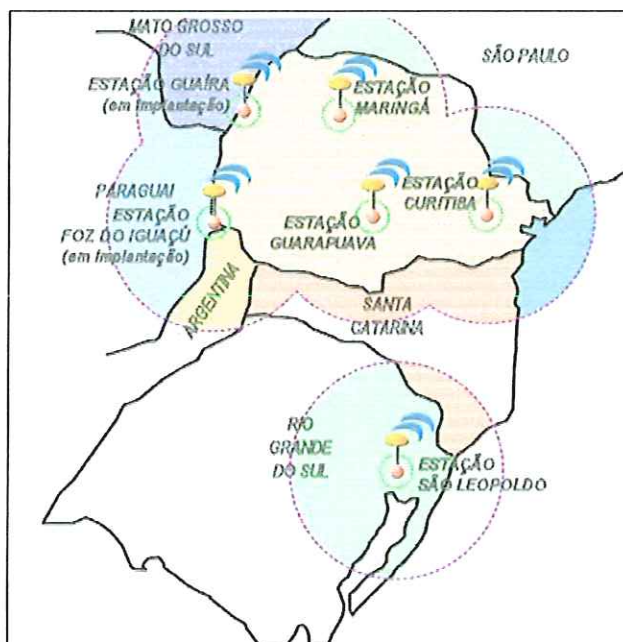


Figura 9.2: Estações ativas disponibilizadas pela Manfra & Cia Ltda.
 Fonte: Empresa Manfra & Cia Ltda (2004).

Outros exemplos são as estações de São Carlos (SP) e São José do Rio Preto (SP), mantidas pela Empresa Wild Comercial (PEIXOTO, 2004)²⁵ e Belo Horizonte, mantida pela Geomat Soc. e Com. Ltda (SANTOS, 2004)²⁶.

9.2 - Operacionalidade das Redes Ativas

Identificam-se a seguir, as características das estações ativas que influenciam na sua operacionalidade:

- Garantia de funcionamento;
- Ambiente circundante;
- Tipo de Receptor;
- Densidade.

O funcionamento contínuo é condição fundamental para que a estação possa ser utilizada. A estação deve dispor de equipamento, local adequado, infra-estrutura e pessoal capacitado para operação e manutenção que possibilite o mínimo possível de interrupções.

A disponibilidade imediata dos dados, preferencialmente por acesso remoto via internet, é altamente desejável para a operacionalização dos levantamentos cadastrais. É importante que os dados sejam disponibilizados em formato RINEX, para que possam ser processados livremente por programas de qualquer fabricante. Nas estações comerciais, na maioria das vezes, os dados são disponibilizados apenas no formato do fabricante e para clientes da empresa que mantém a estação. Algumas exceções existem, como no caso da empresa Manfra & Cia Ltda que disponibiliza dados no formato RINEX (Manfra & Cia Ltda, 2004).

Pereira et al (2003) apresentam indicadores para qualificar o desempenho das estações ativas, os quais são utilizados para avaliar estações da RBMC. São eles:

- 1- Índice de Perda de dados;
- 2- Multicaminhamento na portadora L1 (MP1);
- 3- Multicaminhamento na portadora L2 (MP2);
- 4- Drift (deriva do relógio do receptor).

²⁵ PEIXOTO, R. (2004). (Empresa Wild Comercial e Importadora Ltda). Mensagem eletrônica pessoal recebida por gcorrea@sc.usp.br em 29 jun.

²⁶ SANTOS, F. R. (2004). (Empresa Geomat Sociedade e Comércio Ltda). Mensagem eletrônica pessoal recebida por gcorrea@sc.usp.br em 29 jun.

O Índice de perda de dados – porcentagem de dias no ano em que a estação apresenta dados disponíveis para uso - constitui-se em um importante indicativo da qualidade da manutenção e operação da estação.

O gráfico da Figura 9.3 apresenta a perda de dados da estação VICO, que apresentou o melhor desempenho no ano de 2002, entre todas as estações da RBMC, com mais de 90 % dos dados disponibilizados.

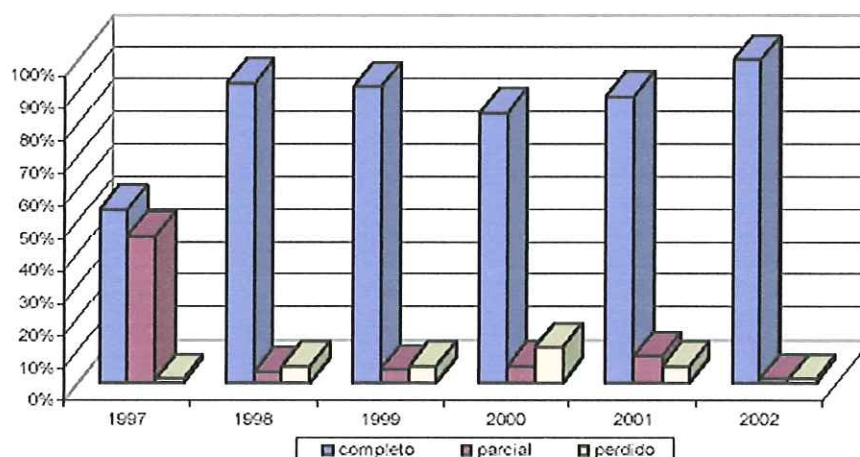


Figura 9.3: Índice de perda de dados da estação Viçosa (VICO).
Fonte: Pereira et al (2003).

O gráfico da Figura 9.4 apresenta a perda de dados da estação BOMJ, que apresentou o pior desempenho no ano de 2002, entre todas as estações da RBMC, com mais de 80 % dos dados perdidos.

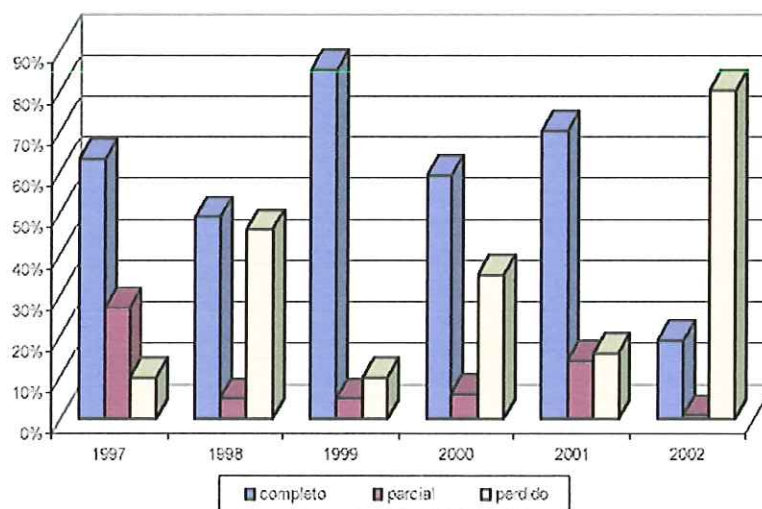


Figura 9.4: Índice de perda de dados da estação Bom Jesus da Lapa (BOMJ)
Fonte: Pereira et al, 2003.

O **Multicaminhamento na portadora L1 (MP1)** e **Multicaminhamento na portadora L2 (MP2)** e **Drift** (erro do relógio do receptor), estão relacionados com a qualidade do receptor e as características do ambiente onde a estação está localizada. A Tabela 9.1 apresenta os indicadores MP1, MP2 e Drift da estação PARA (Curitiba) da RBMC, de acordo com Pereira et al, 2003.

Tabela 9.1: indicadores MP1, MP2 e Drift da Estação PARA.
Fonte: Pereira et al (2003).

Ano	MP1 (m)	MP2(m)	Drift (ms)
1996	0,237	0,739	-37,278
1997	0,236	0,691	-24,942
1998	0,237	0,778	-27,010
1999	0,238	0,814	-24,866
2000	0,232	0,808	-24,288
2001	0,234	0,849	-22,216

Como já foi discutido neste trabalho, o **tipo de receptor** utilizado na estação ativa também influencia na distância máxima de abrangência das estações. Receptores L1/L2 permitem vetores maiores que os receptores L1.

A densidade das redes ativas influencia no tempo de rastreamento e, portanto, também na sua operacionalidade.

Apresenta-se, a seguir, uma simulação onde se compara o tempo gasto para a implantação de uma base topográfica com uso e sem uso de estações ativas, tendo como apoio redes de referências de diferentes densidades. Considerou-se a necessidade de medições a partir de no mínimo dois pontos da rede de apoio para se implantar um novo ponto e tempo de rastreamento de acordo com as Normas de Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA.

Os resultados estão apresentados na Tabela 9.2 e no gráfico da Figura 9.5.

Tabela 9.2: Tempo de implantação de uma base a partir de redes de convencionais e redes ativas

	Redes convencionais			Redes ativas		
	300 km	150 km	40 km	300 km	150 km	40 km
Densidade da rede	300 km	150 km	40 km	300 km	150 km	40 km
Número de vetores levantados	4	4	4	4	4	4
Número de vértices ocupados	4	4	4	2	2	2
Tipo de receptor	L1 / L2	L1 / L2	L1	L1 / L2	L1 / L2	L1
Tempo de rastreamento	16 h	8 h	2 h	8h	4 h	1 h
Deslocamento aos vértices da rede	8 h	4 h	1 h	0 h	0 h	0 h
Tempo total	24 h	12 h	3 h	8h	4 h	1 h

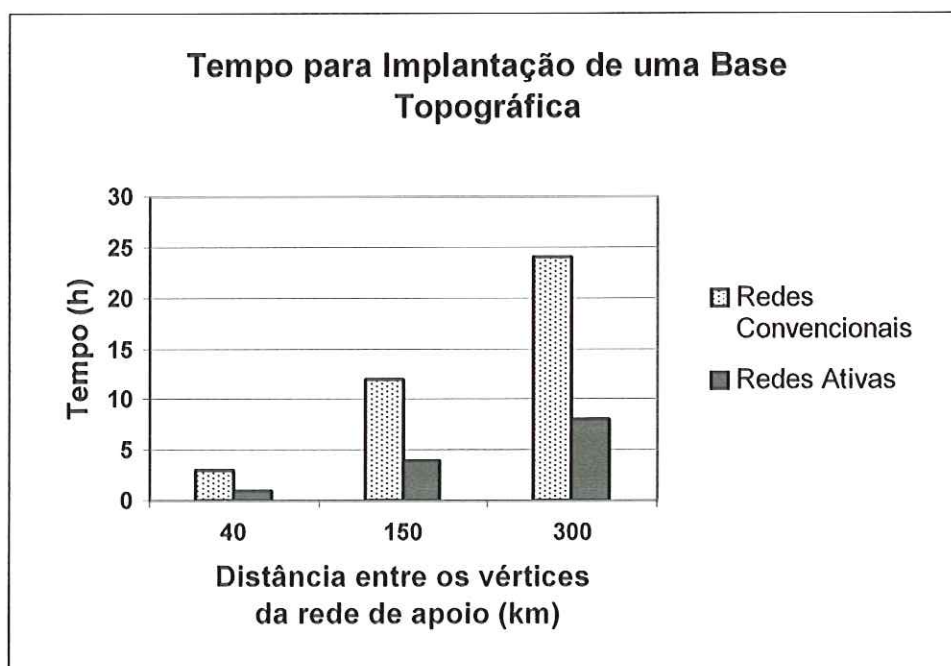


Figura 9.5: Comparação entre redes convencionais e redes ativas.

Verifica-se que a utilização de estações ativas diminui significativamente o tempo necessário para a implantação de uma base topográfica (cerca de 1/3 do tempo das redes convencionais considerando as densidades estudadas). Além disso, requer o uso de apenas um receptor diminuindo o investimento em equipamentos.

A Tabela 9.3 dispõe as redes ativas de acordo com a sua classe de operacionalidade, permitindo a comparação com as redes convencionais.

Tabela 9.3: Classes de operacionalidade das redes convencionais e redes ativas

Classe de Operacionalidade	Expectativa de tempo para implantação de uma base	Redes convencionais			Redes ativas		
		Rede 40 km	Rede 150 km	Rede 300 km	Rede 40 km	Rede 150 km	Rede 300 km
1- Ótima	Até 5 horas (1 turno)	█	-----	-----	█	█	-----
2- Boa	Até 12 horas (1 dia)	█	█	-----	-----	-----	█
3- Regular	Até 24 horas (2 dias)	-----	█	█	-----	-----	-----
4- Ruim	Acima de 24 horas (2 dias)	-----	-----	█	-----	-----	-----

Em qualquer situação, as redes ativas apresentam boa ou ótima operacionalidade, de acordo com o critério de avaliação desenvolvido.

É importante salientar que o tempo de rastreamento para vetores superiores a 100 km, utilizado nas simulações realizadas (4 horas por vetor, de acordo com o INCRA,

2003), pode ser considerado conservador em demasia, segundo testes realizados por Veronez (2004)²⁷. Menor tempo de rastreamento poderia, portanto, ser utilizado e, desta forma, mesmo redes ativas de baixa densidade, como a RBMC, com espaçamento entre vértices superiores a 500 km, enquadrar-se-iam na classe de operacionalidade ótima (Tabela 9.3), permitindo a implantação de bases topográficas em tempo inferior a um turno de trabalho.

²⁷ VERONEZ, M. R. (2004). (Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS. Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia). Comunicação pessoal.

10- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1 - Conclusões

Os resultados mostraram que a operacionalidade deve ser utilizada como mais um critério para avaliar redes de apoio ao cadastro rural, considerando a atual legislação brasileira. Essa afirmação está fundamentada na pesquisa de atribuição de pesos, nas simulações apresentadas e no modelo de obtenção do índice de operacionalidade que indicam a existência de uma relação entre as características da rede e os custos dos levantamentos cadastrais. Aceita-se, portanto, a primeira hipótese apresentada (ver página 10).

Na segunda hipótese, postulou-se que a operacionalidade poderia ser expressa em função dos atributos dos vértices. O trabalho deixou claro que, além dos **atributos dos vértices**, a Operacionalidade depende também da **densidade** da rede.

A relação de atributos selecionados para representar a operacionalidade da rede, apesar de reduzida em número, pode ser considerada abrangente. Na pesquisa com os profissionais, ao serem solicitados para apresentarem atributos diferentes daqueles relacionados, apenas 15, de um total de 100, sugeriram novos atributos, os quais, na avaliação do autor, já tinham sido contemplados pela relação apresentada. Ao longo do trabalho demonstrou-se, ainda, a possibilidade de quantificar a influência dos diversos atributos na operacionalidade permitindo a obtenção de um Índice que pode servir de parâmetro para projetos de novas redes. Aceita-se, portanto, a terceira hipótese apresentada.

Testes realizados sugeriram a possibilidade de implantação de bases de apoio topográfico a partir de "vértices duplos". Esse fato aponta para a comprovação da Hipótese 4 - *a precisão posicional exigida pela legislação permite uma solução de compromisso entre a maximização da precisão das coordenadas e a obtenção de uma rede que forneça o apoio mais econômico*. Nesse caso, apesar da geometria considerada não ideal, obtiveram-se as coordenadas dentro da precisão posicional

exigida. Foram realizados testes apenas para redes com afastamento máximo de 40 km entre vértices.

Verificou-se, portanto, a plena consecução do objetivo desta pesquisa, qual seja: *desenvolver e introduzir a operacionalidade como mais um critério para avaliar redes de apoio ao cadastro rural, considerando a atual legislação brasileira.*

Destaca-se ainda:

- Redes da ordem de 40 km entre pontos são as mais operacionais, porque proporcionam o menor tempo de rastreamento e requerem receptores de uma frequência. Para grande parte do Estado de São Paulo e, naturalmente, outras regiões do Brasil com características semelhantes, uma distribuição de vértices por municípios pode ser uma alternativa, uma vez que apresenta as mesmas características de acessibilidade e operacionalidade.
- Ao comparar a RBMC com as Redes GPS Estaduais, a primeira, por ser ativa, apresenta menor dispêndio de tempo na implantação de bases de apoio para o cadastro rural, demonstrando sua maior operacionalidade. Em ambas, necessita-se de receptores de dupla frequência.
- A análise da operacionalidade em redes ativas mostrou que elas requerem apenas 1/3 do tempo na implantação de bases topográficas, quando comparadas com as redes convencionais. Foram analisadas redes com espaçamentos de 40 km, 150 km e 300 km entre seus vértices, sendo observadas as prescrições da Norma Técnica de Georreferenciamento do INCRA.
- Considerando estritamente as recomendações das Normas Técnicas de Georreferenciamento do INCRA, para vetores maiores que 100 km, o dispêndio de tempo para a implantação de uma base de apoio topográfico não diminui com o aumento da densidade da rede. Isso significa que a RBMC, por exemplo, com 15 estações, é tão operacional quanto a RIBAC, com 44 estações, se estas operassem com receptores de dupla frequência.

10.2 - Recomendações

» Na pesquisa de atribuição de “pesos” constatou-se que os profissionais e pesquisadores entrevistados separam o atributo LOG — Logística, Conforto e Segurança — dos demais, imputando-lhe de maneira inequívoca uma menor importância para a operacionalização dos levantamentos dos imóveis rurais. Por outro lado, os testes não permitem separar as distribuições dos atributos ACE, AMB, MON e INT, mas os dados sugerem que um possível aperfeiçoamento no método de seleção dos entrevistados, bem como no procedimento de entrevista, poderia “filtrar” mais adequadamente os ruídos advindos da subjetividade, explicitando mais adequadamente as opiniões dos profissionais e estudiosos entrevistados. O alto índice de rejeição dos questionários sugere que ajustes devem ser feitos no questionário ou no procedimento de entrevista com os profissionais. Esse fato justifica um aprofundamento nas pesquisas.

» Como se verificou ao longo deste trabalho, o método para o cálculo do índice de Operacionalidade foi desenvolvido considerando basicamente o sistema GPS. Embora reconhecendo que a implantação de pontos de apoio aos levantamentos dos imóveis deverá dar-se quase que na totalidade das vezes usando o GPS, recomenda-se a conclusão dos estudos objetivando definir qual a densidade ideal das redes de apoio para uso da topografia convencional.

» No desenvolvimento do Índice de Operacionalidade, adotaram-se as recomendações de tempo de rastreamento propostas pelas normas técnicas de georreferenciamento de imóveis rurais do INCRA. Esses valores, contudo, são discutíveis. Conforme já mencionado, resultados de processamentos efetuados a partir de dados da RBMC apontam para a possibilidade de obtenção das coordenadas com precisão compatível com o cadastro rural, empregando-se menor tempo de rastreamento. Recomenda-se, portanto, o aprofundamento dos estudos para se determinar o tempo mínimo de rastreamento em função dos comprimentos dos vetores.

11 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo tem como objetivo apresentar comentários sobre os temas desenvolvidos nesta tese, inserindo-os na situação atual do cadastro rural no Brasil. Contém opiniões pessoais do autor, sedimentadas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

É indiscutível a aceitação da idéia de que a Lei 10.267 significa um marco extremamente importante para o sistema de cadastro territorial rural brasileiro. Certamente, a plena aplicação da Lei aumentará a garantia do proprietário, permitindo cada vez mais que se conheça a real situação territorial do Brasil, evitando grilagens e possibilitando um gerenciamento mais eficiente do nosso território. É inegável, contudo, que o aumento de custos advindos das exigências da Lei pode significar um empecilho ao seu atendimento. Conforme foi mostrado no Capítulo 3, vários autores do Brasil e do mundo afirmam que, se os custos dos procedimentos para atender uma Lei são muito altos e não condizentes com os direitos que ela resguarda, começarão a surgir procedimentos marginais com o intuito de burlá-la.

O aparecimento do GPS tem, muitas vezes, levado ao entendimento que ele substituirá a topografia convencional (Estação Total) como método mais utilizado no levantamento de propriedades rurais. Esse entendimento tem se revelado, na prática, através de ações que objetivam criar uma estrutura geodésica para apoio direto aos levantamentos cadastrais, a partir de uma única estação de referência. Exemplos disso são algumas redes ativas comerciais conforme mostrado no Capítulo 9 e mesmo a RIBAC – INCRA, descrita no Capítulo 4. Busca-se uma solução de baixo custo, o que é legítimo, uma vez que custo adequado é um dos pressupostos básicos para o bom funcionamento do sistema cadastral, mas corre-se o risco de que tal solução seja desprovida do rigor técnico necessário para garantir o rigor geométrico nos levantamentos, que afinal é um dos objetivos principais da Lei 10.267.

Conforme abordado no item 4.2, tecnicamente é necessário alguma forma de verificação para que o responsável pelo levantamento possa garantir, dentro de algum

grau de certeza (probabilidade), a correção das determinações. O levantamento a partir de um único ponto de apoio não possibilita que essa verificação seja realizada, sendo necessárias medições a partir de outro ponto da rede de apoio.

Deve-se salientar que a responsabilidade pelo levantamento é unicamente do profissional habilitado para tal. Ademais, a utilização do sistema GPS nos levantamentos das divisas dos imóveis rurais, usando técnicas cuja precisão esteja no limiar da tolerância posicional exigida pela legislação, é possível apenas em imóveis onde se podem ocupar todos os vértices. Imóveis que oferecem essa possibilidade, contudo, são exceções. Na maioria das vezes, torna-se impraticável o levantamento total do imóvel apenas com o uso do GPS, devido a ocorrência de divisas cobertas por vegetação densa ou constituídas de rios e ribeirões extremamente irregulares e cobertos com mata ciliar. Nesse caso deve-se realizar o levantamento combinando-se GPS com Estação Total, requerendo que as coordenadas obtidas com o GPS sejam compatíveis com pontos de controle cuja precisão está estabelecida na Norma Técnica.

Os fatos acima parecem demonstrar que, na maioria dos casos, os levantamentos dos limites de imóveis rurais continuarão sendo executados por topografia convencional, apoiados em bases topográficas implantadas com o uso GPS. Se aceitarmos que os levantamentos de imóveis rurais por topografia convencional têm custos perfeitamente conhecidos e já assimilados pelo sistema de cadastro rural brasileiro, chega-se ao entendimento de que o custo do georreferenciamento constitui-se em ônus adicional imposto pela Lei 10.267, como contrapartida para todos os benefícios que ela proporciona. É necessário que todos os envolvidos com o cadastro rural no Brasil aceitem esse fato e busquem, em conjunto, soluções na definição, implantação e manutenção de uma estrutura de apoio geodésico que possibilite o georreferenciamento dos imóveis rurais a um custo que possa ser absorvido pelo sistema cadastral, sem, contudo, abrir mão da técnica adequada para fazê-lo.

Avalia-se que o presente trabalho de Doutorado trouxe importantes contribuições, as quais ajudam a compreender a forma como as redes de apoio interferem nos custos do georreferenciamento e podem auxiliar na definição de elementos balizadores para políticas de implantação de redes de apoio ao cadastro rural.

12 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKOFF, L. R. (1972). *O planejamento da pesquisa social*. Tradução de Leônidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. São Paulo: Editora Herder.

ALVES-MAZZOTTI, A. J. ; GEWANDSZNAJDER, F.; (2001). *O método nas ciências naturais e sociais – pesquisa quantitativa e qualitativa*. São Paulo: Pioneira.

AMORIM, G. P. (2004). *Confiabilidade de rede GPS de referência cadastral municipal. Estudo de caso: rede do município de Vitória (ES)*. 150 p. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). *NBR 13133, Execução de Levantamento Topográfico - procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998). *NBR 14166, Rede de referência cadastral municipal - procedimento*. Rio de Janeiro.

BRANDÃO, A. ; CARNEIRO, A. F. ; ROCHA, R. ; PINTO, M. M. ; PHILIPS, J. (2000). *A inconsistência métrica/cartográfica na atual legislação territorial brasileira*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 4. Florianópolis, 2000. Anais (CD-ROM). Florianópolis.

BRASIL (1850). Lei nº 601, de 18/09/1850. Disponível em www.planalto.gov.br. Acesso em 19/12/2004.

BRASIL (1934). Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil, de 16/07/1934. Disponível em www.planalto.gov.br. Acesso em 18/12/2004.

BRASIL (1946). Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil, de 18/09/1946. Disponível em www.planalto.gov.br. Acesso em 19/12/2004.

BRASIL (1964). Lei nº 4.504 de 30/11/1964. Disponível em www.planalto.gov.br. Acesso em 19/12/2004.

BRASIL (1970). Decreto-Lei nº 1.110 de 09/07/1970. Disponível em www.incra.gov.br. Acesso em 19/12/2004.

BRASIL (1972). Lei nº 5.868 de 12/12/1972. Disponível em www.planalto.gov.br. Acesso em 19/12/2004.

BRASIL (1973). Decreto nº 72.106 de 18/04/1973. Disponível em www.incra.gov.br. Acesso em 19/12/2004.

BRASIL (1973). Lei nº 6.015 de 31/12/1973. Disponível em www.planalto.gov.br. Acesso em 19/12/2004.

BRASIL (2001). Lei 10.267, de 28/08/2001. Altera dispositivos das Leis nºs 4.947, de 06/04/1996, 5.868 de 12/12/1972, 6.015 de 31/12/1973, 6.739 de 05/12/1979, 9.393 de 16/12/1966 e dá outras providências. Disponível em: [http:// www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br). Acesso em 21/03/2003.

BRASIL (2002). Decreto 4.449, de 30/10/2002. Regulamenta a Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001. Disponível em: [http:// www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br). Acesso em 21/03/2003.

CARNEIRO, A. F. T. (2000). *Uma proposta de reforma cadastral visando a vinculação entre o cadastro e o registro de imóveis*. 175p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2000.

CARNEIRO, A. F. T. ; LOCH, C. (1999). *Tendências e aspectos influentes nos sistemas cadastrais atuais*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 19. Recife/Olinda, 1999. Anais (CD-ROM). Recife/Olinda.

CARNEIRO, A. F. T., LOCH, C., JACOMINO, S. (2001). *O projeto de lei 3242/2000: considerações sobre a criação do CNIR - cadastro nacional de imóveis rurais*. In XX

CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Porto Alegre, 2001. Anais (CD-ROM). Porto Alegre.

CHATFIELD, C. (1998). *Statistics for technology*. Chapman & Hall/CRC.

ERBA, D. A. (1995). *A importância dos aspectos jurídicos no Cadastro Técnico Multifinalitário*. 83p. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1995.

FACULDADE DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA DE PIRASSUNUNGA. (2004). *Legislação e georreferenciamento*. Versão 1.1. CD-ROM. Pirassununga, SP.

FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE GEÔMETRAS – FIG. (1995). *Statement on the Cadastre*. Obtido em http://www.fig7.org.uk/publications/cadastre/statement_on_cadastre.html. Acesso em 14/01/2004.

FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE GEÔMETRAS. (1995). *Statement on the Cadastre*. Disponível em: http://www.fig7.org.uk/publications/cadastre/statement_on_cadastre.html. Acesso em 31/08/2004.

FERREIRA, A. B. H. (1999). *Dicionário Aurélio Eletrônico - Século XXI*. Versão 3.0. Nova Fronteira & Lexikon Informática. CD-ROM.

FONSECA JR, E. S. (1996). *Estudo e Avaliação Metodológica da Rede GPS do Estado de São Paulo*. São Paulo. 120p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

GOTO, M. (2000). *Uma análise de acessibilidade sob a ótica da equidade: o caso da região metropolitana de Belém*. São Carlos. 77 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos 2000.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. (1997). *GPS- theory and practice*. New York: Springer-WienNew York.

HOUAISS, A. (2001). *Dicionário eletrônico Houaiss da língua portuguesa*. Versão 1.0. Editora Objetiva. CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (1989). Resolução n.º 23 – Apêndice II – Parâmetros para transformação de sistemas geodésicos. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/rpr.pdf>. Acesso em 30/04/2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (1996). *Ajustamento da rede planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro - Relatório técnico*. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/REL_sad69.pdf acesso em 07/11/2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2003). Redes GPS Estaduais. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 de dez.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. (2002). *Portaria n.º 954*, de 13 de novembro de 2002. Disponível em <http://www.incra.gov.br/>. Acesso em 14/05/2004.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. (2003). *Normas técnicas para georreferenciamento de imóveis rurais*. Disponível em: <http://www.incra.gov.br>. Acesso em 14/05/2004.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. (2004). Rede Incra de bases comunitárias do GPS. Disponível em: <http://ribac.incra.gov.br/entrada/>. Acesso em: 07 de Abril.

KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. (1998). *Cadastre 2014- A Vision For a Future Cadastral System*. FIG, Commission 7. Disponível em: <http://www.swisstopo.ch/fig-wg71/cad2014/cad2014/titlepage.htm>, acesso em 20/06/2002.

KUANG, S. (1996). *Geodetic network analysis and optimal design*. Chelsea: Ann Arbor Press, Inc.

LAROCCA, A. P. C. (2000). *Análise de Estratégias para processamento de redes geodésicas com o sistema GPS*. São Carlos. 203 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

- LEICK, A. (2004). *GPS satellite surveying*. 3ª Edição. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- LIMA, O.; PHILIPS, J. (2000). *A importância do cadastro no processo civilizatório*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 4. Florianópolis, 2000. Anais (CD-ROM). Florianópolis.
- LIMA, R. S. (1998). *Expansão urbana e acessibilidade: o caso das cidades médias brasileiras*. São Carlos. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.
- MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. (2002). *Noções de probabilidade e estatística*. São Paulo: Edusp.
- MANFRA & CIA LTDA. (2004). *Bases GPS*. Disponível em <www.manfra.com.br>. Acesso em: 07 de jul.
- MCCLAVE, J. T.; DIETRICH II, F. H.; SINCICH, T. (1997). *Statistics*. Seventh Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- MONICO, J. F. G. (2000). *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS- descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: Editora Unesp.
- NOGUEIRA, O. (1973). *Pesquisa social: introdução às suas técnicas*. São Paulo: Companhia Editora nacional.
- PARKINSON, B. W.; SPILKER JR., J. J. (1996a). *Global Positioning System: Theory and Applications*. Vol I. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- PEREIRA K. D., FAZAN, J. A.; FORTES, L. P. S. (2003). *RBMC: sete anos fornecendo referência a posicionamentos GPS no Brasil e no exterior*. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. Belo Horizonte, 2003. Anais (CD-ROM). Belo Horizonte.

PESSANHA, R. R. et al. (2003). *The cadastre of rural immovables in Brazil as a juridical base for guarantee of the property*. In: 2nd Cadastral Congress. Krakow, 2003. <Disponível em: <http://www.oicrf.org/>> Acesso em: 31/08/2004.

RAMOS, R. A. R.; RODRIGUES, D. S.(2002). *Uma introdução às técnicas de avaliação multicritério para planejamento urbano territorial e de transportes*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. Trabalho produzido para um curso ministrado no Departamento de Transportes.

REA, L. M.; PARKER, R. A.; (2002). *Metodologia da pesquisa: do planejamento à execução*. Tradução de Nivaldo Montingelli Jr. São Paulo: Pioneira.

RODRIGUES, D. D. (2002). *Rede geodésica de precisão do Estado de Minas Gerais: avaliação de diferentes estratégias de processamento e ajustamento*. São Paulo, 223 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002. Disponível em<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-06122002-115813/>>. Acesso em 30/10/2003.

SAATY, T. L. (1990). *The analytic hierarchy Process*. Pittsburg: RWS Publications.

SALGADO, G.; BERNARDY, R. G.; LOCH, C.; PHILIPS, J. (2000). *Considerações sobre o Cadastro Técnico Rural no Brasil*. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 4. Florianópolis, 2000. Anais. (CD-ROM). Florianópolis.

SANTIAGO & CINTRA IMP. E EXP. LTDA. (2004). *Estações Ativas*. Disponível em: <www.santiagoecintra.com.br >. Acesso em:30 de jun.

SÃO PAULO: mapa rodoviário do Estado de São Paulo. (2001). São Paulo: Departamento de Estradas de Rodagem. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000.

SCHAAL, R. E. (1995). *Efeitos da refração na atmosfera em observações geodésicas próximas ao solo*. São Paulo, 120 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

SCHRADER, A. (1978). *Introdução à pesquisa social empírica*. Porto Alegre: Editora Globo.

SEEBER, G. (1993). *Satellite geodesy - foundations, methods, and applications*. Berlin: Walter de Gruyter.

SEGANTINE, P. C. L. (1995). *Estabelecimento e ajustamento de uma rede geodésica GPS no estado de São Paulo utilizando o sistema NAVSTAR/GPS*. São Paulo. 216 p. (Tese de doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

SILVA, H. H. et al. (2001). *Rede estadual de alta precisão de pontos por GPS Estado do Rio Grande do Sul*. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Porto Alegre, 2001. Anais (CD-ROM). Porto Alegre.

SIRGAS – SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS. (1994). Boletim informativo nº 1. <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/pdf/bol_001.pdf> Acesso em 06/04/2004.

SIRGAS – SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS. (2002). *Boletim informativo nº 7* <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/pdf/bol_007.pdf> Acesso em: 06/04/2004.

STRANG, G. (1993). *Introduction to linear algebra*. Wellesley:Cambridge Press.

UNITED NATIONS. (1996). *Bogor Declaration on Cadastral Reform*. Report from United Nations Interregional Meeting of Experts on the Cadastre. UN, FIG. Bogor. Indonésia, 1996. Disponível em <<http://www.fig7.org.uk/publications/Bogor/BogorDeclaration.html>>. Acesso em 14/01/2004.

VASCONCELLOS, J. C. P.; D, BLITZKOW; CINTRA, J. P.; NETTO, N. P. (1999). Redes geodésicas estaduais GPS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 19, 1999, Recife/Olinda. Anais (CD-ROM). Recife/Olinda.

WILLIAMSON, I. (2001). *The evolution of modern cadastres*. In: International Conference - FIG Working Week, 2001, Seoul, Korea. Disponível em <<http://www.oicrf.org/>>. Acesso em 15/01/2004.

WOLF, P. R. (1980). *Adjustment computations: practical least squares for surveyors*.
Monona: P.B.L. Publishing co.

ZEVENBERGEN, J. (2000). *Land registration, transaction costs and the land market –
Proceedings UDMS 2000. Delft*. Disponível em <<http://www.oicrf.org/>>. Acesso em
15/01/2004.

**ANEXO A - QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA PESQUISA DE
ATRIBUIÇÃO DE PESOS**

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – USP
Pós-graduação em Transportes - Área de Mensuração
Pesquisa sobre operacionalidade de redes de apoio imediato para cadastro rural

Doutorando: Genival Corrêa de Souza
 Orientador: Prof. Ricardo Ernesto Schaal

Entrevistado:	
Formação profissional:	
Data:	

Esta pesquisa tem por objetivo avaliar a influência relativa de atributos de pontos de redes geodésicas na rapidez de execução do georeferenciamento de imóveis rurais.

Considere os seguintes atributos:

1. **Acessibilidade** - Menor tempo de deslocamento para se chegar ao ponto de apoio significa maior rapidez no levantamento.
2. **Ambiente Circundante (GPS)** - As características do ambiente em torno do ponto podem dificultar os levantamentos com GPS. A situação ideal é que o ambiente seja livre de obstáculos que possam bloquear ou dificultar a coleta de dados.
3. **Intervisibilidade (Estação Total)** – Nos levantamentos à Estação Total, a visada para um outro ponto da rede ou um ponto de azimute é fundamental para a orientação dos levantamentos, facilitando o geo-referenciamento.
4. **Monumento e Documentação** – Documentação (monografia) adequada com informações claras para acesso bem como as características do monumento utilizado para materializar o ponto da rede, podem permitir a rápida localização do ponto e rápida execução do levantamento. As características do monumento são importantes também para a estabilidade e perenidade do ponto.
5. **Logística, Conforto e Segurança** – A localização de pontos próximos a centros comerciais, restaurantes e em ambiente que ofereça um certo conforto e segurança durante a ocupação podem influenciar na rapidez dos levantamentos.

Com base no seu conhecimento e experiência, você deve comparar, **dois a dois**, os atributos acima, obedecendo as convenções apresentadas no quadro a seguir:

Grau de Importância Relativa	Valor a atribuir	Explicação
De Igual importância	1	Os dois atributos contribuem de forma idêntica para a rapidez nos levantamentos.
Ligeiramente mais importante	3	A análise e a experiência mostram que um atributo é ligeiramente mais importante para a rapidez nos levantamentos.
Significativamente mais importante	5	A análise e a experiência mostram que um atributo é significativamente mais importante para a rapidez nos levantamentos.
Fortemente mais importante	7	A maior importância de um atributo em relação ao outro pode ser demonstrada na prática
Extremamente mais importante	9	Sem qualquer dúvida um dos atributos é absolutamente predominante para a rapidez nos levantamentos.

Veja como proceder:

Ao comparar os atributos “**Acessibilidade**” e “**Ambiente Circundante**”, se você acha que o atributo “**Acessibilidade**” é **Fortemente** mais importante que o atributo “**Ambiente Circundante**”, então você deve escrever o valor “**7**” no espaço em branco ao lado do atributo “**acessibilidade**”. O espaço ao lado do atributo “**Ambiente circundante**” deve ficar em branco, ou seja:

7	ACESSIBILIDADE	comparada com	AMBIENTE CIRCUNDANTE	
---	----------------	---------------	----------------------	--

Se, ao contrário, você acha que o atributo “**Ambiente Circundante**” é **fortemente** mais importante que o atributo “**acessibilidade**” então deve escrever o valor “**7**” ao lado do atributo “**Ambiente Circundante**”, deixando em branco o espaço ao lado do atributo “**acessibilidade**”:

	ACESSIBILIDADE	comparada com	AMBIENTE CIRCUNDANTE	7
--	----------------	---------------	----------------------	---

Para o caso de se atribuir o valor "1" (de igual importância), utilize o espaço ao lado de qualquer dos atributos, isto é:

1	ACESSIBILIDADE	comparada com	AMBIENTE CIRCUNDANTE	
----------	-----------------------	---------------	-----------------------------	--

ou

	ACESSIBILIDADE	comparada com	AMBIENTE CIRCUNDANTE	1
--	-----------------------	---------------	-----------------------------	----------

Utilize o quadro abaixo para fazer a devida comparação dos atributos, de acordo com as instruções apresentadas.

Tabela de Comparação

1	ACESSIBILIDADE	AMBIENTE CIRCUNDANTE	
	ACESSIBILIDADE	INTERVISIBILIDADE	
	ACESSIBILIDADE	MONUMENTO E DOCUMENTAÇÃO	
	ACESSIBILIDADE	LOGÍSTICA, CONFORTO E SEGURANÇA	
	AMBIENTE CIRCUNDANTE	INTERVISIBILIDADE	
	AMBIENTE CIRCUNDANTE	MONUMENTO E DOCUMENTAÇÃO	
	AMBIENTE CIRCUNDANTE	LOGÍSTICA, CONFORTO E SEGURANÇA	
	INTERVISIBILIDADE	MONUMENTO E DOCUMENTAÇÃO	
	INTERVISIBILIDADE	LOGÍSTICA, CONFORTO E SEGURANÇA	
	MONUMENTO E DOCUMENTAÇÃO	LOGÍSTICA, CONFORTO E SEGURANÇA	

De Igual importância	Ligeiramente mais importante	Significativamente e mais importante	Fortemente mais importante	Extremamente mais importante
1	3	5	7	9

Se, na sua opinião, existem outros atributos dos pontos de uma rede que podem contribuir para a rapidez do geo-referenciamento do imóvel a ser cadastrado, por favor, enumere-os.

7 -

8 -

9 -

Se você enumerou outro(s) atributo(s), por favor compare-o(s) com o atributo “**acessibilidade**”, atribuindo valores de acordo com convenções utilizadas.

	ACESSIBILIDADE	comparada com	ATRIBUTO 6	
	ACESSIBILIDADE	comparada com	ATRIBUTO 7	
	ACESSIBILIDADE	comparada com	ATRIBUTO 8	

Para observações e comentários, por gentileza, use o espaço abaixo.

Observações:

Muito obrigado,

Genival Corrêa de Souza

ANEXO B - PROGRAMA PARA CÁLCULO DE PESOS

'Declaração de variáveis'

Dim QUES(10, 2) As Double 'Recebe valores do questionário'

Dim MTRIX(5, 5) As Double 'Matriz de comparação'

Dim M As Integer

Dim VETMAX(5) As Double 'Máximo autovetor'

Dim VET(5) As Double 'auto vetor'

Dim VALMAX As Double 'Máximo autovalor'

Dim NORM As Double 'variável auxiliar usada no cálculo de VETMAX'

Dim NORM1 As Double 'Variável auxiliar usada no cálculo de VETMAX'

Dim LINHA(5) As Double 'Variável auxiliar usada no cálculo de VETMAX'

Dim INCON As Double 'Índice de Consistência'

Dim GCON As Double 'grau de consistência'

Dim GRCON(200) As Double 'Grau de consistência'

Dim N(200) As Integer 'Ordem de procesamento dos questionários'

Dim NQUEST(200) As Integer 'Nome do questionário'

Dim ACE(200) As Double 'Peso do atributo Acessibilidade'

Dim AMB(200) As Double 'Peso do atributo Ambiente Circundante'

Dim INTER(200) As Double 'Peso do atributo Intervisibilidade'

Dim MON(200) As Double 'Peso do atributo Monumentação'

Dim LOG(200) As Double 'Peso do atributo Logística'

Dim I As Integer

Dim iatual

Dim iaceito

Dim SomaACE As Double 'Variável auxiliar para o cálculo da média'

Dim SomaAMB As Double 'Variável auxiliar para o cálculo da média'

Dim SomaINTER As Double 'Variável auxiliar para o cálculo da média'

Dim SOMQUACE As Double 'Variável auxiliar para o cálculo da média'

Dim SOMQUAMB As Double 'Variável auxiliar para o cálculo da média'

Dim SOMQUINTER As Double 'Variável auxiliar para o cálculo do desvio padrão'

Dim SOMQUMON As Double 'Variável auxiliar para o cálculo do desvio padrão'

Dim SOMQULOG As Double 'Variável auxiliar para o cálculo do desvio padrão'

Dim SomaMON As Double 'Variável auxiliar para o cálculo do desvio padrão'

Dim SomaLOG As Double 'Variável auxiliar para o cálculo do desvio padrão'

Dim ACEMédio As Double 'médias'

Dim AMBMédio As Double 'médias'

Dim INTERMédio As Double 'médias'

```
Dim MONMédio As Double 'médias
Dim LOMédio As Double 'médias
Dim DesvioACE As Double 'desvio padrão
Dim DesvioAMB As Double 'desvio padrão
Dim DesvioINTER As Double 'desvio padrão
Dim DesvioMON As Double 'desvio padrão
Dim DesvioLOG As Double 'desvio padrão
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
FileCopy "c:\genival\gcorrea\doutorado\questionários\resultados.txt",
"c:\genival\gcorrea\doutorado\questionários\ResultadosBACKUP.txt"
Open "c:\genival\gcorrea\doutorado\questionários\resultados.txt" For Input As
#1
I = 0
iatual = I + 1
Do While EOF(1) = False
Input #1, N(I)
Input #1, NQUEST(I)
Input #1, GRCON(I)
Input #1, ACE(I)
Input #1, AMB(I)
Input #1, INTER(I)
Input #1, MON(I)
Input #1, LOG(I)
I = I + 1
iatual = I
Loop
Close #1

M = 0
For I = 0 To 9 'Lê questionário'
For j = 0 To 1
QUES(I, j) = Val(Text1(M).Text)
M = M + 1
Next j
```

```
Next I
'Monta a matriz de comparação'
For I = 0 To 4
  For j = 0 To 4
    If I = j Then
      MTRIX(I, j) = 1
    End If
  Next j
Next I

MTRIX(0, 1) = QUES(0, 0)
MTRIX(1, 0) = QUES(0, 1)
MTRIX(0, 2) = QUES(1, 0)
MTRIX(2, 0) = QUES(1, 1)
MTRIX(0, 3) = QUES(2, 0)
MTRIX(3, 0) = QUES(2, 1)
MTRIX(0, 4) = QUES(3, 0)
MTRIX(4, 0) = QUES(3, 1)
MTRIX(1, 2) = QUES(4, 0)
MTRIX(2, 1) = QUES(4, 1)
MTRIX(1, 3) = QUES(5, 0)
MTRIX(3, 1) = QUES(5, 1)
MTRIX(1, 4) = QUES(6, 0)
MTRIX(4, 1) = QUES(6, 1)
MTRIX(2, 3) = QUES(7, 0)
MTRIX(3, 2) = QUES(7, 1)
MTRIX(2, 4) = QUES(8, 0)
MTRIX(4, 2) = QUES(8, 1)
MTRIX(3, 4) = QUES(9, 0)
MTRIX(4, 3) = QUES(9, 1)

For I = 0 To 4
  For j = 0 To 4
    If MTRIX(I, j) = 0 Then
      MTRIX(I, j) = 1 / MTRIX(j, I)
    End If
  Next j
```



```

Next I
'mostra a matriz de comparação'
M = 0
For I = 0 To 4
    For j = 0 To 4
        Text2(M).Text = MTRIX(I, j)
        M = M + 1
    Next j
Next I
'calcula o máximo auto vetor (pesos)'
M = 5
NORM = 0
For I = 0 To 4
    NORM1 = 1
    For j = 0 To 4
        NORM1 = NORM1 * MTRIX(I, j)
    Next j
    NORM = NORM + NORM1 ^ (1 / M)
    LINHA(I) = NORM1
Next I
For I = 0 To 4
    VETMAX(I) = ((LINHA(I)) ^ (1 / M)) / NORM
Next I
For I = 0 To 4
text3(I).Text = Format(VETMAX(I), "0.00")

Next I
'Calcula o autovetor VET'

For I = 0 To 4
    soma = 0
    For j = 0 To 4
        soma = soma + MTRIX(I, j) * VETMAX(j)
    Next j
    VET(I) = soma
Next j
Next I
soma = 0

```

```

For I = 0 To 4
soma = soma + (1 / M) * (VET(I) / VETMAX(I))
VALMAX = soma
Next I

INCON = (VALMAX - M) / (M - 1)
GCON = Format((INCON / 1.12), "0.00")

Text4.Text = Format(GCON, "0.00")

N(iatual) = iatual
NQUEST(iatual) = Text5.Text
GRCON(iatual) = GCON
ACE(iatual) = Format(VETMAX(0), "0.00")
AMB(iatual) = Format(VETMAX(1), "0.00")
INTER(iatual) = Format(VETMAX(2), "0.00")
MON(iatual) = Format(VETMAX(3), "0.00")
LOG(iatual) = Format(VETMAX(4), "0.00")

If GRCON(iatual) <= 0.1 Then
Text8.Text = "QUESTIONÁRIO CONSISTENTE - A C E I T O"
Else
Text8.Text = "QUESTIONÁRIO INCONSISTENTE- R E J E I T A D O"
End If
Text8.Visible = True
Text8.FontSize = 10
Text8.FontBold = True
Open "C:\genival\gcorrea\doutorado\questionários\resultados.txt" For Output As
#1
Print #1, "N"; Spc(4); "NQUEST"; Spc(4); "GRCON"; Spc(4); "ACE"; Spc(5);
"AMB"; Spc(5); "INTER"; Spc(4); "MON"; Spc(5); "LOG"
For I = 1 To iatual
Write #1, N(I); Spc(5); NQUEST(I); Spc(5); GRCON(I); Spc(5); ACE(I); Spc(5);
AMB(I); Spc(5); INTER(I); Spc(5); MON(I); Spc(5); LOG(I)
Next I
Close #1

```

```

If GRCON(iatual) <= 0.1 Then
FileCopy "c:\genival\gcorrea\doutorado\questionários\resultadosAceitos.txt",
"c:\genival\gcorrea\doutorado\questionários\ResultadosAceitosBACKUP.txt"
Open "c:\genival\gcorrea\doutorado\questionários\resultadosAceitos.txt" For
Input As #1
I = 0
If EOF(1) = True Then
I = I + 1
iaceito = I
End If
Do While EOF(1) = False
Input #1, N(I)
Input #1, NQUEST(I)
Input #1, GRCON(I)
Input #1, ACE(I)
Input #1, AMB(I)
Input #1, INTER(I)
Input #1, MON(I)
Input #1, LOG(I)
I = I + 1
iaceito = I
Loop
Close #1
N(I) = I
NQUEST(I) = NQUEST(iatual)
GRCON(I) = GRCON(iatual)
ACE(I) = ACE(iatual)
AMB(I) = AMB(iatual)
INTER(I) = INTER(iatual)
MON(I) = MON(iatual)
LOG(I) = LOG(iatual)

Open "C:\genival\gcorrea\doutorado\questionários\resultadosAceitos.txt" For
Output As #1
Print #1, "N"; Spc(4); "NQUEST"; Spc(4); "GRCON"; Spc(4); "ACE"; Spc(5);
"AMB"; Spc(5); "INTER"; Spc(4); "MON"; Spc(5); "LOG"
For I = 1 To iaceito

```

```
Write #1, N(I); Spc(5); NQUEST(I); Spc(5); GRCON(I); Spc(5); ACE(I); Spc(5);  
AMB(I); Spc(5); INTER(I); Spc(5); MON(I); Spc(5); LOG(I)  
Next I  
Close #1  
End If  
  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
For I = 0 To 19  
Text1(I).Text = ""  
Next I  
For I = 0 To 24  
Text2(I).Text = ""  
Next I  
For I = 0 To 4  
text3(I).Text = ""  
Text6(I).Text = ""  
Text7(I).Text = ""  
Next I  
Text4.Text = ""  
Text5.Text = ""  
Text8.Text = ""  
  
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
Open "C:\genival\gcorrea\doutorado\questionários\resultadosAceitos.txt" For  
Input As #1  
If EOF(1) = True Then  
Close #1  
GoTo a  
End If  
I = 0  
Do While EOF(1) = False  
Input #1, N(I)  
Input #1, NQUEST(I)
```

```
Input #1, GRCON(I)
Input #1, ACE(I)
Input #1, AMB(I)
Input #1, INTER(I)
Input #1, MON(I)
Input #1, LOG(I)
iaceito = I
I = I + 1
Loop
Close #1
SomaACE = 0
SomaAMB = 0
SomaINTER = 0
SomaMON = 0
SomaLOG = 0
For I = 1 To iaceito
SomaACE = SomaACE + ACE(I)
SomaAMB = SomaAMB + AMB(I)
SomaINTER = SomaINTER + INTER(I)
SomaMON = SomaMON + MON(I)
SomaLOG = SomaLOG + LOG(I)
Next I
ACEMédio = SomaACE / iaceito
AMBMédio = SomaAMB / iaceito
INTERMédio = SomaINTER / iaceito
MONMédio = SomaMON / iaceito
LOGMédio = SomaLOG / iaceito

SOMQUACE = 0
SOMQUAMB = 0
SOMQUINTER = 0
SOMQUMON = 0
SOMQULOG = 0

For I = 1 To iaceito

SOMQUACE = SOMQUACE + (ACE(I) - ACEMédio) ^ 2
```

```
SOMQUAMB = SOMQUAMB + (AMB(I) - AMBMédio) ^ 2
SOMQUINTER = SOMQUINTER + (INTER(I) - INTERMédio) ^ 2
SOMQUMON = SOMQUMON + (MON(I) - MONMédio) ^ 2
SOMQULOG = SOMQULOG + (LOG(I) - LOGMédio) ^ 2
Next I
If iaceito > 1 Then
DesvioACE = Sqr(SOMQUACE / (iaceito - 1))
DesvioAMB = Sqr(SOMQUAMB / (iaceito - 1))
DesvioINTER = Sqr(SOMQUINTER / (iaceito - 1))
DesvioMON = Sqr(SOMQUMON / (iaceito - 1))
DesvioLOG = Sqr(SOMQULOG / (iaceito - 1))
Else
DesvioACE = 0
DesvioAMB = 0
DesvioINTER = 0
DesvioMON = 0
DesvioLOG = 0
End If
GoTo b
a:
ACEMédio = 0
AMBMédio = 0
INTERMédio = 0
MONMédio = 0
LOGMédio = 0
DesvioACE = 0
DesvioAMB = 0
DesvioINTER = 0
DesvioMON = 0
DesvioLOG = 0
b:
Text6(0) = Format(ACEMédio, "0.00")
Text6(1) = Format(AMBMédio, "0.00")
Text6(2) = Format(INTERMédio, "0.00")
Text6(3) = Format(MONMédio, "0.00")
Text6(4) = Format(LOGMédio, "0.00")
Text7(0) = Format(DesvioACE, "0.00")
```

```
Text7(1) = Format(DesvioAMB, "0.00")  
Text7(2) = Format(DesvioINTER, "0.00")  
Text7(3) = Format(DesvioMON, "0.00")  
Text7(4) = Format(DesvioLOG, "0.00")  
End Sub
```

**ANEXO C - TESTES DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA -
"RANK SUM TEST"**

Comparação entre as amostras: **Acessibilidade X Intervisibilidade**

Tabela C1 - Ranking das observações ACE e INT

Medidas ACE	Ranking ACE	Medidas INT	Ranking INT
0.03	1.5	0.03	1.5
0.04	3	0.05	5.5
0.04	4	0.05	7.5
0.05	5.5	0.06	9.5
0.05	7.5	0.07	11.5
0.06	9.5	0.07	13
0.07	11.5	0.08	14.5
0.08	14.5	0.08	16.5
0.08	16.5	0.08	18
0.09	19.5	0.09	19.5
0.10	22	0.09	21
0.10	23	0.11	25.5
0.10	24	0.13	29.5
0.11	25.5	0.13	31
0.11	27	0.15	32
0.11	28	0.16	33
0.13	29.5	0.22	34.5
0.22	34.5	0.24	36.5
0.24	36.5	0.24	38.5
0.24	38.5	0.27	40.5
0.27	40.5	0.30	44
0.28	42	0.31	45.5
0.29	43	0.38	49
0.31	45.5	0.38	50
0.33	47	0.39	51
0.37	48	0.40	52
0.41	53	0.42	54
0.47	56	0.46	55
0.49	58	0.48	57
Soma	814.5	Soma	896.5

Valores críticos da estatística "z"

- Nível de significância de 95%: 1,65.
- Nível de significância de 99%: 2,3.

Valor calculado de "z": 0,64.

Comparação entre as amostras: Ambiente Circundante X Intervisibilidade

Tabela C2 - Ranking das observações AMB e INT

Medidas AMB	Ranking AMB	Medidas INT	Ranking INT
0.04	2	0.03	1
0.05	3.5	0.05	3.5
0.05	5.5	0.05	5.5
0.07	8.5	0.06	7
0.09	11	0.07	8.5
0.10	17	0.07	10
0.11	18.5	0.08	12
0.17	24	0.08	13
0.18	25	0.08	14
0.18	26	0.09	15
0.22	27.5	0.09	16
0.24	29.5	0.11	18.5
0.24	31.5	0.13	20
0.27	33.5	0.13	21
0.27	35	0.15	22
0.28	36	0.16	23
0.30	37.5	0.22	27.5
0.31	39.5	0.24	29.5
0.31	41	0.24	31.5
0.31	42	0.27	33.5
0.35	43	0.30	37.5
0.37	44	0.31	39.5
0.40	48.5	0.38	45
0.41	50	0.38	46
0.42	51.5	0.39	47
0.43	53	0.40	48.5
0.45	54	0.42	51.5
0.47	56	0.46	55
0.62	58	0.48	57
Soma	952	Soma	759

Valores críticos da estatística "z"

- Nível de significância de 95%: 1,65.
- Nível de significância de 99%: 2,3.

Valor calculado de "z": 1.50.

Comparação entre as amostras: **Acessibilidade X Logística, Conforto e Segurança**

Tabela C3 - Ranking das observações ACE e LOG

Medidas ACE	Ranking ACE	Medidas LOG	Ranking LOG
0.03	1.5	0.03	1.5
0.04	6.5	0.03	3.0
0.04	8.5	0.03	4.0
0.05	12.5	0.03	5.0
0.05	14.5	0.04	6.5
0.06	20.5	0.04	8.5
0.07	24.5	0.04	10.0
0.08	27.5	0.04	11.0
0.08	29.5	0.05	12.5
0.09	32.5	0.05	14.5
0.10	35.0	0.05	16.0
0.10	36.0	0.05	17.0
0.10	37.0	0.05	18.0
0.11	38.0	0.05	19.0
0.11	39.0	0.06	20.5
0.11	40.0	0.06	22.0
0.13	42.0	0.06	23.0
0.22	46.0	0.07	24.5
0.24	47.5	0.07	26.0
0.24	49.0	0.08	27.5
0.27	50.0	0.08	29.5
0.28	51.0	0.08	31.0
0.29	52.0	0.09	32.5
0.31	53.0	0.09	34.0
0.33	54.0	0.12	41.0
0.37	55.0	0.18	43.0
0.41	56.0	0.21	44.0
0.47	57.0	0.21	45.0
0.49	58.0	0.24	47.5
Soma	1073.50	Soma	637.50

Valores críticos da estatística "z"

- Nível de significância de 95%: 1,65.
- Nível de significância de 99%: 2,3.

Valor calculado de "z": 3.39

ANEXO D - VALORES DO ÍNDICE DE OPERACIONALIDADE

Tabela D1 – Tempo de implantação de uma base para todos os valores possíveis do Índice de Operacionalidade para redes de 3 densidades

Índice de Operacionalidade	Tempo para implantação de uma base (h)		
	Rede 40 km	Rede 150 km	Rede 300 km
1.00	3.0	10.0	20.0
0.88	4.0	12.0	24.0
0.88	3.5	12.0	24.0
0.77	4.5	14.0	28.0
0.88	4.0	12.0	24.0
0.77	5.0	14.0	28.0
0.77	4.5	14.0	28.0
0.65	5.5	16.0	32.0
0.88	4.0	12.0	24.0
0.77	5.0	14.0	28.0
0.77	4.5	14.0	28.0
0.65	5.5	16.0	32.0
0.77	5.0	14.0	28.0
0.65	6.0	16.0	32.0
0.65	5.5	16.0	32.0
0.54	6.5	18.0	36.0
0.96	3.3	10.7	21.3
0.85	4.3	12.7	25.3
0.85	3.8	12.7	25.3
0.73	4.8	14.7	29.3
0.85	4.3	12.7	25.3
0.73	5.3	14.7	29.3
0.73	4.8	14.7	29.3
0.62	5.8	16.7	33.3
0.85	4.3	12.7	25.3
0.73	5.3	14.7	29.3
0.73	4.8	14.7	29.3
0.62	5.8	16.7	33.3
0.73	5.3	14.7	29.3
0.62	6.3	16.7	33.3
0.62	5.8	16.7	33.3
0.50	6.8	18.7	37.3