UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

**ANÁLISE DE METODOLOGIAS NO
LEVANTAMENTO DE DADOS ESPACIAIS
PARA CADASTRO URBANO**

Genival Corrêa de Souza

**Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia - Área: Transportes**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ernesto Schaal

São Carlos

2001

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
1- INTRODUÇÃO	1
1.1 – Apresentação.....	1
1.2 – Objetivos.....	2
1.2.1 – Objetivo Geral	2
1.2.2 – Objetivos Específicos	3
1.3 – Justificativa	3
1.4 – Estrutura da dissertação	5
2 - O CADASTRO TÉCNICO	6
2.1 - Definição e Finalidades	6
2.2 - Histórico.....	8
2.3 - O Cadastro técnico no Brasil	9
2.4 - A Carta Básica de Cadastro	10
3 - MÉTODOS DE OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES ESPACIAIS	12
3.1 - Topografia	12
3.1.1 - Histórico	12
3.1.2 - Avanços Recentes da Topografia	14
3.1.2.1 - Medidores eletrônicos de distâncias (MEDs)	14
3.1.2.2 - Teodolitos Digitais	15
3.1.2.3 - Estações Totais	15

3.1.2.4 - O Registro Eletrônico dos Dados de Campo	17
3.1.2.5 - Automação de Cálculos e Desenhos.....	19
3.1.2.6 - Programas para Topografia.....	21
3.1.2.7 - Sistemas para Mapeamento Automatizado em Campo	22
3.2 - Sistema de Posicionamento Global - GPS	25
3.2.1 - Fundamentos	25
3.2.2 - Componentes do Sistema GPS	26
3.2.3 - Métodos de Observações GPS.....	28
3.2.4 - Aplicações do GPS	29
3.2.5 - O GPS e o Cadastro Técnico Urbano no Brasil	30
3.3 -Fotogrametria	33
3.3.1 - Definição e Aplicações.....	33
3.3.2 - Histórico	34
3.3.3 - Fotogrametria Digital.....	36
3.3.4 - Obtenção da Imagem Digital.....	39
3.1.5 - Pontos de Apoio Aerofotogramétrico	41
3.1.6 - Fases do Processo de Produção Fotogramétrica em uma Estação Fotogramétrica Digital.	43
3.1.7 – O Estágio Atual de Utilização da Fotogrametria Digital no Brasil	45
3.4 - Sensoriamento Remoto	48
3.4.1 - Sistemas de Imageamento Orbitais	49
3.4.2 - Sistemas Orbitais de Alta Resolução	50
3.4.2.1 - O Sistema IKONOS.....	50
3.4.2.2 - Sistema de Mapeamento Espacial DK1	52
3.4.2 - Sistema de Radar Aerotransportado AES-1	53
4 - A REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL	55
4.1 – Estruturação da Rede de Referência Cadastral	55
5 – A REALIZAÇÃO DO CADASTRO DA ÁREA TESTE.....	58
5.1 - A Área Teste.....	58
5.2 - Elementos Cadastrados	59
5.3 - Implantação da Rede de Referência Cadastral	60

5.3.1 - Referências Planimétricas	60
5.3.2 - Referências Altimétricas	61
5.3.3 – Ajustamento das Observações GPS	63
5.3.4 - Poligonais Topográficas.....	65
5.3.5 – A Rede Altimétrica.....	67
5.3.6 - Materialização dos Pontos da Rede.....	68
5.4 – A Execução do Cadastro por Topografia	70
5.4.1 – O Trabalho de Campo	70
5.4.2 - Processamento dos Dados e Desenho.....	71
5.4.3 - Resultados	73
5.5 - Execução do Cadastro por GPS.....	76
5.5.1 - Metodologia	76
5.5.2 - Processamento dos Dados	77
5.5.3 - Resultados	77
5.6- Execução o Cadastro por Fotogrametria	81
5.6.1 – Equipamento e Material Utilizado.....	81
5.6.2 - Orientação interior.....	82
5.6.3 - Orientação Relativa.....	83
5.6.4 - Orientação Absoluta.....	83
5.6.6 - Restituição	86
5.6.7 - Resultados	86
6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS	90
6.1 - A Rede de Referência Cadastral	90
6.2 – O Cadastramento	95
6.2.1 - Tempo de Cadastramento	95
6.2.2 - Comparação dos Tempos Cadastramento	96
6.2.3 - Precisão dos Resultados	97
7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	100
7.1 - Conclusões.....	101
7.2 – Recomendações.....	103
RERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Estações totais	16
Figura 3.2: Estação total robótica em operação.....	17
Figura 3.3: Cartões do tipo PCMCIA.....	18
Figura 3.4: Transferência de dados estação para o micro.	18
Figura 3.5: Estação livre	19
Figura 3.6: Estação conhecida	20
Figura 3.7: Cálculo de áreas.....	20
Figura 3.8: Locação.....	21
Figura 3.9: Comparação dos tempos de levantamento nosSistemas Tradicional, Semi-automatizado e o SMAC.	24
Figura 3.10: Estrutura básica de um receptor GPS.....	27
Figura 3.11: Receptor GPS de dupla frequência.....	27
Figura 3.12: Cadastramento urbano com GPS	31
Figura 3.13: Gerações da fotogrametria	35
Figura 3.14: Diagrama esquemático de um ambiente fotogramétrico digital	37
Figura 3.15: Estação fotogramétrica digital.....	38
Figura 3.16: Comparação da obtenção de imagens pelo “sensor digital de três linhas” e a câmara aérea convencional.	40
Figura 3.17: Efeito do relevo do terreno na imagem do sensor de “três linhas” e da fotografia aérea convencional	40
Figura 3.18: Sensor aéreo digital ADS40.....	41
Figura 3.19: Alvo fotogramétrico artificial.....	43
Figura 3.20: Imagem da cidade de Brasília obtida do satélite Landsat 7.....	50
Figura 3.21: Imagem do satélite IKONOS.....	51
Figura 3.22: Imagem da cidade do Rio de Janeiro obtida pelo Sistema DK1	53

Figura 3.23: Representação de MDT	54
Figura 3.24: Planta cadastral, obtida a partir de levantamento com o AeS-1	54
Figura 5.1: Área teste localizada no campus da EESC.....	59
Figura 5.2: Planta do Campus da EESC com os pontos da RREFC.....	62
Figura 5.3: Vetores do ajustamento da base R001 a R002.....	63
Figura 5.4: Vetores do ajustamento da base R003 a R004.....	64
Figura 5.5: Poligonal ajustada de R002 a R004	66
Figura 5.6: Poligonal ajustada de R004 a R001	66
Figura 5.7: Implantação de marco no terreno.	69
Figura 5.8: Chapa de aço inoxidável fixada no passeio.	69
Figura 5.9: Modelo de Caderneta de campo utilizado	71
Figura 5.10: Modelo de planilha criado para digitação dos dados de campo e cálculo das coordenadas dos pontos levantados.	72
Figura 5.11: Arquivo para inserção dos pontos levantados no “AutoCad”.....	73
Figura 5.12: Arquivo para inserção da Identificação dos pontos no “AutoCad”.	73
Figura 5.13 Área teste- levantamento com a topografia convencional.	75
Figura 5.14: Área teste - Levantamento com o GPS.....	79
Figura 5.15: Parte da tela de orientação interior do DVP	82
Figura 5.16: Esquema do modelo e distribuição os pontos de apoio fotogramétrico.	84
Figura 5.17: Ponto de apoio. “Córner” em campo de futebol.....	84
Figura 5.18: Ponto de apoio. O cruzamento entre linhas demarcatórias de uma quadra deTênis.....	85
Figura 5.19: Ponto de apoio. Vértice em guia de passeio.....	85
Figura 5.20: Área teste - Levantamento executado por aerofotogrametria.....	88
Figura 7.1: Distorções verificadas na planta cadastral do campus da EESC-USP após a implantação da Rede de Referência Cadastral.....	92
Figura 7.2: Sequência de passos para monumentação dos pontos da Rede de Referência Cadastral da EESC-USP.....	94
Figura 7.3: Identificação dos edifícios utilizados para comparar . áreas medidas por Topografia e por Fotogrametria.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Funções e produtos de cada segmento do sistema GPS.....	28
Tabela 3.2: Classes de aplicação do GPS.....	30
Tabela 3.3: Metodologias de captação, orientação e restituição fotogramétricas..	36
Tabela 3.4: Características e aplicações de imagens de satélites.	49
Tabela 3.5: Sistemas de radar em satélites	49
Tabela 3.6: Precisões dos produtos cartográficos gerados a partir das imagens do satélite IKONOS. Fonte: Space Imaging, 2000.....	51
Tabela 5.1: Coordenadas ajustadas – Bases	64
Tabela 5.2: Dados do fechamento das poligonais topográficas	65
Tabela 5.3: Coordenadas ajustadas – De R002 para R004.....	67
Tabela 5.4: Coordenadas ajustadas – De R004 para R001	67
Tabela 5.5: Resumo de nivelamento	68
Tabela 5.6: Altitudes da RREFC.....	68
Tabela 5.7: Características técnicas da Estação Total Leica TC 400.....	70
Tabela 5.8: Convenções utilizadas no levantamento GPS.....	76
Tabela 5.9: Dados das fotografias	81
Tabela 5.10: Coordenadas dos pontos de apoio.....	86
Tabela 5.11: Tempo gasto nas etapas de produção fotogramétrica.....	89
Tabela 7.1: Estimativa do tempo dispendido para restituição completa do modelo aerofotogramétrico.....	96
Tabela 7.2: Resumo de tempo dos levantamentos.	97
Tabela 7.3: Produtividade de cada método.....	97
Tabela 7.4: Comparação entre áreas medidas com fotogrametria e topografia. ...	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCII	- American Standart Code for Information Interchange
CAD	- Computer Aided Design
CAS	- Computer Aided Surveying
CCD	- Charge Coupled Devices
CCRS	- Centro Canadense de Sensoriamento Remoto
CPU	- Central Processing Unit
DPW	- Digital Photogrammetric Workstation
DVP	- Digital Video Plotter.
EESC	- Escola de Engenharia de São Carlos
EMFA	- Estado Maior das Forças Armadas
GPS	- Global Positioning System
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDB	- International Database
IPTU	- Imposto Predial e Territorial Urbano
ISPRS	- International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
LTM	- Local Transversa de Mercator
MC	- Meridiano Central
MDT	- Modelo Digital de Terreno
MED	- Medidor Eletrônico de Distâncias
NAVSTAR	- Navigation System using Time And Ranging
PCMCIA	- Personal Computer Memory Card International Association

PEC	- Padrão de Exatidão Cartográfica
PS	- Ponto de Segurança
RN	- Referência de Nível
RREFC	- Rede de Referência Cadastral
RTM	- Regional Transversa de Mercator
SA	- Selective Availability
SAD	- South American Datum
SAR	- Synthetic Aperture Radar
SGB	- Sistema Geodésico Brasileiro
SIG	- Sistema de Informações Geográficas
SMAC	- Sistema de Mapeamento Automatizado em Campo
UTC	- Universal Time Coordinated
UTM	- Universal Transversa de Mercator

RESUMO

SOUZA, G. C. (2001). *Análise de metodologias no levantamento de dados espaciais para cadastro urbano*. São Carlos, 2001, 111. p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho apresenta inicialmente uma revisão atualizada de métodos de obtenção de dados espaciais para elaboração de plantas cadastrais urbanas e posteriormente, os procedimentos e o instrumental utilizados para execução do cadastramento de uma área teste com a **Fotogrametria**, o sistema **GPS** e os recursos da **Topografia**. Os resultados foram sistematizados e comparados de forma a fornecerem conclusões a respeito de produtividade e adequabilidade de cada método na situação estudada. São apresentados ainda os procedimentos e resultados obtidos na implantação de uma rede de referência cadastral para apoiar os levantamentos cadastrais realizados.

Palavras-chave: cadastro; topografia; fotogrametria; GPS; rede de referência.

ABSTRACT

SOUZA, G. C. (2001). *Analyse of methodologys for space data survey in urban cadastre*. 111. p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work initially presents an up-to-date revision of methods of obtaining space data for elaboration of urban cadastral plants followed by the procedures and the instrumental used for execution of the survey of an test area with **photogrammetry**, the **GPS** system and the resources of the **topography**. The results were systematized and compared in way they supply conclusions regarding productivity and suitability of each method in the studied situation. The procedures and results obtained in the implantation of a cadastral reference network to support the accomplished surveys are also presented.

Keywords: cadastre; topography; photogrammetry; GPS; cadastral reference

1- INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação

No planejamento e administração de cidades de qualquer porte, na maioria das vezes, é imprescindível que as informações disponíveis estejam georeferenciadas. Em qualquer área do planejamento e gerenciamento urbano é necessário pelo menos um cadastro de vias e propriedades imobiliárias urbanas e outros elementos de interesse que permita unir as informações ao espaço físico. Essas informações são utilizadas para compor o cadastro técnico urbano e sistemas de informações em geral.

O cadastro técnico é constituído por uma parte cartográfica, que deverá compor uma planta básica da área em questão, e uma parte descritiva com informações sobre elementos diversos como imóveis e seus proprietários, infra-estrutura entre outros. Ele é utilizado no planejamento e administração dos centros urbanos como suporte, por exemplo, na implantação e gerenciamento de sistemas de transporte, implantação e gerenciamento de sistemas de saúde, sistemas educacionais, defesa civil, emergências, visualização de informações sócio econômicas, tributação, localização de postos de atendimento e serviços sociais, e muitas outras.

Na maioria das cidades brasileiras a base cartográfica - conjunto de dados representativos de uma determinada área mapeada, obtidos por meio de critérios consagrados obedecendo as prescrições técnicas em vigor

(TAVARES, 1993), é deficiente em muitos aspectos tais como distorções geradas pela falta de controle geodésico, falta de atualização e inexistência de rede de referência cadastral municipal (CARNEIRO & LOCH, 2000). Vários são os fatores que contribuem para tal. Entre eles está o fato de que os levantamentos em geral são caros pois dependem de equipamentos de custos relativamente altos e mão de obra especializada, concorrendo para que a construção da base cartográfica seja fator limitante na implantação e manutenção de sistemas de informações (PAULINO & CARNEIRO, 1998).

CARNEIRO & LOCH (2000), levantaram dados de várias cidades em diferentes regiões e relacionam ainda o aspecto político como um dos mais fortes condicionantes para o estágio atual do cadastro nas cidades brasileiras. Muitas vezes, um prefeito fortalece e apoia o desenvolvimento do setor de cadastro da prefeitura e na gestão seguinte o seu sucessor não tem como prioridade esta área.

Esta situação não é diferente em outros países da América Latina. De acordo com o IDB (international Database) apud COHEN (2000), 72% das municipalidades da América Latina não possuem mapas de sua jurisdição nem em meio digital e nem em papel.

A carência de informações espaciais confiáveis é, portanto, muito grande e tem merecido a atenção de profissionais e pesquisadores na busca de procedimentos mais econômicos e convenientes nos levantamentos cadastrais urbanos.

1.2 – Objetivos

1.2.1 – Objetivo Geral

Analisar e comparar, a partir de dados obtidos no levantamento de uma “área teste”, a **Fotogrametria**, o **GPS** e a **Topografia** como métodos de obtenção de dados espaciais para elaboração de plantas cadastrais urbanas e planta de elementos da infra-estrutura urbana.

1.2.2 – Objetivos Específicos

- rever as metodologias atuais para levantamento cadastral urbano;
- identificar vantagens e desvantagens de cada um dos métodos na situação estudada;
- implantar uma rede de referência cadastral de acordo com a NBR 14166, para apoiar o levantamento cadastral da área teste;
- quantificar elementos que possam auxiliar na composição dos custos de cadastro em cada um dos métodos estudados, isoladamente ou combinados;
- contribuir para o estabelecimento de diretrizes que possam orientar a escolha do método ou composição de métodos mais adequados para os levantamentos cadastrais urbanos, de acordo com cada situação.

1.3 – Justificativa

As plantas que compõem a base cartográfica, tradicionalmente são obtidas por levantamentos aerofotogramétricos ou levantamentos toográficos. Na última década o GPS passou a ser bastante utilizado, principalmente no georreferenciamento dos levantamentos topográficos em geral, na determinação de pontos de apoio para aerofotogrametria e mesmo no próprio cadastramento de elementos da infra-estrutura urbana.

Os métodos tradicionais de levantamentos como a fotogrametria e a topografia clássica têm sofrido profundas modificações a partir do aparecimento dos computadores. A fotogrametria digital tem apresentado significativos avanços na automatização dos procedimentos fotogramétricos como orientação, aerotriangulação, restituição, geração de MDT e produção de ortofotos, o que tem significado um aumento de produtividade e consequentemente uma redução de custos (SCHENK, 1999).

Da mesma forma, a topografia clássica têm experimentado grandes avanços. O espetacular desenvolvimento da eletrônica e da computação, nas últimas décadas, possibilitou o aparecimento dos equipamentos eletrônicos para medir ângulos e distâncias, proporcionando um grande avanço nas tecnologias de obtenção e processamento dos dados de campo.

Por outro lado, o GPS surgiu como mais um método de levantamento com possibilidade de ampla utilização no cadastramento de elementos do espaço urbano. Embora não tenha sido desenvolvido como um instrumento de topometria propriamente dito, o GPS tem sido utilizado em larga escala e com muitas vantagens em relação a instrumentos convencionais para locação em campo aberto, apresentando resultados com precisão centimétrica em lances de quilômetros (SCHAAL, 1998).

No ano de 2000 foram colocadas no mercado as primeiras imagens orbitais de alta resolução obtidas pelo satélite IKONOS 2, lançado pela empresa norte-americana Space Imaging. As imagens possuem resolução de 1m e embora ainda se discuta bastante sobre o nível de precisão que elas podem oferecer, acredita-se na sua ampla utilização para diversas finalidades dentro do cadastro técnico urbano. Pesquisadores, em várias partes do mundo, tem voltado as atenções para esta possibilidade.

Todas estas alterações nos métodos tradicionais de levantamentos e o aparecimento destas novas ferramentas, têm provocado profundas mudanças em todos os setores envolvidos com a geração de produtos cartográficos e cadastro em geral, surgindo indefinições quanto à escolha do método ou métodos mais adequados para cada situação.

É do nosso entendimento que procedimentos mais apropriados, inclusive combinando métodos já consagrados na tentativa de melhor adaptá-los a cada finalidade, devem ser buscados continuamente podendo trazer consequências positivas para o planejamento e o gerenciamentos de cidades, inclusive com a diminuição de custos, contribuindo assim para o desenvolvimento e bem estar social.

1.4 – Estrutura da dissertação

O texto desta dissertação está estruturado em 7 capítulos: o primeiro constitui-se da apresentação, motivação e objetivos do trabalho; o segundo aborda conceitos, definições, história e situação do cadastro técnico no Brasil, de forma a permitir a delimitação e a importância deste campo de estudo; no terceiro capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica atualizada dos métodos de obtenção de dados espaciais. Além dos três métodos analisados – Topografia, GPS e Fotogrametria, aborda-se também o Sensoriamento Remoto. Ainda como revisão de bibliografia, o capítulo quarto enfoca a implantação de Redes de Referência Cadastral, de acordo com a Norma Brasileira NBR 14166; o quinto é dedicado ao relato de todas as etapas dos trabalhos de campo e gabinete desenvolvidos na realização do cadastramento da área teste e apresentação dos resultados obtidos; no sexto capítulo discute-se os resultados e no último são apresentadas as conclusões e recomendações.

2 - O CADASTRO TÉCNICO

2.1 - Definição e Finalidades

De acordo com SILVA & VIEIRA (1996), o Cadastro Técnico compreende um conjunto integrado de subsistemas, compatibilizados sobre uma base cartográfica homogênea. Em outras palavras, um cadastro técnico compõe-se de vários tipos de cadastros. Por exemplo: cadastro Imobiliário; cadastro de infra-estrutura urbana; cadastro de equipamentos e serviços urbanos.

O cadastro técnico assim definido é conhecido por profissionais da área como cadastro técnico multifinalitário ou cadastro técnico multifuncional. Para PHILIPS (1996), trata-se de um sistema de bancos de dados distribuídos (suplementos multifinalitários ou multifuncionais), com um núcleo que é o cadastro básico de bens imobiliários ou base cadastral sendo que a base cadastral compõe-se de:

- **carta de cadastro imobiliário:** A base gráfica que representa a situação geométrica de uma propriedade (lote ou parcela com edificações, se houver) em relação a outras propriedades, em forma de planta cadastral em escala adequada;
- **base métrica:** o registro do levantamento técnico em forma de medições, cálculos, listas de coordenadas, arquivos dos croquis de levantamento cadastral, demarcação parcelar, amarrado à Rede de Referência Cadastral Municipal;

- **registro de parcelas:** registro público das parcelas e lotes com os atributos mais importantes;
- **proprietários e direitos:** registro legal de proprietários e obrigações (hipotecas, direitos de terceiros, etc) do Registro Geral de Imóveis.

Os suplementos multifinalitários ou multifuncionais são constituídos, entre outros, de dados originados do:

- registro de edificações;
- dados gráficos para documentação de obras de empresas públicas (água, esgoto, energia elétrica, telefone, tv a cabo, etc.);
- dados sobre o planejamento urbano;
- projetos de loteamentos, municipais ou privados;
- dados geométricos dos projetos de engenharia (estradas, pontes, canais, estradas de ferro, aeroportos, irrigação, etc.);
- cadastro multifinalitário deve ser um sistema aberto e por isto a lista acima não é completa e deve ser modificada para atender necessidades de qualquer fim.

O cadastro imobiliário tem basicamente as seguintes finalidades (CARNEIRO & LOCK, 2000 apud Brasil, 1980):

- arrecadação municipal, compreendendo lançamento do Imposto Predial e Territorial Urbano; lançamento de Contribuição de Melhoria; lançamento de taxas e serviços urbanos;
- planejamento físico territorial urbano, compreendendo: estudo e localização de equipamentos sociais e de infra-estrutura urbana, estudo de localização e utilização de sistema viário urbano; reserva de áreas para fins especiais e estudo de controle de uso do solo urbano.

2.2 - Histórico

Historiadores apontam as colonizações ao longo dos rios Tigre, Eufrates e Nilo como berço do cadastro que aí surgiu de forma rudimentar para subsidiar a cobrança de impostos devidos aos faraós e sacerdotes pelo uso da terra. Da mesma forma os gregos e romanos também desenvolveram um sistema de registro de informações da terra tendo como suporte um sistema de medição, estabelecido também para arrecadação de tributos (BURITY & BRITO, 1998).

De acordo com DALE & MC LAUGHLIN, apud BURITY & BRITO (1998), o cadastro moderno apareceu na Itália nas províncias de Milão e Mantua entre 1720 e 1723, também com fins fiscais. Em 1807 Napoleão Bonaparte mandou medir e classificar parcelas quanto ao uso e fertilidade do solo e capacidade produtiva visando a arrecadação de impostos.

Na época pós-napoleônica, as administrações aperfeiçoaram os métodos de levantamento e os registros cadastrais. Nesta época grandes partes da Europa foram trianguladas para amarrar os levantamentos cadastrais e topográficos a um sistema geodésico, e para calcular coordenadas em um sistema único para um estado, como foi o caso da Prússia (PHILIPS, 1996).

A partir de 1935, com a ampliação dos métodos de planejamento urbano organizado, a ampliação das redes de estradas, rodovias, redes de água, esgoto, energia elétrica e de comunicação, o cadastro imobiliário passou a atender novas demandas desempenhando múltiplas funções, surgindo assim a denominação de “cadastro multifuncional” ou “cadastro multifinalitário” (PHILIPS, 1996).

2.3 - O Cadastro técnico no Brasil

No Brasil não existe um cadastro público unificado e padronizado, multifuncional e moderno para os bens imobiliários que possua o registro dos dados técnicos, legais e gráficos relacionados a terrenos e edificações (PHILIPS, 1996). Existem algumas iniciativas isoladas por parte de prefeituras municipais da implantação e modernização de cadastros em algumas cidades brasileiras (BURITY & BRITO, 1998).

CARNEIRO & LOCH (2000), estudaram a situação de 11 cidades brasileiras com realidades sociais, culturais e econômicas distintas, procurando definir o panorama atual do Cadastro Imobiliário Urbano. Foram pesquisadas as seguintes cidades: Belém - PA, Carangola - MG, Caruaru - PE, Florianópolis - SC, Franca - SP, Jaboatão dos Guararapes - PE, Maringá - PR, Mogi das Cruzes - SP, Recife - PE, Salvador - BA e Santo André - SP. Alguns dos problemas encontrados são listados a seguir:

- principal objetivo atendido pelo cadastro tem finalidade fiscal. A importância do cadastro como base de dados cartográficos não se reflete no momento de especificar levantamentos que atendam a outras necessidades da administração municipal;
- em apenas 3 cidades verifica-se a cobertura completa do município. Nas demais a cobertura é restrita às áreas urbanas e de expansão urbana, de acordo com o plano diretor do município;
- 8 prefeituras possuem base cartográfica obtida por levantamento aerofotogramétrico e 3 obtidas por levantamento topográfico. A data dos levantamentos varia de 1960 a 1998 sendo que muitas fizeram levantamento aerofotogramétricos parciais para atualização de áreas consideradas críticas;
- junção de vários levantamentos numa base cadastral sem nenhum controle geodésico ocasionando distorções na parte cartográfica do cadastro;

- dentre as cidades pesquisadas, apenas a cidade de Franca - SP possui uma Rede de Referência Cadastral Municipal e exige em legislação municipal o referenciamento dos novos levantamentos a esta rede;
- constata-se que a atualização é um dos pontos críticos dos sistemas cadastrais na quase totalidade das cidades. Não se consegue identificar critérios para a determinação da periodicidade para atualização.

2.4 - A Carta Básica de Cadastro

O Cadastro é constituído por uma parte cartográfica, que deverá compor uma planta básica da área em questão e uma parte descritiva, com informações sobre elementos diversos imóveis e seus proprietários, infraestrutura entre outros (CANEIRO & LOCH, 2000).

IDOETA et al, 2000, definem os elementos mínimos que uma carta básica de cadastro deve conter:

- hidrografia visível;
- alinhamento de quadras e meio fio;
- indicação de estrutura fundiária física dos lotes;
- representação de barreiras viárias como ferrovias, rodovias e outras;
- representação de barreiras de infraestrutura como linhas de transmissão, oleodutos, gasodutos entre outros;
- elementos da altimetria.

Este padrão de carta básica permite relacionar as informações espaciais com os bancos de dados referentes a cadastro fiscal, controle urbanístico e elementos da infraestrutura urbana como serviços de água, esgoto, telefone, TV a cabo, gás, etc., e equipamentos públicos como escolas, postos de saúde, hospitais, delegacias, corpo de bombeiros, etc., além de permitir a elaboração de projetos de infraestrutura, planejamento e

gerenciamento de transportes públicos, tráfego e sua sinalização, arruamentos e muitos outros.

3 - MÉTODOS DE OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES ESPACIAIS

Este trabalho está inserido no estudo da parte cartográfica do Cadastro Urbano enfocando os métodos de obtenção das informações espaciais para o cadastro básico e para o cadastro dos suplementos multifinalitários.

A obtenção do dado espacial georeferenciado para construir ou atualizar plantas básicas cadastrais pode ser realizada a partir da transformação de dados já existentes ou a partir da fonte primária, ou seja, adquiridos no ambiente através de métodos indiretos (sensoriamento remoto) ou de métodos diretos (Geodésia); (PAULINO & CARNEIRO 1998).

Aborda-se aqui os métodos de obtenção de dados de campo, ou seja, da fonte primária, dos quais estudaremos a **topografia** e o **sistema de posicionamento global (GPS)** como método direto e a **fotogrametria digital** e o **sensoriamento remoto** como métodos indiretos.

3.1 - Topografia

3.1.1 - Histórico

A bibliografia traz registros de levantamentos topográficos já em 1400 AC quando o Egito foi dividido em lotes com o propósito de cobrança de impostos (WOLF & BRINKER, 1994). Outro fato histórico bastante conhecido relacionado com a topografia era a necessidade de recomposição anuais das divisas de propriedades às margens do Rio Nilo cujas referências

materiais eram destruídas por ocasião das enchentes. Esta tarefa era executada pelos agrimensores da época, chamados de "Estica-cordas"¹ porque utilizavam cordas como único equipamento de medição.

O desenvolvimento da geometria pelos pensadores gregos permitiu mais tarde a aplicação desta ciência nos levantamentos topográficos. Por volta de 1200 AC surgiram os primeiros tratados de topografia, incluindo "The Dioptra" de Heron, que trata de métodos de levantamentos, desenho da planta e execução de cálculos (WOLF & BRINKER, 1994).

Apesar de ter começado na antiguidade, somente nos últimos séculos a topografia experimentou um desenvolvimento significativo. Contribuíram para isto os aperfeiçoamentos da mecânica de precisão introduzidos nos equipamentos topográficos por Wild, Porro, Zeiss, Pulfrich, Orel, e outros; os progressos realizados na parte ótica dos instrumentos por Kepler, Porro, Zeiss; na medida de distâncias devido a Porro, Bessel, Jaderin; na leitura de ângulos devido a Vernier, Nonius, Zeiss, Wild e outros; nos levantamentos topográficos devido Pothénor, Hansen e na avaliação mecânica de áreas devido Amssler, Coradi e outros (ESPARTEL, 1960). Estes avanços sedimentaram a Topografia fundamentada nos equipamentos óticos-mecânicos para medir ângulos e distâncias permitindo alcançar, com instrumentos devidamente calibrados, grandes precisões nas medidas, mas que se caracterizava também por procedimentos de campo quase sempre trabalhosos e de custo relativamente alto além do demorado trabalho de gabinete.

Historicamente a Topografia tem sido muito utilizada para levantamentos cadastrais por ser um método consagrado e que fornece precisões de medidas adequadas para qualquer finalidade. As limitações quanto aos demorados procedimentos de campo, que elevam os custos dos levantamentos, tem sido minimizados pelos últimos avanços nos equipamentos e softwares que têm tornado a coleta de dados no campo quase que totalmente automatizada. Ainda assim, para áreas maiores os custos tendem a ser altos levando a adoção de outros métodos de

¹ Traduzido pelo autor do Inglês "rope-stretchers" em WOLF & BRINKER (1994).

levantamento, quando possível. Mesmo com a utilização de outros métodos como por exemplo a fotogrametria, quase sempre existe a necessidade de levantamentos complementares utilizando a topografia.

3.1.2 - Avanços Recentes da Topografia

Apoiados no desenvolvimento da eletrônica e da computação nas últimas décadas, surgiram os equipamentos eletrônicos para medir ângulos e distâncias, proporcionando um grande avanço nas tecnologias de obtenção e processamento dos dados de campo. O emprego dos distanciômetros eletrônicos viabilizou a medição de maiores distâncias com grande precisão (TAVARES, 1998). O aparecimento das estações totais, reunindo num único equipamento um "teodolito eletrônico e um distanciômetro eletrônico" é considerado como um marco extremamente significativo em toda a história da topografia. O aparecimento desses equipamentos aliados à automação de cálculos e desenhos fundamentam o conceito de "Topografia Digital" permitindo que todas as etapas necessárias à elaboração de uma carta topográfica seja efetuada utilizando dispositivos digitais (VEIGA, 2000).

3.1.2.1 - Medidores eletrônicos de distâncias (MEDs)

O aparecimento do distanciômetro eletrônico (MED) foi um dos mais importantes avanços em instrumentação de toda a história da topografia (WOLF & BRINKER, 1994). O primeiro MED foi construído pelo físico sueco Erik Bergstrand em 1948 e foi resultado de pesquisas dedicadas a melhorar os métodos para medir a velocidade da luz. Utilizava a luz visível e era capaz de medir distâncias precisas até 40 Km. Em 1957 T.L.Wadley, da África do Sul, introduziu um novo MED (telurômetro) que utilizava microondas e podia medir até 80 Km (WOLF & BRINKER, 1994).

O aparecimento dos MEDs revolucionaram tanto a ênfase como a técnica dos procedimentos utilizados nos levantamentos topográficos

(SCHOFIELD, 1993). De acordo com SILVA (1993), além de facilitar a medição, os MEDs permitiram melhorar a qualidade das medidas. A precisão saltou da ordem do milímetro para décimos de milímetros. O princípio de medição é simples - eles medem distâncias utilizando como unidade básica de medida, a metade do comprimento de onda do sinal modulador da radiação eletromagnética utilizada como portadora. Existem dois sistemas principais de funcionamento destes aparelhos: um, denominado eletro-ótico, em que a fonte radiante é luminosa (luz visível ou infra-vermelho) e outro, o sistema eletrônico, onde a portadora está na faixa das microondas (PACILÉO NETTO, 1990 apud VEIGA, 2000).

3.1.2.2 - Teodolitos Digitais

Fundamentada nos teodolitos ótico-mecânicos durante vários séculos, a topografia sofreu, depois do aparecimento dos MEDs, uma segunda inovação importante que foi o aparecimento dos teodolitos eletrônicos na década de 70 (SILVA, 1993). A diferença básica dos teodolitos eletrônicos em relação aos teodolitos clássicos resulta da substituição do leitor ótico de um círculo graduado por um sistema de captadores eletrônicos. Uma outra característica importante é a existência de um compensador eletrônico que permite corrigir, de forma automática, os erros de calagem do eixo vertical do instrumento (SILVA, 1993). Os teodolitos eletrônicos possibilitaram a conexão direta aos MEDs dando origem às estações totais.

3.1.2.3 - Estações Totais

Uma estação total (total station) combina três componentes básicos: um MED, um teodolito eletrônico e um microprocessador, formando um equipamento único (WOLF & BRINKER, 1994). As estações totais podem medir automaticamente ângulos horizontais e verticais e distâncias inclinadas e calcular instantaneamente as distâncias horizontais e verticais e

apresentar os resultados em um visor de cristal líquido. Os dados podem ser armazenados em dispositivos do próprio equipamento ou em coletores de dados externos. Atualmente o mercado de equipamentos topográficos já dispõe de estações totais que incorporam grandes avanços em relação aos primeiros modelos entre eles as medições de distâncias sem o uso de prismas (RIBEIRO, 1999). Isto pode facilitar bastante as operações de cadastro urbano e o alcance de pontos inacessíveis.

A figura 3.1 apresenta algumas das estações totais existentes no mercado.

Figura 3.1 – Estações totais

Existem no mercado estações totais "robóticas" equipadas com servomotores e possuindo funções de reconhecimento e busca automática de prismas o que possibilita a realização da pontaria sem a intervenção do

operador. Estes instrumentos podem ser operados remotamente possibilitando a realização de levantamentos com apenas uma pessoa.

A figura 3.2 apresenta uma estação robótica em operação.

Figura 3.2: Estação total robótica em operação. Apenas um operador pode realizar trabalhos de campo. Fonte: Catálogo Topcom

3.1.2.4 - O Registro Eletrônico dos Dados de Campo

A anotação dos dados de campo sempre se constituiu numa fonte de erro grosseiros além de contribuir para a fadiga do operador influenciando a produtividade tanto no campo como nos trabalhos de gabinete. Os equipamentos eletrônicos permitiram um ganho significativo em termos de produtividade e qualidade ao permitir o registro eletrônico dos dados de campo. De acordo com VEIGA (2000), atualmente existem três formas de registro eletrônico: no primeiro os dados são armazenados no próprio equipamento através de uma memória interna própria ou removível como cartões de memória do tipo PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association). No mercado existe equipamentos com memória interna capazes de armazenar até 18000 medições como é o caso das estações totais da série TPS1100 da Leica. Os cartões de memória PCMCIA, funcionam como uma expansão de memória, tendo capacidade

variável, como 512Kb, 2 ou 4 Mb, etc. São de pequeno tamanho facilitando o seu armazenamento e uso (figura 3.3).

Figura 3.3: Cartões do tipo PCMCIA usados em Estações Totais marca Topcon.
Fonte: Catálogo Topcon

No segundo caso, coletores externos são conectados ao equipamento e ainda é possível conectar computadores portáteis diretamente ao equipamento. No último caso, os dados observados são transferidos diretamente do equipamento de medição para o computador, através de um cabo serial. A figura 3.4 ilustra a transferência de dados de uma estação total para o micro.

Figura 3.4: Transferência de dados da estação para o micro. Fonte: Leica.

3.1.2.5 - Automação de Cálculos e Desenhos

Os programas internos das estações totais possibilitam uma alta produtividade nos trabalhos de campo e facilidade no manuseio e transmissão dos dados. As estações totais atuais, juntamente com os meios de comunicação de dados existentes no mercado, fixam um novo conceito chamado CAS (Computer Aided Surveying), que é o levantamento totalmente assistido por computadores (RIBEIRO, 1999).

VEIGA (2000), relaciona as funções mais comuns da maioria das estações totais, que permitem ao usuário realizar determinados tipos de cálculo diretamente no campo:

- **estação livre** - as coordenadas planimétricas de um ponto ocupado podem ser calculadas em função de, no mínimo, dois pontos A e B conhecidos (figura 3.5);

Figura 3.5: Estação livre
Fonte: VEIGA, 2000

- **estação conhecida** - a estação é inicializada em um determinado sistema de referência diretamente no campo através da medida de um ponto a ré (A) ou pela orientação a partir de um azimuth dado. (figura 3.6);

Figura 3.6: estação conhecida
Fonte: VEIGA, 2000

- **cálculo de áreas** – calcula a área a partir dos pontos levantados no campo ou armazenados na memória do instrumento (figura 3.7);

Figura 3.7: cálculo de áreas.
Fonte: VEIGA, 2000.

- **determinação de elevações remotas** – é utilizado na determinação da altitude de um ponto inacessível ao prisma. Visa-se o prisma e, em seguida, pontos do objeto na mesma vertical do prisma, medindo-se os ângulos verticais;
- **medição de pontos deslocados (off-set)** - possibilita a determinação de coordenadas de pontos em locais inacessíveis ao prisma;

- **coordenadas** - permite determinar as coordenadas cartesianas de pontos diretamente no campo;
- **locação** – permite a locação de pontos no campo a partir da medida de ângulos e distâncias ou coordenadas. O instrumento calcula, com base na posição do prisma, a magnitude e direção do mesmo para atingir a posição desejada (figura 3.8);

Figura 3.8: Locação.
Fonte: VEIGA, 2000.

- **poligonais** – calcula poligonais diretamente no campo. As coordenadas de cada ponto são calculadas com base nas coordenadas do ponto anterior e das medidas efetuadas. No caso de poligonais fechadas ou apoiadas, calcula os erros de fechamento e faz o ajustamento das coordenadas;
- **altura do ponto ocupado** – determina a altura do ponto ocupado em função da altura de um ou mais pontos conhecidos;

3.1.2.6 - Programas para Topografia

Os programas para topografia existentes no mercado permitem a realização de cálculos e desenhos a partir dos dados de campo. Normalmente são divididos em módulos, cada qual responsável por um tipo

de tarefa, embora possa existir uma interdependência entre eles. Por exemplo, o módulo para geração de perfis depende do módulo de geração de MDT (VEIGA, 2000).

Embora seja uma particularidade de cada um, os programas de topografia geralmente apresentam os seguintes módulos:

módulo básico - responsável pelos cálculos de poligonais e transformações entre sistemas geodésicos e conversões de coordenadas topográficas, UTM, e geográficas;

- **módulo de desenho** - permite a geração e edição de desenhos a partir dos dados de campo processados. Os programas podem possuir CAD próprios como é o caso do sistema TopoGRAFH ou utilizar CADs externos como é o caso do sistema Posição, da Manfra & Cia Ltda, que opera no programa AutoCAD, produzido pela Autodesk Inc;
- **módulo para MDT** – realiza a modelagem digital de terreno a partir dos pontos levantados;
- **aplicativos** – são módulos dedicados à tarefas específicas e variam com cada programa. O sistema TopoGRAFH por exemplo, possui, entre outros, os aplicativos “perfis” destinado aos trabalhos que exigem cálculo de volumes a partir de seções transversais e “Vias” que oferece ferramentas para a criação de traçados horizontais e verticais para aplicação em rodovias, ferrovias, arruamentos, canais, etc.

Os dados de campo podem ser introduzidos de forma manual, digitando-se as medições ou a partir da transferência direta entre o instrumento de medida ou coletor de dados e o programa.

3.1.2.7 - Sistemas para Mapeamento Automatizado em Campo

Um Sistema para Mapeamento automatizado em Campo pode ser definido como sendo a associação de instrumentos de medida, programas e

computador, capazes de realizar o levantamento dos dados, processamento e confecção do original cartográfico diretamente no campo. O sistema permite que os dados de campo sejam processados, organizados e visualizados na tela do computador enquanto estão sendo levantados.

De acordo com VEIGA (2000), os programas podem ser considerados a parte mais importante do sistema e possuem basicamente as seguintes características:

- **interface**, que gerencia a conexão dos instrumentos de medidas ao sistema de mapeamento. Os instrumentos podem ser estações totais, GPS e outros dispositivos auxiliares de obtenção de dados como leitoras de código de barra, câmaras digitais e outros;
- **funções para levantamento** - empregadas para processar as informações coletadas em campo como transformações de coordenadas, cálculo de poligonais, geração automática de MDT, etc.;
- **ferramentas CAD** - utilizadas para criar e editar desenhos originados dos dados de campo ou bases já existentes;
- **módulo para SIG** – voltado para exportação de dados para SIG específico e também para a manipulação dos dados coletados.

Existem no mercado vários sistemas dos quais podemos citar, Map 500 da Zeiss, PenMap produzido pela Condor Earth Technologies, Liscad da Leica Geosystems e MidasGIS da Sokkia Limited (VEIGA, 2000).

Os sistemas automatizados permitem que o operador identifique erros e omissões no próprio campo evitando retorno a área levantada. Além disso, elimina várias etapas como anotação de dados, elaboração de croqui, pós-processamento e elaboração de desenho o que proporciona diminuição de tempo e custos.

VEIGA (2000) desenvolveu um protótipo de um Sistema de Mapeamento Automatizado em campo (SMAC) e comparou tempos de levantamento de uma poligonal e pontos de detalhe utilizando o procedimento tradicional, semi-automatizado e utilizando o programa SMAC desenvolvido. No primeiro, as informações de campo foram anotadas em

caderneta de papel e elaborado um croqui da área. Os cálculos foram feitos em calculadora e o desenho final foi elaborado em CAD a partir das coordenadas calculadas. No segundo, as observações foram armazenadas na memória do equipamento e os cálculos e desenho preliminar foram realizados por um programa de topografia. O desenho preliminar foi editado manualmente para gerar o desenho final. Com o programa SMAC foi empregado um "laptop" conectado à estação total. A tarefa do operador se resumiu em fazer a pontaria dos pontos de interesse. O programa se encarrega de configurar o equipamento e solicitar que as medidas sejam feitas

A figura 3.9 apresenta uma comparação entre os resultados.

Figura 3.9: Comparação dos tempos de levantamento nos Sistemas Tradicional, Semi-automatizado e o SMAC.
Fonte: VEIGA, 2000.

3.2 - Sistema de Posicionamento Global - GPS

3.2.1 - Fundamentos

O GPS é um sistema de navegação por satélite desenvolvido pela Força Aérea dos EUA durante as décadas de 70 e 80 e colocado em operação na década de 80. De acordo com HOFMANN-WELLENHOF et al (1997), o GPS foi estabelecido basicamente para proporcionar ao usuário a capacidade de determinar a sua posição, expressa por exemplo pela latitude, longitude e altitude. Pode ser usado em quaisquer condições meteorológicas para determinar posição, velocidade e tempo em relação a um sistema de referência definido para qualquer ponto sobre ou próximo da superfície da terra (WOODEN 1985 apud SEGANTINE, 1999). Tem se constituído no melhor sistema de navegação implantado a nível mundial, tornando-se uma grande revolução na arte de posicionar qualquer objeto sobre ou próximo a superfície terrestre (SEGANTINE,1999).

HOFMANN-WELLENHOF et al (1997) apresentam da seguinte forma, os fundamentos do sistema: o GPS pode ser entendido como um sistema de medição de distâncias a partir de da posição de um satélite no espaço até um ponto de posição não conhecida na superfície da terra, mar, ar ou espaço. Estas distâncias são medidas a partir de um sinal horário transmitido pelo satélite que também transmite simultaneamente a sua posição estimada. As distâncias são derivadas da medida do tempo de deslocamento e velocidade ou da medida da fase do sinal emitido. Em ambos os casos, relógios no satélite e no receptor são utilizados e por não estarem perfeitamente sincronizados, é necessário levar em conta o "erro do relógio". Consequentemente cada equação deste modelo compreende quatro incógnitas que são os três componentes das coordenadas e o erro do relógio. Assim, são necessários pelo menos quatro satélites para que o problema possa ter solução. Na verdade o sistema GPS foi concebido de

forma a manter "visível" quatro ou mais satélites durante as 24 horas do dia e em qualquer ponto da superfície terrestre.

3.2.2 - Componentes do Sistema GPS

O sistema GPS constitui-se de três segmentos:

- segmento espacial , composto por uma rede de satélites em órbitas quase circulares com uma altitude de cerca de 20200 Km de altitude com um período de aproximadamente 12 horas siderais (SEGANTINE, 1999). Em março de 2000 a constelação consistia de 28 satélites operacionais (SILVA, 2000). Estão dispostos em seis planos orbitais inclinados de 55 graus em relação ao equador. Com esta constituição o segmento espacial proporciona uma cobertura global de no mínimo 4 satélites sendo que, ocasionalmente, até 12 satélites podem ser visíveis (HOFMANN-WELLENHOF et al, 1997);
- segmento de controle - composto por um conjunto de estações terrestres, é responsável pela operação do sistema GPS. Têm o propósito de rastrear os satélites GPS e fornecer suas posições periodicamente, corrigir as efemérides transmitidas e os erros dos relógios, determinar o tempo GPS, prever as efemérides e o comportamento dos relógios dos satélites e atualizar, periodicamente, a mensagem de navegação para cada satélite em particular (SEGANTINE, 1999);
- segmento dos usuários- utilizam o sistema para as diversas aplicações fazendo uso de receptores que permitem determinar a posição e a velocidade dos pontos observados. Os usuários são divididos em usuário civil e usuário militar. Os civis tem algumas limitações de acesso aos sinais GPS como é o caso do código P, de uso restrito aos militares e até há bem pouco tempo a degradação intencional do sinal (SA) utilizada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) para limitar a precisão do

sistema. A "Disponibilidade Seletiva" (SA) foi desativada em primeiro de Maio de 2000.

A figura 3.10 apresenta a estrutura básica de um receptor GPS e a figura 3.11 mostra um receptor existente no mercado.

Figura 3.10 - Estrutura básica de um receptor GPS.
Adaptado de Hofmann-Wellenhof et al, 1997

Figura 3.11- Receptor GPS de dupla frequência
equipado com rádio para levantamentos em
tempo real. Fonte: Leica, 1999.

A tabela 3.1 resume as funções e produtos de cada um dos segmentos do sistema GPS.

Tabela 3.1: Funções e produtos de cada segmento do sistema GPS.
Fonte: LEICK, 1995.

SEGMENTO	ENTRADA	FUNÇÃO	PRODUTO
Espacial	<ul style="list-style-type: none"> Mensagem de navegação 	<ul style="list-style-type: none"> Gera e transmite códigos e mensagens de navegação através das portadoras 	<ul style="list-style-type: none"> Código P(Y) Código C/A Portadoras L1 e L2 Mensagem de navegação
Controle	<ul style="list-style-type: none"> Observações no código P(Y), Tempo (UTC) 	<ul style="list-style-type: none"> Tempo GPS Efemérides Gerenciamento dos satélites 	<ul style="list-style-type: none"> Mensagem de navegação
Usuário	<ul style="list-style-type: none"> Observações da fase da portadora e códigos Mensagem de navegação 	<ul style="list-style-type: none"> Solução de navegação, posicionamento relativo, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Posição, velocidade e tempo

3.2.3 - Métodos de Observações GPS

Enquanto que na topografia se mede diretamente ângulos e distâncias, com o GPS se obtém matematicamente as coordenadas espaciais do centro da antena coletora, através da resolução de sistemas de equações que envolvem coordenadas, tempo e medida da fase do sinal emitido pelos satélites. Atualmente já estão disponíveis receptores com capacidade de coletar 20 posições por segundo.

O levantamento pode ser no modo absoluto, quando se dispõe de um único receptor. Este modo apresenta uma precisão planimétrica de 5 a 20 metros.

Para minimizar os erros, foram desenvolvidos métodos diferenciais que requerem no mínimo um par de receptores. Nestes métodos um dos receptores deve estar estacionado em um ponto de coordenadas fixas (Referência ou Base) e por meios estatísticos e matemáticos determina o vetor espacial entre a antena do ponto base e a antena do segundo receptor. Com os valores das componentes espaciais do vetor é possível determinar as coordenadas do segundo receptor (LEICK, 1995).

O método diferencial se divide em dois grupos:

- diferencial de código (DGPS) - É um processo matematicamente mais simples e permite a obtenção da coordenada do segundo receptor de forma mais rápida e com precisão de meio metro;
- método diferencial de fase da portadora - Este método baseia-se na variação da fase da onda transmitida pelo satélite. É um método matematicamente mais complexo porém permite se obter a coordenada do segundo receptor com precisão centimétrica.

O segundo receptor pode ser operado no modo estático, isto é, permanece estacionário por um período de 10 minutos a várias horas. Devido a abundância de dados é possível obter coordenadas com precisão subcentimétrica (SCHAAL,1998). Pode ainda ser operado no modo cinemático, isto é, a antena do segundo receptor se encontra em movimento. O modo cinemático é muito usado no método DGPS. No método diferencial de fase este método requer mais cuidados no campo.

Atualmente se dispõe do método cinemático em tempo real, que combina diferencial de código e fase da portadora em conjunto com um sistema de transmissão dos dados do receptor da base para o receptor móvel e um processamento em tempo real.

3.2.4 - Aplicações do GPS

As possibilidades de utilização do GPS é extremamente ampla para usos em geodesia, topografia, navegação e áreas afins. Pode ser usado em controle de levantamentos, levantamentos cadastrais, geodinâmica, problemas de engenharia, navegação de precisão, fotogrametria entre outros.

A tabela 3.2 apresenta as várias classes de aplicações do GPS e as precisões exigidas de acordo com SEEBER, 1993:

Tabela 3.2 - Classes de aplicação do GPS. Fonte: SEEBER, 1993.

CLASSE	PRECISÃO MÉDIA RELATIVA REQUERIDA (ppm)	EXATIDÃO CORRESPONDENTE (m)
Explorações geofísicas e sist. de inf. geográfica (SIG).	100	1 – 50
Mapas em pequenas escalas, sistemas de controle de veículos.	10	0,2 – 1
Levantamentos cadastrais e levantamentos de engenharia de média precisão.	5 – 1	0,01 – 0,05
Geodésia, controle de levantamentos de alta precisão.	1 – 0,5	<0,01 – 0,05
Geodinâmica e levantamentos de engenharia de alta precisão.	0,1	0,001 – 0,02

A possibilidade de precisão adequada e curto período de observação faz do GPS um excelente instrumento para a densificação de redes em pequenas distâncias (1 a 10 km) e aplicações no cadastro urbano e rural quando combinado com estações totais (SEEBER, 1993).

O maior problema do GPS nos levantamentos cadastrais urbanos é a obstrução do sinal dos satélites por edifícios, árvores, torres, pontes, entre outros. Desta forma a utilização do GPS em áreas urbanas está restrito a áreas abertas. No caso de áreas com amplas ruas e edificações baixas, métodos semi-cinemáticos podem ser utilizados (SEEBER, 1993).

O GPS é um potente meio para aquisição de dados para Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), como por exemplo o cadastramento de ruas, edifícios, dutos, elementos da infra-estrutura urbana, limites de propriedades entre outros. Têm contribuído muito para a uniformização de sistemas de referência, como por exemplo a implantação de redes de referências cadastrais.

3.2.5 - O GPS e o Cadastro Técnico Urbano no Brasil

Muitas empresas tem utilizado o GPS, tanto na implantação de sistemas de referência para apoiar levantamentos por fotogrametria e

topografia, como na execução do próprio cadastro básico e dos elementos da infra-estrutura urbana (PEIXOTO, 1997) (figura 3.12). Particularmente no cadastramento de elementos da rede de infra-estrutura urbana pertencentes a componentes dos sistemas de água potável, esgoto sanitário, coleta de águas pluviais, rede elétrica e telefone tais como tubulações, hidrantes, poços de visita, postes, etc, o GPS tem sido intensamente utilizado com resultados muito bons. Isto se explica por duas características básicas do GPS que favorecem o cadastramento destes elementos: é possível conseguir a exatidão normalmente requerida para locação destes elementos em pouquíssimo tempo de ocupação e permitem a rápida digitação de atributos e validação dos dados introduzidos para alimentar SIG, CAD ou qualquer outra base de dados (GILBERT, 1996). A maioria dos fabricantes têm uma linha específica de receptores projetados especialmente para esse fim.

Figura 3.12 - Cadastramento urbano com GPS. Fonte : Revista Infogeo

Embora apresente grandes vantagens, em alguns aspectos, se comparado com os outros métodos descritos, o GPS apresenta limitações que podem dificultar e até impedir a realização de levantamentos em áreas

urbanas. Além do bloqueio dos sinais dos satélites por edifícios e árvores existe a ocorrência de multicaminhamento (SCHAAL, 1998), que causam imprecisão ou impedem o levantamento.

Muitas são as questões que devem ser avaliadas ao se decidir efetuar levantamentos utilizando o GPS, talvez o confronto “precisão espacial que a informação requer versus velocidade de obtenção da informação seja a análise mais importante ao se decidir efetuar um cadastro em ambiente urbano utilizando o GPS (GILBERT, 1997). Ela envolve pontos como os requisitos da informação a ser coletada, tipo de receptor e o método de observação a ser utilizado, entre outras.

3.3 - Fotogrametria

3.3.1 - Definição e Aplicações

A Sociedade Americana de Fotogrametria define Fotogrametria como a arte, ciência e tecnologia de se obter informações confiáveis de objetos físicos e do meio ambiente, utilizando processos de captação, medições e interpretações de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos (MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY, 1980).

De acordo com WOLF & DEWITT (2000), a definição acima traz implícita a divisão da Fotogrametria em duas áreas distintas: a primeira, a Fotogrametria métrica, diz respeito à obtenção de medidas precisas a partir de fotos e outras informações tais como a locação relativa de pontos. Isto possibilita a determinação de distâncias ângulos, áreas, volumes, elevações e tamanho e forma dos objetos. A segunda, a Fotogrametria Interpretativa ocupa-se principalmente do reconhecimento e identificação de objetos e determinação do seu significado através de análises cuidadosas e sistemáticas. Ela inclui a Fotointerpretação e o Sensoriamento Remoto. A Fotointerpretação inclui o estudo de imagens fotográficas, enquanto que o Sensoriamento Remoto inclui não somente a análise de fotografias, mas também o uso de dados obtidos a partir de uma ampla variedade de instrumentos, incluindo câmaras multiespectrais, sensores infra-vermelhos e radares, entre outros.

A fotogrametria tem aplicabilidade mundialmente reconhecida em diferentes áreas, tais como mapeamento Cartográfico (a sua mais importante aplicação), geologia, engenharia florestal, projetos e construções (destacando-se a elaboração de ante-projetos de vias em geral), cadastro

urbano e rural, arquitetura e arqueologia, meteorologia e oceanografia, medicina, criminologia.

3.3.2 - Histórico

A Fotogrametria deve seu começo à invenção da fotografia em 1837 pelo pintor e físico francês, Luis Daguerre (1789-1851). Em 1849, Aimé Laussedat, um oficial do corpo de engenheiros da marinha francesa, provou que a fotografia poderia ser usada com muitas vantagens na confecção de mapas topográficos. No início do século XX, com o aparecimento do dirigível e posteriormente com o aparecimento do avião surgiram os levantamentos aerofotográficos para fins de mapeamento (MARCHETTI & GARCIA, 1977). A partir de então a fotogrametria se firmou como o mais tradicional método de se mapear.

Costuma-se dividir a história da fotogrametria em três períodos básicos de desenvolvimento até os dias atuais: **fotogrametria analógica**, **fotogrametria analítica** e **fotogrametria digital** (SILVA, 1998). A **fotogrametria analógica**, utiliza instrumentos que reproduzem fisicamente o modelo fotogramético através de raios óticos ou hastes mecânicas. A **fotogrametria analítica** utiliza restituidores analíticos que executam o processamento matemático do modelo e a **fotogrametria digital**, realiza operações da fotogrametria tradicional tendo como base imagens em formato digital. Utiliza procedimentos analíticos de cálculo, porém, imagens na forma numérica ou digital, obtidas via “scanners” no lugar de negativos, diapositivos ou papel. Dessa maneira as operações efetuadas com as imagens não são mais ótico-eletromecânicas, mas digitais via “softwares” específicos (ROSALEN, 1997)

Pode-se dizer que desde a fotogrametria analógica até a fotogrametria digital houve um significativo desenvolvimento na busca de aumento de precisão e aumento de produção a custos menores (SILVA, 1998).

SCHENK (1999), inclui uma fase inicial chamando-a de “primeira geração da fotogrametria”. Esta fase antecederia o surgimento da

estereofotogrametria que marcou o início da fotogrametria analógica. A figura 3.13 apresenta os períodos de desenvolvimento (gerações) da fotogrametria na visão de Schenk. É importante notar que o aparecimento de uma nova fase não significa necessariamente o desaparecimento da anterior.

Figura 3.13 : Gerações da fotogrametria
Adaptado de Schenk, 1999.

A Tabela 3.3 apresenta uma comparação de metodologias de captação, orientação e restituição fotogramétrica de acordo com ROSALEN (1997).

Tabela 3.3- Metodologias de captação, orientação e restituição fotogramétricas. Fonte: Rosalen, 1997.

	ANALÓGICA	SEMI-ANALÍTICA	ANALÍTICA	DIGITAL	DIGITAL (futuro)
CRONOLOGIA	Até a década de 70	A partir dos anos 60/70. utilizada até hoje	A partir da década de 70 até hoje	A partir da década de 90	
CAPTAÇÃO DA IMAGEM	Câmara fotográfica	Câmara fotográfica	Câmara fotográfica	Câmara fotográfica e "Scanners"	Câmara Digital
IMAGEM UTILIZADA NA RESTITUIÇÃO	Fotográfica. Diapositivos, negativos e papel	Fotográfica. diapositivos, negativos e papel	Fotográfica. diapositivos, negativos e papel	Digital (Arquivos Numéricos)	Digital (arquivos numéricos)
ORIENTAÇÃO	Analógica	Analógica (orientação absoluta em alguns casos é realizada analiticamente)	analítica	Analítica	analítica
GERAÇÃO DO MAPA	Analógica	Analógica	Analógica	Analógica	Digital (correlação de imagens)
GERAÇÃO DE CURVAS DE NÍVEL	Analógica	Analógica	Analógica	Digital (MDT)	Digital (MDT)
EDIÇÃO DO MAPA	Graficamente	Digital (CAD)	Digital (CAD)	Digital (CAD)	Digital (CAD)
OBSERVAÇÕES	-	-	Sistema Multitarefa (aerotriangulação, ortofoto, etc)	Sistema Multitarefa (aerotriangulação, ortofoto, etc)	

3.3.3 - Fotogrametria Digital

A fotogrametria digital utiliza imagens digitais em lugar das fotografias tradicionais. Segundo SCHENK (1999), esta é a principal diferença da fotogrametria convencional e todas as outras diferenças são consequências desse fato.

Um ambiente de produção fotogramétrico digital compõe-se basicamente de dispositivos para produção da imagem digital, estação fotogramétrica digital que é a responsável por todo o processamento e dispositivos de saída. O dispositivo de entrada é uma câmara digital ou um

“scanner” para digitalizar fotografias aéreas já existentes. Ambos geram como produto uma imagem digital. A DPW (Digital Photogrammetric Workstation), que é o principal componente de um ambiente fotogramétrico digital, constitui-se de dispositivos de armazenamento e processamento e visualização de dados além de uma interface que permite a interação com o usuário. Os dispositivos de saída compreendem um gravador de cópias em formato raster e um plotter para cópias em formato vetorial.

A figura 3.14 mostra um diagrama esquemático de um “ambiente fotogramétrico digital”.

Figura 3.14 : Diagrama esquemático de um ambiente fotogramétrico digital mostrando a estação fotogramétrica digital (DPW) como o seu mais importante componente. Adaptado de SCHENK, 1999.

Os componentes básicos de uma estação fotogramétrica digital são (SCHENK, 1999):

- CPU - Unidade Central de Processamento, deve ser de bom desempenho tendo em vista o grande volume de cálculos normalmente efetuados;
- sistema operacional. O UNIX foi quase que unicamente o sistema utilizado nas DPW até o aparecimento do Windows NT para PCs, hoje também bastante utilizado;

- memória principal - que deve ser suficiente para um grande volume dados processados. Uma configuração típica para as DPW é de 512 MB, ou mais, de RAM;
- unidade de armazenamento de dados que deve ser suficiente para armazenar imagens com grande volume de dados. As opções disponíveis são os discos rígidos, discos óticos e fitas magnéticas;
- sistema de visualização gráfica que é um crucial componente do DPW. Tem como finalidade acessar dados raster (imagens) ou vetoriais (SIG), processá-los e armazená-los em memória apropriada e atualizar o monitor. É ainda responsável pelo gerenciamento do “mouse” e o cursor;
- sistema de visualização em 3-D, que é um componente específico das DPWs, não encontradas em outras estações de trabalho. Ele deve permitir uma confortável observação do estereomodelo;
- dispositivo de medidas em 3-D, é utilizado para medições no estereomodelo;
- interface com o usuário, que consiste em componentes de hardware tais como, teclado, mouse e outros dispositivos auxiliares como manivelas e pedais que permitem emular um ambiente de restituição analítica.

A figura 3.15 apresenta uma estação fotogramétrica digital:

Figura 3.15 : Estação fotogramétrica digital
Fonte: Revista Infogel, 1999.

3.3.4 - Obtenção da Imagem Digital

As imagens digitais são obtidas diretamente utilizando câmaras digitais ou indiretamente pela numerização de fotografias convencionais através de “scanners”. Segundo SCHENK (1999), a maioria dos especialistas concordam que levará ainda alguns anos para que os sistemas de aquisição de dados digitais possam substituir completamente as câmaras aéreas. Desta maneira, os “scanners” continuam sendo um importante componente dos sistemas fotogramétricos digitais e determinam juntamente com os algoritmos utilizados a exatidão dos produtos obtidos pela fotogrametria digital.

FRICKER et al (1999), afirmam que para competir com as câmaras aéreas, os sensores digitais aéreos devem possuir:

- ampla área de cobertura;
- alta resolução e alta precisão geométrica e radiométrica;
- imagens multiespectrais;
- imagens que possibilite a montagem de modelos estereoscópicos.

Atualmente alguns modelos de sensores digitais aéreos com características que se aproximam das câmaras convencionais tem sido apresentados ao mercado. Eles se baseiam no conceito de imageamento a partir de “Três linhas” de sensores CCD, proporcionando “vistas à vante”, “vistas verticais” e “vistas à ré”, a partir da aeronave, como apresentado na figura 3.16.

Fig. 3.16 : Comparação da obtenção de imagens pelo “sensor digital de três linhas” e a câmara aérea convencional.
Adaptado de FRICKER et al, 1999

As imagens de cada linha de sensores são reunidas em faixas e as características do relevo do terreno aparecem em perspectiva geométrica, similar à perspectiva central obtida nas fotografias aéreas convencionais, como mostra a figura 3.17.

Figura 3.17 : Efeito do relevo do terreno na imagem do sensor de “três linhas” e da fotografia aérea convencional. Adaptado de FRICKER et al, 1999.

Os ângulos de obtenção das imagens nos sensores de três linhas são fixos. Com as três linhas o recobrimento é triplo em 100% da área imageada, possibilitando formar pares estereoscópicos da faixa 1 com a faixa 2, 2 com

3 e 1 com 3. No sistema convencional em apenas 60% da área fotografada isto é possível.

Apesar dos grandes avanços e algumas vantagens significativas, das quais podemos citar a disponibilidade imediata dos dados na forma digital e a alta resolução radiométrica (RENOUARD & LEHMANN, 1999), os sensores digitais apresentam ainda resolução geométrica aquém das fotografias convencionais e necessitam de um sistema de posicionamento e orientação de alta performance, que utiliza um receptor GPS e uma unidade inercial, para monitorar movimento do sensor fornecendo dados que são utilizados na retificação da imagem obtida.

A figura 3.18 apresenta o sensor aéreo digital ADS40, já disponível comercialmente, produzido pela LH Systems apresentado no congresso da ISPRS em Amsterdã, Holanda em Julho de 2000.

Figura 3.18: Sensor aéreo digital ADS40.
Fonte.: LH SYSTEMS, 2000

3.1.5 - Pontos de Apoio Aerofotogramétrico

Os pontos de apoio aerofotogramétricos são pontos no terreno com coordenadas conhecidas em um determinado sistema de referência e que

podem ser claramente identificados na fotografia. Eles são utilizados para a orientação absoluta do modelo estereoscópico.

De maneira geral, os pontos de controle devem ser identificáveis e bem definidos em todas as fotografias e devem estar situados em locais adequados nas fotografias.

O levantamento dos pontos de apoio normalmente é executado depois da obtenção da fotografia. Uma seleção preliminar dos pontos na fotografia pode ser feita em gabinete mas a seleção final deve ser feita no campo, com as fotografias em mãos. Isto possibilita que se possa certificar da adequabilidade do ponto, inclusive das condições de acesso, condições do terreno e conveniência do levantamento (WOLF & DEWITT, 2000).

Para orientação de estereo-modelos, são necessários no mínimo três pontos de apoio horizontal e quatro pontos de apoio vertical em cada modelo (WOLF & BRINKER, 1994). Para mapeamento de grandes áreas, contudo, o custo do levantamento dos pontos de apoio é muito alto e nessas situações, a aerotriangulação analítica é utilizada para estabelecer muitos dos pontos necessários, a partir de uma rede bem espaçada de pontos levantados no campo (WOLF & BRINKER, 1994).

Em algumas áreas tais como campinas, florestas e desertos, não existem pontos naturais adequados para o apoio fotogramétrico. Neste caso pontos artificiais podem ser colocados no terreno antes da tomada da fotografia. Pontos artificiais normalmente proporcionam melhores imagens e são de fácil identificação e por isso mesmo são usados em trabalhos fotogramétricos mais precisos, existindo ou não pontos naturais. Traz como desvantagem o fato de se constituir em um trabalho adicional, pode ser movido entre o tempo de sua colocação e a tomada da fotografia e pode não aparecer em localização não favorável na fotografia.

Vários são os tipos de alvos artificiais usados como pontos de apoio fotogramétrico. É desejável que tenha uma cor que possibilite um bom contraste. Cores claras contra um fundo escuro dão bons resultados. Devem ser simetricamente centrados no ponto de controle e possuir dimensões que proporcione uma imagem adequada na fotografia. As dimensões do alvo

devem ser escolhidas com base na escala desejada para a fotografia. A figura 3.19 apresenta um formato de alvo artificial comumente utilizado. A distância “D” deve aparecer na fotografia com cerca de 0,03 mm a 1 mm (WOLF & DEWITT, 2000). O valor de D no solo, pode assim ser calculado em função da escala da fotografia.

Figura 3.19 : - Alvo fotogramétrico artificial.
Fonte: WOLF & DEWITT, 2000.

3.1.6 - Fases do Processo de Produção Fotogramétrica em uma Estação Fotogramétrica Digital.

Neste item apresentaremos a sequência de procedimentos necessários para a geração de produtos fotogramétricos em uma Estação Fotogramétrica Digital.

1. **Preparação** - A fase de preparação começa com a definição do projeto, incluindo informações sobre o tamanho do projeto, tolerâncias, escala, calibração da câmara, pontos de controle e parâmetros do sistema. De maneira geral, esta fase serve para entrada de informações.
2. **Procedimentos de Orientação:**
 - orientação interior - o processo de orientação interior determina o relacionamento entre o sistema de coordenadas da câmara e da imagem. Consiste em transformar as coordenadas das marcas fiduciais na fotografia para os valores fornecidos pelo certificado

de calibração da câmara (KRAUS, 1993). Na fotogrametria digital, onde se trabalha com imagens digitais, deve-se levar em consideração a geometria do “scanner” e os seus erros sistemáticos. Os parâmetros de transformação devem relacionar, portanto, coordenadas do píxel e coordenadas da fotografia (SCHENK, 1999);

- orientação relativa - é o processo de orientação de uma imagem em relação a outra. Na prática é realizada fixando um dos cursores em uma imagem e deslocando o outro para o ponto homólogo na outra imagem. A maioria dos softwares permite algum tipo de automatização desta tarefa;
 - orientação absoluta - nesta etapa estabelece-se o relacionamento entre o modelo estereoscópico e o terreno (para o caso de aerolevantamentos da superfície terrestre) sendo necessário o levantamento de pontos de apoio fotogramétricos. Requer a identificação visual de pontos na imagem para que se possa informar ao software as coordenadas de cada um.
3. **Aerotriangulação** - De acordo com KRAUS (1993), a aerotriangulação desobriga a fotogrametria da necessidade do levantamento de pelo menos três pontos de apoio em cada estereomodelo, possibilitando transpor áreas sem pontos de controle. Isto significa uma grande economia devido os altos custos dos levantamentos de campo. Em uma estação fotogramétrica digital, a aerotriangulação pode ser totalmente automatizada significando redução de tempo no próprio processo de produção fotogramétrica.
 4. **Geração Automática de MDT** (Modelo Digital de Terreno) - Uma das grandes metas da fotogrametria digital tem sido a geração automática de MDT. Consideráveis progressos foram feitos nos últimos anos, mas muitos problemas ainda persistem impedindo soluções gerais e robustas (SCHENK, 1999). Para a produção de ortofotos os MDTs normalmente são usados com sucesso dentro de alguns limites de precisão.

5. **Produção de Ortofoto Digital** - As estações fotogramétricas digitais possibilitam a produção de ortofotos, particularmente no caso de imagens em pequenas escalas. Disponibilizam ainda potentes ferramentas para o processamento de imagens e superposição de informações tais como dados vetoriais ou texto, normalmente utilizados na produção de ortofotos.

3.3.7 – O Estágio Atual de Utilização da Fotogrametria Digital no Brasil

Atualmente, no Brasil, a fotogrametria digital está sendo utilizada, de forma sistemática, pela maioria das empresas de levantamentos utilizando sistemas digitais totalmente computadorizados (TAVARES, 1998). Este fato comprova a eficiência e diminuição de custos se comparada com os métodos fotogramétricos anteriores.

Apesar disso o custo de aquisição e de uma estrutura de cobertura aerofotogramétrica que inclui aeronave, câmara aérea, piloto, navegador, operador de câmara é muito elevado. Além disso todas as fases do mapeamento aerofotogramétrico, desde o voo para a obtenção das fotografias, passando pelo processamento fotográfico, apoio terrestre e aerotriangulação, restituição digital, edição gráfica e produto final, dependem de equipamentos de custo inicial alto e pessoal altamente especializado.

As pesquisas têm buscado métodos alternativos. AMORIM (1993) apresenta viabilidade do uso de fotografias aéreas de pequeno formato em levantamentos cadastrais com resultados que atendem o Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, estabelecido pela Legislação Federal de Cartografia e Aerolevantamento, para cartas de classe "A" em várias escalas. Para LIMA & LOCH (1999) as fotografias aéreas obtidas em câmaras de pequeno formato, entretanto, não podem ser consideradas como um substitutivo integral da técnica das fotografias aéreas convencionais, mas apenas como um meio mais simples, mais econômico e suplementar de obtenção das fotografias aéreas de áreas pequenas.

Apresentam limitações quanto a precisão e requerem maior número de pontos de controle.

MARISCO (1997), apresenta potencialidades técnicas e econômicas na utilização de ortofotos digitais para atualizar plantas cadastrais.

AMORIM (2000), propõe a utilização de estereo-pares híbridos na atualização cartográfica.

TOMMASELLI et al (2000), apontam estratégias para a extração automática de feições, o que significaria uma diminuição no tempo de execução da etapa de restituição.

Comercialmente as empresas de fotogrametria têm procurado combinar ou simplificar métodos para determinada finalidade. Para o caso de revisão cadastral para cobrança de Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), por exemplo, tem se utilizado o seguinte procedimento (IDOETA et al, 2000):

- diagnóstico da situação existente, tanto da base cartográfica quanto do cadastro fiscal e imobiliário;
- planejamento das atividades a serem desenvolvidas;
- vôo: escolha da escala (a mais frequente 1:5000), plano de vôo, pedido de licença ao EMFA, execução do vôo, revelação, copia e montagem para verificação, controle e preparação de foto-índice;
- escolha das fotos para ampliação e execução da ampliação (a mais frequente em 1:1000);
- revisão cadastral;
- revisão em gabinete do cadastro existente comparado com a foto ampliada;
- determinação de parâmetros de aceitação das informações existentes no cadastro comparada aos obtidos na fotografia ampliada;
- verificação em campo dos elementos constatados fora dos parâmetros acima definidos.

Este procedimento evita o processo de restituição. Em alguns casos o custo da restituição fotogramétrica pode chegar a 90% do valor de um

projeto de revisão cadastral. Neste caso é possível reduzir o custo da unidade cadastrada em 75%.²

² TOSTES, F. A.; (2000). Base Aerofotogrametria e Projetos S/A. São Paulo. *Comunicação pessoal*.

3.4 - Sensoriamento Remoto

De maneira geral Sensoriamento Remoto pode ser definido como uma metodologia empregada para estudar características de objetos usando dados obtidos de um ponto de observação remoto. Em um contexto mais específico, é a extração de informações da superfície terrestre a partir de imagens obtidas de vários tipos de sensores transportados em aeronaves e satélites (WOLF & BRINKER, 1994).

Como aplicações do sensoriamento remoto pode-se relacionar (MANUAL OF REMOTE SENSING, 1983; ROESER et al, 2000): cartografia; forma e estrutura da terra, unidades litológicas, recursos minerais, Inventários em geral, avaliação e monitoramento de sistemas ambientais; estudo de mananciais, estudo do ambiente marinho; clima; análise de colheita, solos; cadastro e análise urbana; transportes e muitos outros. Atualmente existe um grande número de tipos de sensores orbitais e aeroptransportados que permitem a obtenção de dados digitais da superfície terrestre com aplicação cartográfica, inclusive com aplicações cadastrais urbanas (NETO, 1996; AL-NAKIB, 2000). As imagens orbitais começam a concorrer para determinadas aplicações do cadastro além do tradicional uso do sensoriamento remoto como por exemplo o mapeamento em escalas médias e pequenas.

Os sensores podem ser divididos em duas classes: os ativos, que emitem uma radiação de comprimento de onda na faixa rádio (0,8 a 100 cm) e medem a intensidade da radiação de retorno, refletida pela superfície terrestre; os passivos, que medem a radiação solar de retorno nas faixas infravermelho e visível (ótico) e a radiação termal emitida pela superfície da terra (NETO, 1996).

3.4.1 - Sistemas de Imageamento Orbitais

O programa Landsat foi o primeiro sistema (1972) a obter sucesso utilizando sensores ótico-eletrônicos, dando origem a uma série de satélites de detecção remota, alguns dos quais criados com características mais adequadas para o uso em cartografia. O satélite SPOT é um exemplo. As suas imagens permitem visualização estereoscópica e portanto o levantamento de dados tridimensionais do terreno.

Após o sistema SPOT, surgiram vários outros. A tabela 3.4 apresenta as características e aplicações de imagens de alguns sensores passivos colocados em satélites.

Tabela 3.4: Características e aplicações de imagens de satélites.
Adaptado de NETO, 1996.

Plataforma	Altitude	Resolução (m)	Área coberta (km)	3D (s/n)	Escala Recomendada	Aplicação
LANDSAT	705 Km	30 – 120	185	não	1/200000 e 1/100000	Uso dos solos, geologia, etc.
SPOT	830 Km	10 – 20	60	Sim	1/50000 e 1/25000	Uso dos solos, cartografia, MDT, planejamento regional, etc.
IRS-1 ^A	904 Km	37 – 76	148	não	1/200000 e 1/100000	Uso dos solos, geologia
JERS-1	568 Km	18 x 24	75	sim	1/50000	Monitoração de fenômenos geológicos, uso dos solos, etc

A tabela 3.5 mostra alguns sistemas de radar colocados em satélites.

Tabela 3.5: Sistemas de radar em satélites. Fonte: NETO, 1996.

PLATAFORMA	ALTITUDE	RESOLUÇÃO	APLICAÇÃO
ERS –1	785 Km	30 m	Ecologia, geologia, Recursos naturais
JERS-1	568 Km	18 m	Estudo de fenômenos geológicos
RADARSAT	798 Km	25 X 28 m (Padrão) 11 X 9 m (refinamento)	Topografia, recursos naturais e uso do solo

O satélite Landsat 7, lançado em abril de 1999, permite a aquisição simultânea de imagens com 15, 30 e 60 metros abrindo a possibilidade de aplicações rurais e urbanas.

A figura 3.20 apresenta uma imagem da cidade de Brasília feita pelo satélite Landsat 7.

Figura 3.20 : Imagem da cidade de Brasília obtida do satélite Landsat 7. Fonte: Intersat

3.4.2 – Sistemas Orbitais de Alta Resolução

3.4.2.1 - O Sistema IKONOS

O satélite IKONOS da empresa americana Space Imaging, foi construído pela empresa Lockheed Martin em Sunnyvale, Califórnia, e lançado em setembro de 1999. O satélite leva a bordo um sensor que pode gerar imagens pancromáticas com resolução de 1 m e imagens multiespectrais com resolução de 4 m (GERLACH, 2000).

A figura 3.21 apresenta uma imagem do IKONOS.

**Figura 3.21: Imagem do satélite IKONOS.
Plaza de Mayo, Buenos Aires.
Fonte: Revista Infogeo, 2000**

De acordo com GERLACH (2000), as imagens são processadas de forma a gerar produtos com seis níveis de precisão diferentes. A tabela 3.6 informa as precisões dos diversos produtos gerados a partir das imagens do IKONOS.

Tabela 3.6: Precisões dos produtos cartográficos gerados a partir das imagens do satélite IKONOS. Fonte: Gerlach, 2000.

Produto	Ce90	Desvio Padrão	Escala
Geo	50,0 m	23,3 m	1:100000
Reference	25,4 m	11,8 m	1:50000
Map	12,2 m	5,7 m	1:24000
Pro	10,2 m	4,8 m	1:12000
Precision	4,1 m	1,9 m	1:4800
Precision Plus	2,0 m	0,9 m	1:2400

TOUTIN & CHENG (2000), após realizarem testes com as imagens IKONOS afirmam que é possível corrigir dados do IKONOS (produto Geo), alcançando precisões de 4-5 metros. Apesar de não possuir informações

detalhadas do sensor do satélite (a Space Imaging não libera os dados), estes autores utilizaram informações básicas dos arquivos de imagem e de metadados e aplicaram um método de retificação desenvolvido no CCRS (Centro Canadense de Sensoriamento Remoto). Concluem que o maior inconveniente para o uso adequado e eficiente dos produtos IKONOS é a impossibilidade inerente de processar e ortorretificar as imagens por parte dos próprios usuários. O modelo do CCRS, contudo pode ser usado para corrigir os produtos Geo, de custo mais baixo.

3.4.2.2 - Sistema de Mapeamento Espacial DK1

O sistema DK1 é um sistema de mapeamento espacial de alta resolução (1 m) do governo russo, que adquire imagens em filme pancromático de alto poder de resolução a partir de um satélite em órbita elíptica a uma altitude de aproximadamente 220 Km. As imagens são sempre obtidas em Nadir. O filme exposto é recuperado, processado e escanizado, gerando uma imagem de 8 bits que é posteriormente retificada (Revista A MIRA, 2000). As imagens digitais ortoretificadas encontram-se disponíveis para comercialização no mercado civil. De acordo com a GeoDesign International, empresa que comercializa as imagens no Brasil, a exatidão de posicionamento pode chegar de 1,5 a 2 metros. A literatura ainda não dispõe de qualquer relato de estudo de avaliação destas imagens.

A figura 3.22. apresenta uma fotografia obtida pelo sistema DK1.

Figura 3.22: Imagem da cidade do Rio de Janeiro obtida pelo Sistema DK1. Fonte: Revista A MIRA, 2000

3.4.2 - Sistema de Radar Aerotransportado AES-1

Desenvolvimentos recentes em sensores aerotransportados SAR (Synthetic Aperture Radar) de alta resolução têm permitido levantamentos com alta precisão em posição e altura. Estes radares têm como grande vantagem a possibilidade de operar em grandes áreas independentemente da cobertura de nuvens.

A empresa alemã, Aero-Sensing Radarsysteme, colocou em operação em outubro de 1996 um sistema de radar chamado AeS-1, que funciona na banda X e é capaz de produzir imagens com resolução acima de 0,5 m x 0,5 m e precisão na altura de 0,05 a 0,5 m. Maiores detalhes do sistema podem ser conseguidos em ARBIOL & GONZALES (2000) e AL-NAKIB (2000).

Alguns projetos de levantamentos de grandes áreas, inclusive com aplicações cadastrais urbanas, foram realizados utilizando o sistema Aes-1 na Indonésia, Brasil e Venezuela. No Brasil foi levantada em 1998, uma área de cerca de 10000 Km² com uma resolução geométrica de 0,5 m x 0,5 m e precisão de 0,25 m na altura. O objetivo deste levantamento foi subsidiar a elaboração do projeto de transposição das águas do Rio São Francisco em fase de planejamento.

A figura 3.23 mostra a representação altimétrica de uma área levantada com o AeS-1 e a figura 3.24 uma planta cadastral urbana.

Figura 3.23: Representação de MDT de uma área de 250m x 135 m do Nordeste do Brasil. Fonte: AL-NAKIB, 2000.

Figura 3.24: Planta cadastral, obtida a partir de levantamento com o AeS-1 escala 1:5000. Fonte: AL-NAKIB, 2000.

4 - A REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL

De acordo com a NBR 14166 (1998), uma Rede de Referência Cadastral é uma “rede de apoio básico de âmbito municipal para todos os serviços que se destinem a projetos, cadastros ou implantação e gerenciamento de obras, sendo constituída por pontos de coordenadas planialtimétricas, materializados no terreno, referenciados a uma única origem (Sistema Geodésico Brasileiro – SGB) e a um mesmo sistema de representação cartográfica. A rede deve permitir a amarração e consequente incorporação de todos os trabalhos de topografia e cartografia na construção e manutenção da Planta Cadastral Municipal e Planta Geral do Município. Sendo esta rede amarrada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), fica garantida a posição dos pontos de representação e a correlação entre os vários sistemas de projeção ou representação”.

4.1 – Estruturação da Rede de Referência Cadastral

Conforme a NBR 14166, a rede de referência deverá ser estruturada, no que for pertinente, com os seguintes elementos, classificados em escalonamento hierárquico por nível de precisão em ordem decrescente :

1. Pontos planimétricos:

- marco geodésico de precisão: Marco geodésico obtido por poligonação, triangulação, trilateração, dupla irradiação, rastreamento de satélites do sistema GPS-NAVSTAR no método

diferencial ou outro método geodésico que vier a ser desenvolvido, com a finalidade de transportar o apoio geodésico básico do Sistema Geodésico Brasileiro- SGB – às proximidades e/ou ao interior da área municipal;

- marco geodésico de apoio imediato: Marco geodésico obtido por poligonação, triangulação, trilateração, dupla irradiação, rastreamento de satélites do sistema GPS-NAVSTAR no método diferencial ou outro método geodésico que vier a ser desenvolvido, a partir de marco geodésico de precisão, destinado a densificar o apoio geodésico básico, assegurando o suporte necessário à qualidade das operações topográficas visando ao apoio suplementar de campo para os levantamentos aerofotogramétricos e ao apoio topográfico aos levantamentos para o parcelamento do solo, demarcações, implantação e acompanhamento de obras de engenharia;
- ponto topográfico: Ponto de coordenadas planimétricas ou planialtimétricas, implantado e materializado no terreno, determinado por poligonal topográfica, apoiado em pontos geodésicos, ou por poligonal secundária de densificação da malha de pontos topográficos, classificadas como IIP ou IPRC conforme a NBR 13133;
- ponto de esquina: Ponto definidor da interseção ou tangência do alinhamento de duas faces de quadra, levantado topograficamente;
- ponto de referência de quadra: Ponto de referência que a si agrega as informações de uma quadra tais como: código métrico dos lotes, testadas, profundidades, áreas dos lotes e informações sobre edificações nelas contidas, ou outras informações sócioeconômicas etc;
- ponto de referência de segmento de logradouro: Ponto de referência situado convenientemente no eixo de segmento de

logradouro, que a si agrega informações sobre as faces de quadra correspondentes e dos elementos nas mesmas dispostos.

2. Pontos altimétricos:

- referência de nível de precisão: Referência de nível do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, classificada como de precisão, existente na área municipal ou na sua vizinhança, utilizada como apoio altimétrico da Rede de Referência Cadastral;
- referência de nível de apoio imediato: Referência de nível obtida por nivelamento da classe I N (NBR 13133) a partir da Referência de Nível de Precisão do SGB, com a finalidade de apoio aos levantamentos locais, parcelamento de áreas, obras, estruturas de drenagem, gradientes e de base ao apoio suplementar de campo dos levantamentos aerofotogramétricos;
- referência de nível topográfica: Referência de nível obtida por nivelamento geométrico de classe II N (NBR 13133), a partir de referência de nível de apoio imediato, que serve de apoio topográfico à determinação altimétrica dos pontos de referência de quadra, de gleba e de segmento de logradouro, esquina e de pontos de segurança (PS), em projetos e/ou obras.

A implantação dos elementos acima deverá atender os requisitos gerais e especificações quanto a precisão, identificação, densidade, materialização e outras, prescritas pelas normas NBR 13133: 1994 e NBR 14166: 1998.

Segundo a NBR 14166 os elementos da Rede de Referência podem ter suas coordenadas plano-retangulares determinado nos Sistemas Transverso de Mercator (UTM-RTM-LTM) como no sistema topográfico local.

5 – A REALIZAÇÃO DO CADASTRO DA ÁREA TESTE

Neste capítulo apresenta-se todas as etapas e resultados dos trabalhos de campo e gabinete desenvolvidos na realização do cadastramento da área teste, necessários para subsidiar a análise dos métodos de levantamento.

5.1 - A Área Teste

A “área teste” constituiu-se de uma quadra com cerca de 3,9 ha dentro do campus da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, situada na zona central da cidade de São Carlos - SP. Trata-se de área completamente urbanizada e dotada de total infra-estrutura de abastecimento d'água, esgoto drenagem, força e luz, telefone, e outros, o que permitiu exercitar a execução de cadastro com a finalidade de confecção da planta cadastral e de sistemas de infra-estrutura urbana (ABNT, 1998), objeto de estudo em nosso trabalho.

Outro fato que contribuiu para a escolha do campus da EESC-USP como área piloto, foi a necessidade urgente de revisão cadastral e inexistência de um sistema de referência cadastral para apoiar os serviços topográficos de demarcação, implantação e acompanhamento de obras de engenharia em geral, de urbanização e outros, o que tem dificultado a sua administração. Isto levou a prefeitura do campus a disponibilizar alguns recursos humanos e materiais para a realização do trabalho.

A área em questão possui uma grande cobertura de árvores e edificações, que dificultou os levantamentos por fotogrametria e GPS, o que no nosso entendimento foi proveitoso para melhor avaliar o desempenho desses métodos nessas situações. Têm como desvantagem o fato de possuir edificações com características não residenciais e portanto pouco representativa da maioria das áreas urbanas no Brasil.

A figura 5.1 mostra a área teste no Campus da EESC.

Figura 5.1: Área teste localizada no campus da EESC.

5.2 - Elementos Cadastrados

Da área escolhida para o trabalho, foram definidos para serem cadastrados os seguintes elementos, que normalmente constam de plantas cadastrais municipais e plantas indicativas de sistemas de infra-estrutura urbana (ABNT, 1998):

- Edificações;
- Caixas de inspeção de rede elétrica, esgoto, drenagem e outros;
- Limites de quadra;
- Passeios;

- Postes
- Bueiros
- Canaletas de drenagem.

Esses elementos foram definidos a partir de uma inspeção visual na área teste para verificação os elementos da infra-estrutura existentes.

5.3 - Implantação da Rede de Referência Cadastral

Para apoiar e uniformizar os resultados dos levantamentos executados nos três métodos estudados implantou-se uma rede de referência cadastral no Campus da EESC. O trabalho foi realizado de acordo com as prescrições de NBR 13133: Execução de levantamento topográfico (ABNT, 1994) e NBR 14166: Rede de referência cadastral municipal (ABNT,1998).

5.3.1 - Referências Planimétricas

Em função das características da área (geometria, tipo e disposição das edificações, existência de árvores, etc,) e especificações da NBR 14166, foi definido o arcabouço da rede de referência com os seguintes elementos:

- 4 "pontos geodésicos de apoio imediato" (NBR 14166), formando 2 bases para os pontos topográficos. As coordenadas foram ajustadas a partir de uma rede de vetores obtidos com receptor GPS, marca Leica, modelo 9400, L1, utilizando-se método diferencial estático em seções simultâneas de 1 hora com 1 registro a cada 10 segundos. Foram levantados 8 vetores independentes, num total de 8 horas de observações simultâneas, possibilitando o ajustamento em rede. O processamento dos vetores foi efetuado com o "software" SKI versão 2.3 da LEICA, e o ajustamento com o "software" STAR*NET-GPS, versão 5.1.

- 17 "pontos topográficos principais" (NBR 14166) formando duas poligonais distintas, obtidos com Estação Total, marca Wild, modelo TC 400 interligando os pontos geodésicos de apoio imediato. A determinação das coordenadas seguiram as especificações da NBR 13133 para poligonais IPRC tipo 3 .

5.3.2 - Referências Altimétricas

A rede de referência altimétrica foi obtida por nivelamento geométrico, utilizando-se um Nível Wild, modelo N2 seguindo a norma NBR 13133 para nivelamento classe I N.

Uma "referência de nível de apoio imediato" (NBR 14166) foi implantada no ponto R004 da rede de referência planimétrica, a partir da RN 38W do IBGE localizada a 900 metros de distância. Todos os demais pontos da rede planimétrica foram nivelados a partir do ponto R004.

A Figura 5.2 apresenta os pontos de referencia geodésica e a rede planimétrica distribuídos no Campus da EESC.

Figura 5.2: Planta do Campus da EESC com os pontos da RREFC.

5.3.3 – Ajustamento das Observações GPS

A coordenadas dos 4 pontos: R001; R002; R003 e R004 foram georeferenciadas a partir de um ponto (STTU) dentro do Campus, cujas coordenadas vieram transportadas a partir do vértice Pirassununga da Rede Geodésica do Estado de São Paulo (SCHAAL, 2000)³.

Como forma de garantir uma melhor amarração angular entre as duas bases, realizou-se dois ajustamentos independentes no lugar de um ajustamento global.

Inicialmente realizou-se o ajustamento do triângulo de vértices R001-R002-STTU utilizando-se 3 vetores observados independentemente. A base resultante deste ajustamento passou a ser considerada como referência, independentemente dos erros inerentes ao processo, que podem causar pequenas rotações e translações em relação à Rede Geodésica do Estado de São Paulo. A Figura 5.3 apresenta os vetores e as respectivas elipses de erro correspondentes a 95% de confiança, exageradas em 1000 vezes.

Figura 5.3: Vetores do ajustamento da base R001 a R002 e as respectivas elipses de erro exageradas 1000 vezes.

³ SCHAAL, R. E. (2000). (USP- Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Transportes). *Comunicação pessoal*.

O segundo passo foi o ajustamento da base R003-R004 em relação à base R001-R002 utilizando-se 5 vetores independentes. A Figura 5.4 mostra esquematicamente os vetores utilizados com as elipses de erro exageradas 1000 vezes.

Figura 5.4: Vetores do ajustamento da base R003 a R004 e as respectivas elipses de erro exageradas 1000 vezes.

A Tabela 5.1 apresenta as coordenadas topográficas obtidas, com os respectivos desvios padrão resultantes dos ajustamentos. Foi utilizado o “software” STAR*NET, versão 5.1.

Tabela 5.1 – Coordenadas ajustadas – Bases.

PONTO	X (m)	Y (m)	SX (m)	SY (m)
R001	150000,000	250000,000	0,006	0,006
R002	149922,119	249875,269	0,020	0,020
R003	150328,816	249158,992	0,003	0,003
R004	150373,131	249271,120	0,004	0,004

5.3.4 - Poligonais Topográficas

Foram implantadas duas poligonais topográficas ligando as bases formadas pelos pontos R001-R002 e R003-R004, atendendo as especificações da NBR 13133 para poligonais I PRC do tipo 3. A estação total utilizada possui precisão angular nominal de 10 segundos e precisão linear nominal - 5mm + 5 ppm. Os resultados dos ajustamentos mostraram precisão compatível com as exigências da Norma. Na centragem da estação total e prismas nos pontos topográficos utilizou-se tripés e bases nivelantes intercambiáveis (centragem forçada). Foram realizadas três séries de leituras angulares nas posições direta e inversa da luneta utilizando como critério de rejeição a precisão nominal do instrumento. A cada visada efetuou-se uma correspondente medida de distância totalizando 12 medidas por lado. Foram coletados dados de temperatura e pressão atmosférica necessários para corrigir as distâncias devido à refração do ar.

A tabela 5.2 apresenta dados do fechamento das poligonais topográficas.

Tabela 5.2 – Dados do fechamento das poligonais topográficas.

Poligonal	Nº lados	Extensão (m)	Erros de Fechamento			Tolerâncias (*)		
			Ang. (")	Transv. (m)	Long. (m)	Ang. (")	Transv. (m)	Long. (m)
R002-R004	7	891,27	30	0,084	0,069	42	0,075	0,075
R004-R001	12	1079,07	22	0,009	0,029	46	0,084	0,064

(*) Relativa à poligonais I PRC do tipo 3 segundo a NBR 13133.

As poligonais foram ajustadas de forma independente tendo como referências as coordenadas dos pontos extremos (marcos R002-R004 e R004 e R001) já com valores no plano topográfico local. Para origem do sistema topográfico foi escolhido o ponto R001 e adotou-se também a altitude deste ponto como altitude do plano topográfico local. No ajustamento foi utilizado o software STAR-NET versão 5.1.

As figuras 5.5 e 5.6 apresentam o desenho das poligonais com as respectivas elipses de erro.

Figura 5.5: Polígono ajustado de R002 a R004 e as respectivas elipses de erro exageradas 2000 vezes.

Figura 5.6: Polígono ajustado de R004 a R001 e as respectivas elipses de erro exageradas 2000 vezes.

As Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam os resultados do ajustamento das duas poligonais .

Tabela 5.3 – Coordenadas ajustadas – De R002 para R004.

PONTO	X (m)	Y (m)	SX (m)	SY (m)
R005	150027,478	249842,274	0,005	0,004
R006	150083,344	249796,265	0,007	0,007
R007	150085,849	249661,663	0,008	0,008
R008	150049,029	249565,057	0,009	0,008
R009	150222,259	249363,952	0,007	0,006
R010	150303,301	249257,375	0,005	0,003

Tabela 5.4 – Coordenadas ajustadas – De R004 para R001.

PONTO	X (m)	Y (m)	SX (m)	SY (m)
R011	150347,981	249390,966	0,005	0,007
R012	150397,738	249415,334	0,007	0,007
R013	150395,078	249505,648	0,009	0,008
R014	150342,977	249525,018	0,010	0,009
R015	150350,201	249622,000	0,011	0,009
R016	150347,054	249727,281	0,011	0,010
R017	150236,327	249731,208	0,011	0,009
R018	150231,420	249861,693	0,009	0,009
R019	150221,582	249939,284	0,008	0,008
R020	150103,846	249981,729	0,006	0,004
R021	150346,742	249336,820	0,003	0,005

5.3.5 – A Rede Altimétrica

O nivelamento geométrico e contra nivelamento, a partir da RN do IBGE, foi realizado ao longo das ruas de São Carlos durante um fim de semana para evitar transtornos decorrente do elevado fluxo de carros. O nivelamento das poligonais foi realizado em único percurso fechado a partir

do ponto R004. A Tabela 5.5 apresenta os erros de fechamento nos dois nivelamentos. A Tabela 5.6 apresenta as altitudes compensadas dos pontos da RREFC.

Tabela 5. 5 – Resumo do nivelamento

NIVELAMENTOS	EXTENSÃO NIVELADA (m)	ERRO FECHAMENTO (mm)	TOLERÂNCIA(*) (mm)
Transporte RN	994	6	11,9
Poligonal	2238	13	17,9

(*) Para poligonal I PRC da NBR 13133

Tabela 5.6 – Altitudes da RREFC

PONTO	ALTITUDE (m)	PONTO	ALTITUDE (m)
R001	811,060	R012	845,337
R002	806,930	R013	842,878
R004	849,981	R014	841,675
R005	816,745	R015	834,886
R006	820,404	R016	832,024
R007	826,803	R017	828,887
R008	828,416	R018	821,632
R009	842,611	R019	816,178
R010	847,115	R020	813,880
R011	845,554	R021	847,703

5.3.6 - Materialização dos Pontos da Rede

Os pontos da rede foram materializados de acordo com as prescrições e modelos da NBR 13133. Foram utilizados blocos de concreto para os “pontos geodésicos de apoio imediato” R001, R002 e R004 (Figura 5.7). Os demais pontos foram materializados com chapas metálicas de aço inoxidável fixado através de pinos com adesivo epoxi de alta aderência em bases como passeios, guias de passeio, soleiras, etc.(Figura 5.8).

Figura 5.7: Implantação de marco no terreno.

**Figura 5.8: Chapa de aço
Inoxidável fixada no passeio.**

5.4 – A Execução do Cadastro por Topografia

5.4.1 – O Trabalho de Campo

O trabalho de cadastramento por topografia clássica, foi realizado com uma estação total marca Leica, modelo TC 400. As características técnicas de interesse deste equipamento estão apresentadas na tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Características técnicas da Estação Total Leica TC 400.
Fonte: Leica

ESTAÇÃO TOTAL – TC 400	
ÂNGULOS	DISTÂNCIAS
<ul style="list-style-type: none"> • Precisão = 10" 	<ul style="list-style-type: none"> • Distância c/ 1 prisma = até 700 m • Tempo de medição = 4 " • Correção de refração • Precisão = 5 mm + 5 ppm

O pessoal de campo constituiu-se de um operador e um auxiliar. Foi utilizado um único um prisma montado em um bastão telescópico de 2,15 m de extensão. Os dados levantados foram amarrados à Rede de Referência Cadastral do Campus sendo que foi necessária a implantação de alguns pontos auxiliares temporários pelo fato da rede permanente não se encontrar totalmente densificada.

Os dados foram anotados manualmente em caderneta de campo por não se dispor de uma caderneta eletrônica para TC 400.

Foram cadastrados os seguintes elementos: edificações, guias e passeios, caixas de inspeção de rede de energia elétrica e esgotos, postes , canaletas de drenagem e bueiros.

Tendo em vista as características do aparelho, que possui a função “estação conhecida” (capítulo 3), e objetivando diminuir o trabalho de escritório, optou-se por anotar no campo somente as diferenças de coordenadas “dx” e “dy” do elemento levantado em relação a cada estação, utilizando como referência os azimutes e coordenadas da rede de referência do campus, já com valores do plano topográfico local. Desta maneira a coordenada final de cada elemento levantado foi calculado já no próprio sistema local. A figura 5.9 apresenta o modelo de caderneta de campo criado.

LEVANTAMENTO CADASTRAL CAMPUS USP -- DATA: _____						
FOLHA : _____ INÍCIO: _____ FINAL: _____						
AZIMUTE DE REFERÊNCIA: _____						
COORDENADAS DE REFERÊNCIA: X _____ Y _____						
EST	PV	dX	dY	X	Y	DESCRIÇÃO

Figura 5.9: Modelo de Caderneta de campo utilizado

5.4.2 - Processamento dos Dados e Desenho

As diferenças de coordenadas anotadas no campo foram digitadas na planilha eletrônica “Microsft Excel” programada para calcular as coordenadas de cada ponto a partir das coordenadas de referência. O modelo de planilha criado está apresentado na figura 5.10:

Microsoft Excel - CadernetaCampo

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10 Copiar S

E4 =E\$3+C4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Cadastro campus USP- Caderneta de campo								
2	Estação	P. Visado	dx	dy	x	y			
3		18-B			150148,13	249816,97			
4	18-B	399	35,42	-3,29	150183,55	249813,68			
5		400	39,20	-3,19	150187,33	249813,78			
6		401	35,38	-1,70	150183,51	249815,27			
7		402	20,13	2,83	150168,26	249819,80			
8		403	11,54	2,21	150159,67	249819,18			
9		404	2,58	1,97	150150,71	249818,94			
10		405	2,77	-6,99	150150,90	249809,98			
11		406	3,47	-33,99	150151,60	249782,98			
12		407	-2,76	-39,01	150145,37	249777,96			
13		408	-3,30	-16,09	150144,83	249800,88			
14		409	-40,45	-28,31	150107,68	249788,66			
15		410	-38,03	-25,51	150110,10	249791,46			
16		411	-38,30	-16,79	150109,83	249800,18			
17		412	-11,23	-19,96	150136,90	249797,01			

Plan1 Plan2 Plan11 Plan10 Plan9 Plan8 Plan7

Pronto

Iniciar Explorando - CadastroTop... Microsoft Word - CADAST... Microsoft Excel - Cad... 14:56

Figura 5.10: Modelo de planilha criado para digitação dos dados de campo e cálculo das coordenadas dos pontos levantados.

Os dados da planilha foram copiados e editados para gerar dois arquivos ASCII com os comandos “point” e “text” utilizados para inserção dos pontos e indicação dos números dos pontos no “AutoCad” através do comando “Script”. A figura 5.11 apresenta parte do arquivo que gera pontos no desenho do AutoCad e a figura 5.12 parte do arquivo que gera a indicação do número do ponto no desenho.

```

point 150231.42,249861.69
point 150196.55,249895.35
point 150233.58,249885.21
point 150230.40,249884.87
point 150229.70,249884.55
point 150227.78,249876.62
point 150228.28,249875.96
point 150231.42,249875.87
point 150227.72,249865.90
point 150227.65,249855.98
point 150236.40,249875.91
point 150242.37,249875.98
point 150247.33,249876.03
point 150247.60,249851.04
point 150242.69,249850.90
point 150242.90,249849.83

```

Figura 5.11: Arquivo para inserção dos Pontos levantados no “AutoCad”.

```

text 150233.58,249885.21 1 0 257
text 150230.40,249884.87 1 0 258
text 150229.70,249884.55 1 0 259
text 150227.78,249876.62 1 0 260
text 150228.28,249875.96 1 0 261
text 150231.42,249875.87 1 0 262
text 150227.72,249865.90 1 0 263
text 150227.65,249855.98 1 0 264
text 150236.40,249875.91 1 0 265
text 150242.37,249875.98 1 0 266
text 150247.33,249876.03 1 0 267
text 150247.60,249851.04 1 0 268
text 150242.69,249850.90 1 0 269
text 150242.90,249849.83 1 0 270

```

Figura 5.12: Arquivo para inserção da identificação dos pontos no “AutoCad”.

5.4.3 - Resultados

No levantamento completo da área teste foram gastas 13,5 horas de trabalho efetivo no campo acrescidos de cerca de 40 minutos em mobilização e desmobilização para cada ida no campo. No trabalho de

digitação, preparação dos dados e desenho final foram gastas 21 horas. A figura 5.13 mostra o desenho final da área teste levantada, com os elementos cadastrados. Foi necessário o levantamento de 486 pontos para se cadastrar todos os elementos de interesse sendo que medidas complementares à trena foram efetuadas objetivando diminuir o número de estações topográficas auxiliares. O desenho foi executado a partir das coordenadas no sistema topográfico local.

Figura 5.13 : Área teste: levantamento com a topografia convencional.

5.5 - Execução do Cadastro por GPS

5.5.1 - Metodologia

Foi adotado o método de levantamento GPS “Stop and Go”. Este método permite rapidez e precisão adequadas para os levantamentos cadastrais. Utilizou-se um par de receptores GPS do código C/A e da frequência L1, marca Leica modelo - SR9400. Como referência foi utilizado o ponto STTU. O tempo de inicialização adotado foi de dez minutos. No cadastramento dos pontos de interesse o tempo de ocupação foi de 20 segundos (5 épocas em cada um). A taxa de registro de dados foi de 1 “época” a cada 4 segundos.

A identificação de cada ponto foi introduzida via teclado da controladora do receptor seguindo uma numeração inteira crescente para cada ponto levantado, acrescido de uma letra de acordo com as seguintes convenções:

Tabela 5.8 – Convenções utilizadas no levantamento GPS.

CONVENÇÕES	
SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
G	GUIA DE CALÇADA
C	CALÇADA
P	POSTE
R	CAIXA DE INSPEÇÃO DE REDE
D	CANAleta DE DRENAGEM
B	BUEIRO

Desta maneira o ponto 046**B**, por exemplo, é um bueiro e foi o quadragésimo sexto ponto levantado.

5.5.2 - Processamento dos Dados

Os dados de campo foram processados no programa SKI, versão 2.3 da Leica. Para o desenho utilizou-se o software Auto Cad, versão 14 da Autodesk, Inc. Os programas de processamento de observações GPS via de regra permitem a exportação dos resultados em formatos que podem ser lidos diretamente pelo Auto Cad. No nosso caso, contudo, por não dispormos do módulo de exportação do programa SKI, adotou-se o seguinte procedimento para introdução das coordenadas e identificação (nome) dos pontos no Auto Cad:

- gerou-se no próprio SKI um arquivo ASCII com o nome e coordenadas de todos os pontos levantados;
- este arquivo foi modificado manualmente em um editor de texto comum gerando um novo arquivo com os comandos “point” e “text” na extensão .scr legível pelo AutoCad, para inserção dos pontos e seus respectivos identificadores;
- inserção dos pontos, utilizando o comando “script” do próprio AutoCad.

5.5.3 - Resultados

Os métodos cinemáticos de levantamento GPS como é o caso do “Stop and Go” utilizado neste trabalho, exigem que o receptor móvel esteja conectado permanentemente a 4 ou mais satélites. A “perda de sinal” para menos de 4 satélites em qualquer circunstância obriga a uma nova reinicialização. No nosso caso, quase que na totalidade das tentativas de cadastramento dos vértices dos edifícios existentes na área levantada, o número de satélites caiu para menos de 4, tornando impraticável o cadastramento.

O levantamento dos limites de calçada (guias, meio-fio), pelo fato de estarem afastados dos edifícios e portanto em locais mais “abertos” puderam quase sempre ser cadastrados embora ocorrendo eventuais necessidades de reinicialização por perda de sinal.

A figura 5.14 apresenta o desenho final do levantamento utilizando o GPS. Verifica-se que as guias de passeio (meio fio) puderam ser cadastrados quase que na totalidade. Elementos como postes de rede de transmissão de energia e telefone, bueiros, canaletas de drenagem e caixas de inspeção de redes de energia e telefone, quando se encontravam próximas ao passeio permitiram o cadastramento. No caso de edificações, não foi possível o levantamento em qualquer das situações devido a “perda de sinal” ocasionada pelas próprias paredes dos prédios que funcionavam como obstáculos. Uma estimativa em relação ao número total de pontos do levantamento por topografia mostrou que foi possível cadastrar cerca de 25% dos elementos de interesse da área teste.

Figura 5.14: Área teste - Levantamento com o GPS.

O tempo gasto para o levantamento incluindo a instalação do equipamento no ponto de referência e o processamento dos dados em escritório foi de cerca de 3 horas e trinta minutos, com apenas um operador.

Foram necessárias 6 reinicializações e o número total de pontos levantados foi 113.

5.6- Execução o Cadastro por Fotogrametria

5.6.1 – Equipamento e Material Utilizado

- **Imagens**

No trabalho de fotogrametria utilizou-se imagens obtidas por digitalização de fotografias originadas de um vôo realizado em 1998 pela empresa Aeroconsult, cujas características estão apresentadas na tabela 5.9.

Tabela 5.9: Dados das fotografias

CARACTERÍSTICAS DAS FOTOGRAFIAS UTILIZADAS	
IDENTIFICAÇÃO	FOTOGRAFIAS 054 E 055, FAIXA 04
ESCALA	1 : 8000
CÂMARA	WILD RC5
DISTÂNCIA FOCAL	152,528 mm

- **Hardware**

Os trabalhos de restituição foram realizados em uma Estação fotogramétrica digital constituída de:

- PC de 266MHz, 256 Mb de RAM e disco rígido de 8 Gb;
- monitor mono;
- sistema de visualização em tela dividida (split screen) com estereoscópio de espelhos ajustado ao monitor;
- mouse convencional para os movimentos X e Y e mouse Trackball para o movimento Z.

Software

- sistema operacional Windows NT;
- sistema DVP - Digital Video Plotter.

5.6.2 - Orientação interior

Os dados da câmara foram obtidos do certificado de calibração 02/97 emitido pela empresa Geokosmos Geodésia e Consultoria Ltda sediada em Curitiba PR. Na orientação interior foram utilizadas as coordenadas do ponto principal e coordenadas das marcas fiduciais (o DVP não utiliza os coeficientes de distorção relativo ao conjunto de lentes da câmara).

A figura 5.15 apresenta parte da tela de orientação interior do módulo de estéreo-orientação do DVP no momento de orientação da imagem 054 (imagem da esquerda do par estereoscópico).

Figura. 5.15: Parte da tela de orientação interior do DVP mostrando um a marca fiducial no momento da “medição”. À direita o arquivo com as coordenadas calibradas das marcas fiduciais.

5.6.3 - Orientação Relativa

A transferência de pontos (6 pontos de “Von Gruber”) de uma imagem para outra é feita de forma interativa com o DVP que informa a região da imagem em que o ponto deve ser escolhido sendo que a escolha dos pontos de maior facilidade de identificação é feita visualmente pelo próprio operador. Após a transferência dos pontos o software informa os resíduos da orientação.

5.6.4 - Orientação Absoluta

Determinou-se as coordenadas UTM de 6 pontos por meio de GPS pelo método diferencial estático, necessários para o apoio e controle da orientação absoluta do modelo fotogramétrico. Como referência geodésica foi utilizado o ponto STTU no campus da EESC-USP. Os pontos foram escolhidos de acordo com a sua localização e perfeita identificação nas fotografias, bem como das características de acesso e conveniência para o levantamento por GPS. Tratando-se de área urbana, alguns elementos funcionaram como alvos artificiais para os pontos de apoio. Optou-se por pontos localizados em praças, guias de passeio, canteiros de vias, entre outros. Locais como quadras de esporte e campos de futebol se mostraram excelentes uma vez que as marcações das áreas de jogo funcionam como verdadeiros alvos artificiais. Além disso, por se tratar de áreas abertas permitiram o levantamento por GPS sem problemas de obstrução de sinal, comuns em ambiente urbano. A figura 5.16 mostra o esquema do modelo fotogramétrico montado a partir de 2 fotografias e a distribuição dos 6 pontos de apoio irradiados do STTU.

Figura. 5.16 : Esquema do modelo e distribuição dos pontos de apoio fotogramétrico.

As figuras 5.17 a 5.19 ilustram como se pode utilizar elementos do espaço urbano para servirem de alvos artificiais.

Figura 5.17: Ponto de apoio - “córner” em campo de futebol

Figura 5.18 : Ponto de apoio - cruzamento entre linhas demarcatórias de uma quadra de Tênis.

Figura 5.19: Ponto de apoio - Vértice em guia de passeio.

No levantamento dos pontos de apoio foi utilizado um par de receptores GPS de código C/A e frequência L1, modelo Leica SR 9400 e software de processamento SKI, versão 2.3. Cada ponto foi ocupado durante 20 minutos com dados registrados a cada 10 segundos. A escolha dos pontos inicialmente foi feita com base nas identificação e posição de cada ponto nas fotografias e confirmada por inspeção de campo para verificar as condições de acesso e conveniência para o levantamento GPS.

5.6.6 - Restituição

Na restituição os elementos foram agrupados por classe em “camadas” específicas. No módulo de “vetorização” do DVP, cada camada é armazenada separadamente em arquivos que podem ser exportados individualmente no formato DXF. Conforme o estabelecido, foram restituídos os elementos: edificações, guias de passeio, postes, caixas de inspeção de rede, bueiros e “canaletas” de drenagem. O desenho final foi realizado no AutoCad, versão 14.

5.6.7 - Resultados

O levantamento dos pontos de apoio fotogramétricos foi realizado com apenas um operador e a produtividade média foi de 3 (três) pontos em cada jornada de 4 horas de trabalho, incluindo além do levantamento propriamente dito, as operações de instalação do equipamento na estação de referência (STTU), deslocamento entre os pontos e transferência e processamento dos dados. É necessário salientar que para o caso, todos os pontos permitiram o acesso imediato com automóvel e a distância entre deslocamentos nunca foi superior a 3 quilômetros. A tabela 5.10 apresenta as coordenadas UTM, SAD 69 e Meridiano central 45°, dos pontos levantados. A altitude informada é a geométrica (H).

Tabela 5.10 – Coordenadas dos pontos de apoio.

PONTOS DE APOIO UTM-MC45-SAD69			
Ponto	E (m)	N (m)	H (m)
5403	201206,48	7564492,56	825,88
5503	201005,96	7563697,61	834,56
5401	200698,53	7564390,00	802,32
5506	201557,00	7563626,68	852,59
5502	200756,66	7563632,41	828,29
5402	201536,25	7564412,13	845,01

A figura 5.20 apresenta o desenho final da área restituída. Verifica-se descontinuidades nas feições de vários elementos como passeios e mesmo edifícios. Isto ocorreu devido a presença de árvores que impedem a visualização. Apenas dois bueiros puderam ser identificados. A identificação de postes também foi muito difícil. Em alguns casos a sombra produzida pelo poste auxiliava na identificação da sua posição. Uma estimativa em relação ao número total de pontos do levantamento por topografia mostrou que foi possível cadastrar cerca de 80% dos elementos de interesse da área teste.

Figura 5.20: Área teste - Levantamento executado por aerofotogrametria.

Na tabela 5.11 estão apresentados os dados relativos ao tempo dispendido no trabalho. A etapa de preparação refere-se à inserção dos dados necessários na estação fotogramétrica quais sejam os arquivos com as imagens, arquivo com dos dados de calibração da câmara aérea e arquivo com coordenadas dos pontos de apoio além da definição dos parâmetros e unidades do projeto. Na etapa de orientação inclui-se a orientação interior, relativa e absoluta e a etapa de restituição constitui-se da vetorização de todos os elementos de interesse. No desenho final inclui-se o tempo para exportar os arquivos para DXF, inserção desses arquivos no AutoCad e desenho final.

Tabela 5.11. Tempo gasto nas etapas de produção fotogramétrica.

PONTOS DE CONTROLE	ESTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL			DESENHO FINAL	TOTAL
	PREPARAÇÃO	ORIENTAÇÃO	RESTITUIÇÃO		
8 h	1 h	1 h	4 h	1 h	15 h
53%	7%	7%	26%	7%	100%

6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados está dividida em duas etapas. A primeira refere-se à implantação da Rede de Referência Cadastral enfocando as estratégias de implantação adotada e os resultados obtidos. A Segunda aborda o cadastramento propriamente dito, onde se procura comparar os dados de produtividade e precisão obtidos em cada um dos métodos estudados.

6.1 - A Rede de Referência Cadastral

Discute-se inicialmente aspectos técnicos como os procedimentos de implantação e resultados alcançados e posteriormente aspectos de caráter mais geral ligados à política de implantação de redes de referência cadastral.

Os resultados dos ajustamentos realizados confirmam a eficácia de se integrar GPS e Topografia clássica na implantação de redes de referência. É necessário chamar atenção para alguns pontos importantes. Deve-se dar bastante atenção à escolha dos pontos definidores das bases. O ambiente urbano pode dificultar a localização de pontos livres de obstáculos aos sinais GPS bem como limitar a implantação de bases com o comprimento adequado à precisão desejada nos azimutes (NBR 14166). Neste trabalho, limitado pelas próprias características da área, as bases foram estabelecidas com 120 m e 140 m respectivamente. Nestas distâncias, medidas obtidas

com o GPS podem gerar erros nos azimutes de até 20" assumindo o erro nominal de 5 mm do sistema. Outra questão de ordem metodológica que deve ser ressaltada, é a estratégia adotada para o ajustamento das duas bases. No lugar de se ajustar todos os vetores obtidos por GPS simultaneamente foi utilizado o expediente de se ajustar uma base em relação ao ponto de injeção e posteriormente ajustar a segunda em relação à primeira. Dessa maneira garantiu-se uma maior amarração angular entre as bases o que era desejável neste trabalho.

O estudo de CARNEIRO & LOCK (2000), mostra que um dos problemas principais no cadastro técnico no Brasil é a falta de Rede de Referência Cadastral. As áreas cadastradas normalmente são ampliadas "juntando" levantamentos novos aos antigos utilizando como referência apenas alguns pontos comuns entre eles, o que normalmente gera um acúmulo de erros que podem levar a distorções muito grandes. Nas cidades estudadas apenas a cidade de Franca no interior do estado de São Paulo possui rede de referência cadastral. O próprio Campus da EESC-USP exemplifica esta situação. Ao confrontarmos a rede de referência implantada com a planta cadastral existente encontramos erros inaceitáveis. A figura 6.1 ilustra este fato. A rede em vermelho foi desenhada com base na planta cadastral existente e a rede em azul com base nas coordenadas da rede de referência implantada. Foram utilizados dois pontos comuns (A e B na figura) para amarrar os dois sistemas.

Figura 7.1: Distorções verificadas na planta cadastral do campus da EESC-USP após a implantação da Rede de Referência Cadastral.

Quanto aos aspectos políticos, a NBR 14166 enfatiza a necessidade de instrumento legal instituindo a Rede de Referência Cadastral Municipal como referência espacial única e obrigatória, para os elementos geradores das informações territoriais. Quase a totalidade municípios brasileiros não

dispõe ainda deste instrumento. Este fato não impede entretanto que profissionais da área possam adotar, independentemente da lei municipal, os critérios estabelecidos pela NBR 14166, unificando assim os procedimentos e permitindo uma futura incorporação das referências implantadas à Rede de Referência Cadastral Municipal quando da sua instituição legal.

A implantação da rede de referência cadastral da EESC - USP mostrou que para as condições da área em estudo, que tem características semelhantes a uma grande parte das pequenas cidades brasileiras, os procedimentos especificados pela NBR 14166 relativas à geometria, densidade, precisão, monumentação e documentação dos pontos de referência planimétricos e altimétricos podem ser adotados sem custos muito elevados. A figura 7.2 mostra através de fotografias a sequência de passos utilizada na monumentação dos pontos da rede de referência implantada na EESC. Observa-se que o material e equipamentos utilizados bem como os procedimentos adotados não dependem de muitos recursos nem de pessoal qualificado. A chapa metálica com pino de fixação foi fabricada em oficina da própria EESC. Para a execução do furo no passeio utilizou-se um furadeira comum elétrica e o adesivo epoxi é facilmente encontrado no mercado. Em locais sem bases permanentes como passeios, soleiras, etc., foi necessário a moldagem e implantação de marcos de concreto para fixação da chapa metálica.

1 – Peça metálica

2 – Execução do furo na guia do passeio

3 – Preparação e aplicação do adesivo epoxi

4 – Fixação da peça

5 – Peça fixada na guia

6 – Peça fixada ao marco de concreto

Figura 7.2: Sequência de passos para monumentação dos pontos da Rede de Referência Cadastral da EESC-USP.

6.2 – O Cadastramento

Os resultados mostram, como era esperado, que a **topografia** permite uma melhor cobertura quando não há restrições de acesso a todas edificações, possibilitando o levantamento de todos os elementos de interesse, como no caso desta área teste. No caso da fotogrametria, fatores limitantes como a presença de árvores, que impediu a vetorização feições como limites de edificações e passeios além de dificuldades na identificação visual de elementos da infra-estrutura tais como bueiros, postes, caixas de inspeção de redes etc, fizeram com que cerca de 20 % dos elementos de interesse deixassem de ser cadastrados. Em fotografias com maior escala, a dificuldade de identificação desses elementos provavelmente seria bem menor. O GPS, neste caso, permitiu o cadastramento de apenas cerca de 25% sendo possível a sua utilização apenas nos elementos mais afastados das edificações.

6.2.1 - Tempo de Cadastramento

Para o caso da topografia o tempo de execução dos trabalhos de gabinete poderia ser reduzido em cerca de 70% se não existisse a necessidade de digitação e edição dos dados de campo para inserção no CAD. A utilização de estações totais com memória para armazenamento dos dados no campo e programas para conversão em formatos que possam ser lidos pelos CADs, resolvem este problema.

No trabalho com a fotogrametria, a maioria do tempo despendido deveu-se ao levantamento dos pontos de controle consumindo cerca de 50% do tempo gasto em todo o processo. Há de se considerar contudo, que este tempo decresce em percentagem à medida em que se aumenta a área restituída. O mesmo acontece com as etapas de preparação e orientação, ou seja, são realizadas uma única vez para cada par estereoscópico. Para exemplificar esta questão, realizou-se uma estimativa do tempo necessário para todo o modelo a partir dos dados levantados. A área teste restituída tem 3,9 ha e a área total do modelo é de cerca de 170 ha. Desconsiderando

o fato das áreas apresentarem características diferentes o que pode influenciar bastante no tempo gasto para restituição, pode-se calcular aproximadamente o tempo total para restituição completa do modelo, e assim ter-se-ia uma nova distribuição, conforme apresentado na tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Estimativa do tempo gasto na restituição da área total do modelo.

PONTOS DE CONTROLE	ESTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL			DESENHO FINAL	TOTAL
	PREPARAÇÃO	ORIENTAÇÃO	RESTITUIÇÃO		
8 h	1 h	1 h	174 h	43 h	227 h
4%	0,5%	0,5%	76%	19%	100%

Verifica-se que o tempo gasto no levantamento dos pontos de apoio e montagem do modelo são muito pequenos em relação ao tempo de restituição. Devemos salientar que existem “softwares” que realizam a “aerotriangulação” permitindo ainda uma redução do número de pontos de apoio para uma mesma área restituída.

Um outro ponto a ser considerado é que para operadores mais experientes (o trabalho de restituição foi realizado pelo próprio autor, ainda com pouca experiência em trabalhos de restituição digital) provavelmente gastariam menor tempo no processo de restituição.

O GPS apresentou uma boa produtividade no que se refere ao tempo de cadastramento de cada ponto no campo mas esse rendimento pode variar bastante em função da necessidade de inicializações por perda de sinal dos satélites, uma vez que é necessário permanecer pelo menos dez minutos em um único ponto a cada reinicialização. Salienta-se que neste trabalho foi utilizado um receptor GPS da frequência L1, de geração mais antiga. Os novos receptores com duas frequências (L1 e L2) são mais “ágeis”, podendo diminuir o tempo e número das reinicializações.

6.2.2 - Comparação dos Tempos de Cadastramento

É difícil estabelecer uma comparação dos tempos de cadastramento em cada método por causa da diversidade de procedimentos e neste caso a

impossibilidade de se cadastrar a área completa por GPS e por fotogrametria devido os motivos já apresentados. Os dados apresentados, portanto, servem como elementos de comparação apenas para a situação estudada.

A tabela 7.2 - mostra um resumo do tempo despendido em cada método.

Tabela 7.2 – Resumo de tempo dos levantamentos.

MÉTODO	TEMPO (h)		ÁREA LEVANTADA (**)
	CAMPO	GABINETE (*)	
TOPOGRAFIA	13,5	21,0	100
FOTOGRAMETRIA	8	7	80
GPS	3	2,0	25

(*) inclui o tempo gasto em digitações, processamento e desenho.

(**) em porcentagem da área teste

A tabela 7.3. apresenta dados da produtividade de cada método. O número de pontos levantados por fotogrametria foi calculado com base na estimativa da porcentagem da área teste coberta pela restituição ou seja, 80% do total de pontos levantados por topografia.

Tabela 7.3 – Produtividade de cada método.

MÉTODO	PONTOS LEVANTADOS	TEMPO TOTAL (h)	PRODUTIVIDADE (pontos/hora)
TOPOGRAFIA	486	34,5	14
FOTOGRAMETRIA	389	15	26
GPS	113	5	23

6.2.3 - Precisão dos Resultados

Comparou-se os valores de áreas edificadas, levantadas por topografia e por aerofotogrametria. Neste caso não foi possível comparar dados do GPS uma vez que o método não permitiu a completa definição

espacial das edificações. As edificações avaliadas estão mostradas na figura 7.3.

Figura 7.3 – Identificação dos edifícios utilizados para comparar áreas medidas por Topografia e por Fotogrametria.

Os valores das áreas medidas com Topografia e com Fotogrametria é apresentada na tabela 7.4.

Tabela 7.4 – Comparação entre áreas medidas com fotogrametria e topografia.

EDIFICAÇÃO	TOPOGRAFIA (m2)	FOTOGRAMETRIA (m2)	DIFERENÇA (%)
1	923	949	+ 3
2	549	564	+ 3
3	100	88	- 12
4	171	1806	+ 6
5	430	405	- 6
6	2410	2421	+ 1
7	659	713	+ 8
8	428	401	+ 6
9	248	258	+4
10	424	398	- 6

Verifica-se que as diferenças são pequenas exceto em um caso em que o valor ficou acima de 10%. É possível que a vetorização das feições deste edifício, que é o de menor área dentre todos os avaliados, tenha sido feito em um nível de “zoom” abaixo do adequado, aumentando percentualmente o erro. As diferenças, contudo, são aceitáveis para o uso que normalmente se faz destes dados como determinação de valores de IPTU e análises diversas de ocupação de solo, entre outras.

É importante frisar que os valores comparados foram obtidos em sistemas diferentes, uma vez que os dados da topografia encontram-se no plano topográfico local e os da fotogrametria no sistema UTM. Entretanto, o erro originado pelo fator de escala UTM, da ordem de 1,0007 neste caso, pode ser desconsiderado em relação aos erros do processo de restituição fotogramétrica, onde a incerteza típica na obtenção de coordenadas de pontos como cantos de edificações, por exemplo, pode chegar a 12 cm (KRAUS,1993).

7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho apresenta dados que podem contribuir para um planejamento mais eficiente dos levantamentos cadastrais urbanos. Foi realizada uma análise buscando novas informações sobre o que realmente se pode fazer com cada método e qual a produtividade de cada um. Acreditamos que os resultados obtidos contribuem bastante para respostas a estas questões, entretanto eles devem ser olhados à luz de alguns pontos importantes que não foram tratados no trabalho.

O primeiro diz respeito ao fato de que o processo de produção fotogramétrica foi analisado já a partir das imagens digitais. Não se considerou os passos e equipamentos envolvidos no processo de obtenção da imagem, isto é, a execução do vôo e digitalização das fotografias. Esta etapa demanda tempo e custos significativos dentro de todo o processo de produção fotogramétrica.

Um outro aspecto é que a área teste utilizada é pouco representativa das áreas urbanas no que se refere ao tipo e disposição das edificações nas quadras. No nosso caso tinha-se o acesso imediato a todos os vértices definidores das edificações. Numa quadra residencial típica da maioria das cidades brasileiras apenas os limites voltados para o logradouro público permite o levantamento por topografia. Neste pormenor a fotogrametria leva uma grande vantagem por permitir a visualização de toda edificação. Este fato é relevante principalmente nas atualizações de áreas edificadas não declaradas às administrações municipais.

É ainda necessário lembrar que os dados relacionados ao cadastramento com o GPS referem-se aos receptores da frequência L1.

Desta forma, é possível que algumas das conclusões obtidas não se apliquem aos receptores mais modernos e de duas frequências.

7.1 - Conclusões

Os resultados obtidos permitem reafirmar características dos métodos de levantamento estudados já conhecidos na literatura e apresentar novas informações quanto as suas potencialidades, precisão e produtividade.

Enumeram-se:

Sobre a fotogrametria digital

- Exatidão compatível com as necessidades do cadastro técnico urbano;
- necessidade de levantamentos complementares de campo a não ser em áreas com características muito favoráveis;
- produtividade crescente com o aumento da área levantada;
- os procedimentos utilizados para montagem do estereo-modelo em uma estação digital se mostraram simples, rápido e de fácil aprendizado. O trabalho de vetorização de das feições de interesse ainda depende de muito treino e habilidade do operador;
- difícil identificação de alguns elementos da infra estrutura urbana tais como, caixas de inspeção de redes, bueiros e mesmo postes de iluminação impedindo o cadastramento em alguns casos.

Sobre o GPS – Receptores L1

- Grande produtividade no trabalho de campo quando não existe o problema de perda de sinal;
- exatidão compatível com as necessidades do cadastro técnico urbano;

- necessidade de apenas um operador no trabalho de campo;
- na maioria das vezes é impossível o cadastramento de edificações;
- na maioria das vezes é possível o cadastramento de postes, bueiros, caixas de inspeção, guias e outros elementos da infraestrutura urbana.

Sobre aTopografia

- A digitação e edição dos dados de campo é requer um grande dispêndio de tempo nos trabalhos topográficos. Desta maneira a utilização de estações totais com memória interna torna-se fundamental para uma boa produtividade;

Gerais

- excetuando-se casos muito especiais, não se pode prescindir da topografia clássica em levantamentos cadastrais urbanos;
- somente em áreas com características muito especiais pode-se executar levantamentos aerofotogramétricos sem a necessidade de levantamentos complementares com a topografia convencional;
- a topografia e fotogrametria podem ter a produtividade aumentada quando associados com o GPS;
- nas condições atuais é impraticável a realização do cadastramento imobiliário apenas com receptores GPS de uma frequência (L1);
- a melhor solução em termos de produtividade pode vir da associação do GPS, topografia e fotogrametria.

7.2 – Recomendações

Considerando que a área de teste é pequena e com algumas divergências das áreas urbanas típicas das cidades brasileiras quanto a densidade de árvores e tipos de edificações; considerando ainda a revisão de bibliografia que mostrou avanços recentes no sensoriamento remoto, como é o caso das imagens orbitais de alta resolução e os levantamentos com radares aerotransportados, indicando a possibilidade de utilização mais efetiva desses sistemas no cadastro urbano, apresenta-se as seguintes recomendações:

- ampliação do trabalho realizado em área mais ampla subdividida em unidades representativas das diversas formas de ocupação do espaço urbano normalmente existentes, com o objetivo de desenvolver uma metodologia para maximizar a produtividade e minimizar custos nos levantamentos cadastrais urbanos, integrando aerofotogrametria, sensoriamento remoto, topografia clássica e GPS;
- determinar índices que possam representar a adequabilidade e produtividade dos métodos em cada situação;
- estudar a aplicação de imagens orbitais de alta resolução na produção de cartas cadastrais utilizando a fotogrametria digital;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-NAKIB, N.; (2000). Mapping of large areas in tropical countries by using high resolution airborne interferometric radar. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING(ISPRS), 19. Amsterdam, 2000. *Anais* (CD-ROM). Amsterdam.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (1983). Manual of Remote Sensing. 2.ed. V.1.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (1980). Manual of photogrammetry. 4.ed. V.1.
- AMORIM, A.; (1993). *Utilização de câmaras de pequeno formato no cadastro técnico urbano*. Florianópolis, 105p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina.
- AMORIM, A.; (2000). *Utilização de modelos estereoscópicos híbridos na atualização cartográfica*. São Carlos, 124p. Tese(Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ARBIOL. R.; GONZÁLEZ, G.; (2000). Map production in venezuela using airborne insar. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING(ISPRS), 19. Amsterdam, 2000. *Anais* (CD-ROM). Amsterdam.

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.

BURITY, E. F.; BRITO, J. L. N. S.; (1998). Cadastro: proposta de padronização de terminologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 3. Florianópolis, 1998. *Anais*(CD-ROM). Florianópolis.

CARNEIRO, A. F. T.; LOCH, C.; (2000). Análise do Cadastro Imobiliário de Algumas Cidades Brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 4., Florianópolis, 2000. *Anais*(CD ROM). Florianópolis.

COHEN, N.; (2000). Revista Infogeo, n.14, p. 18.

ESPARTEL, L.; (1960). *Curso de topografia*. Rio de Janeiro. Globo.

FRICKER, P.; SANDAU, R.; WALKER, A. S.; (1999). Digital aerial sensors: possibilities and problems. In: OEEPE- WORKSHOP ON AUTOMATION IN DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC PRODUCTION. Marne la Vallée, 1999. Proceedings. Frankfurt. p. 81-89.

GERLACH, F.; (2000). Characteristics of space imaging's one-meter resolution satellite imagery products. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING(ISPRS), 19. Amsterdam, 2000. *Anais* (CD-ROM). Amsterdam.

GILBERT, C.; (1996). Coleta de atributos com GPS - Parte 1. *Revista Fator GIS*, n. 14, p. 46-47.

- GILBERT, C.; (1997). Coleta de atributos com GPS - Parte 4. *Revista Fator GIS*, n. 17, p. 36-37.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J.; (1997). *Global positioning System - Theory and practice*. New York. Springer-Verlag/Wien.
- IDOETA, I.; TOSTES, F. A.; IDOETA, I. V.; (2000). Revisão cadastral urbana com fotos aéreas ampliadas – uma metodologia consolidada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 4. Florianópolis, 2000. *Anais* (CD-ROM). Florianópolis.
- JENSEN, J. R.; COWEN, D. C.; (1999). Atributos urbanos e suburbanos e as resoluções mínimas de sensoriamento remoto necessárias. *Revista Infogeo* n.14. p. 40-41./ Traduzido de Remote sensing of urban/suburban infrastructure na socio-economics attributes. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing(PERS)*, vol.65, n.5. p.611-622.
- KRAUS, K.; (1993). *Photogrammetry – fundamentals and standart processes*. Bonn. Ferd. Dummlers Verlag.
- LEICK, A.; (1995). *GPS Satellite surveying*. New York. John Wiley & Sons, Inc.
- LIMA, O. P.; LOCH, C.; (1999). *O uso de câmaras fotográficas de pequeno formato nos levantamentos cartográficos destinados ao cadastro técnico multifinalitário*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 19. Recife/Olinda, 1999. *Anais* (CD-ROM). Recife/Olinda.
- MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J.; (1977). *Princípios de fotogrametria e fotointerpretação*. São Paulo. Nobel.

MARISCO, N.; (1997). *Atualização de plantas cadastrais utilizando ortofotos digitais*. Florianópolis, 175p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina.

NETO, F. A.; (1996). Imagens usadas em cartografia não clássica. *Cartografia e Cadastro*. n.4, p.79-84.

PAULINO L.A.; CARNEIRO, A. F. T.; (1998). Base de dados gráficos para sistemas de informações geográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 3. Florianópolis, 1998. *Anais*(CD ROM).Florianópolis.

PEIXOTO, R. S. S. L.; (1997). *Utilização de sistemas de informações geográficas para gerenciamento de cidades de pequeno porte*. São Carlos. 174 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PHILIPS, J.; (1996). Os dez mandamentos para um cadastro moderno de bens imobiliários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO,2. Florianópolis, 1996. *Anais*. Florianópolis, p. (II) 170-183.

RENOUARD, L. ; LEHMANN, F.; (1999). Digital aerial survey data for telecoms network planning: practical experience with a high-resolution three-view stereo camera. In: OEEPE - WORKSHOP ON AUTOMATION IN DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC PRODUCTION. Marne la Vallée, 1999. Proceedings. Frankfurt. p. 97-107.

Revista A MIRA. Ano X, n.99. p. 26-27.

RIBEIRO, F. C.; (1998). A nova geração de estações totais. *Revista Infogeo*, n.04, p. 22.

- ROESER, H. P.; ECKARDT, A.; SCHOENERMARK, M. V.; SANDAU, R.; FRICKER, P.; (2000). New potential and applications of ADS. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ISPRS), 19. Amsterdam, 2000. *Anais* (CD-ROM). Amsterdam.
- ROSALEN, D. L.; (1997). *Estudo do processo de captação de imagens aplicado à fotogrametria digital*. São Carlos. 136 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SCHAAL, R. E.; (1998). *Medições de deslocamentos em obras civis de grande porte com GPS. Proposta de metodologia de análise dos resultados e tratamento dos dados*. São Paulo. 118 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SCHENK, T.; (1999). *Digital Photogrammetry*, V.1. Laurelville. TerraScience.
- SCHOFIELD, W.; (1993). *Engineering surveying* – Oxford. Butterworth-Heinemann Ltd.
- SEEBER, G.; (1993). *Satellite geodesy - foundations, methods, and applications*. Berlin. Walter de Gruyter.
- SEGANTINE, P. C. L.; (1999). *GPS - sistema de posicionamento global*. São Carlos. EESC-USP.
- SILVA, C. A. U.; (2000). *Análise de precisão dos posicionamentos relativo e por ponto simples para bases curtas, com o sistema navstar/gps: estudo de caso em Belém-PA*. São Carlos, 190p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- SILVA, I.; (1993). Instrumentos topográficos modernos - topografia moderna. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 16. Rio de Janeiro, 1993. *Anais*. Rio de Janeiro, p. 252-260.
- SILVA, I.; (1998). A fotogrametria é definitivamente digital. *Revista Infogeo*, n. 04, p. 48-51.
- TAVARES, P. (1993). A qualidade da base de dados gráfica para o geoprocessamento. *Revista Fator Gis*, n.3, p. 40-41.
- TAVARES, P. (1998). A evolução das técnicas de levantamentos espaciais. *Revista Infogeo*, n. 4, p. 62-63.
- TOMMASELLI, A. M. G.; SANTOS, D. R.; (2000). Uma estratégia para extração semi-automática de feições com análise do M.D.T. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 4. Florianópolis, 2000. *Anais* (CD-ROM). Florianópolis.
- TOUTIN, T.; CHENG, P.; (2000). Desmistificando o IKONOS. *Revista Infogeo*, n. 15. P. 48-54./ Traduzido de *Earth Observation Magazine*, p. 17-21, jul.
- VEIGA, L. A. K.; (2000). *Sistema para mapeamento automatizado em campo: conceitos, metodologia e implantação de um protótipo*. São Paulo. 118 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- VIEIRA, C. A. O.; SILVA, A. S.; (1996). Uma proposta para o cadastro técnico municipal de pequenas cidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2. Florianópolis, 1996. *Anais*. Florianópolis, p. (III) 170-183.

WOLF, P. R.; BRINKER, R. C.:(1994). *Elementary surveying*. New York. Harper Collins College Publishers.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A.; (2000). *Elements of photogrammetry – with applications in GIS*. McGraw-Hill.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

LEICA BRASIL (1997). Manual de uso do sensor SR9400 e do programa SKI - L1. São Paulo.

LEICA AG (1995). TC 400 User manual. Heerbrugg.

MIKHAIL, E.M.; GRACIE, G.:(1981). *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*. New York. Van Nostrand Reinhold.

STAR*NET(1995): – Least Squares Survey Adjustment Programs- User's Manual Addendum - International Editions. Version 5 – Oakland.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos. Serviço de Biblioteca (1996). Diretrizes para elaboração de dissertações e teses na EESC-USP.São Carlos.

WILD HEERBRUGG. Wild N2 – Instruciones para el empleo. Heerbrugg.