Campus de São Carlos

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE DADOS
GEORREFERENCIADOS UTILIZANDO A
TECNOLOGIA GPS**

Eliana Edérle Dias Chaves

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Lima Segantine

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

70152194

ANÁLISE DA QUALIDADE DE DADOS GEORREFERENCIADOS UTILIZANDO A TECNOLOGIA GPS

Eliana Edérle Dias Chaves

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016522

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. Paulo César Lima Segantine

**São Carlos
1998**

Class.	TESE/EESC
Cutt.	1496
Tempo	T0J52/98

st 0980262

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP**

C512a Chaves, Eliana Edérle Dias
Análise da qualidade de dados georreferenciados
utilizando a tecnologia GPS / Eliana Edérle Dias
Chaves. -- São Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Transportes.
Orientador: Prof. Dr. Paulo César Lima
Segantine.

1. Dados georreferenciados. 2. Análise da
qualidade. 3. GPS. I. Título.

*Ao meu esposo João Carlos e às
minhas filhas Mariana e Carolina.*

A Deus, pela minha existência e pela existência de todos que colaboraram na concretização desta tarefa.

Aos meus pais, Edérle (*in memoriam*) e Lázaro pela lição de amor e perseverança na busca de ideais.

Ao orientador Prof. Dr. Paulo César Lima Segantine, pela competência e presteza na orientação, correção e sugestões deste trabalho.

Aos amigos que fiz no Departamento de Transportes.

Aos meus amigos de Presidente Prudente, que mesmo a distância, estão sempre tão presentes...

Por todos aqueles que oraram pelo meu sucesso.

Às minhas filhas Mariana e Carolina, pelos momentos que as privei da minha companhia em favor deste trabalho.

Ao meu esposo João Carlos pelo amor, paciência e dedicação dispensados à mim no período de realização desta dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	v
LISTA DE SÍMBOLOS.....	viii
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
 1 INTRODUÇÃO.....	 1
1.1 Método.....	3
2 CONCEITOS CARTOGRÁFICOS.....	4
2.1 Introdução.....	4
2.2 Cartografia.....	4
2.3 Mapa, carta e planta.....	5
2.3.1 Classificação dos produtos cartográficos.....	6
2.3.2 Escalas de representação.....	6
2.3.3 Elementos básicos de uma carta.....	7
2.3.4 A superfície de referência.....	8
2.3.5 O sistema Geodésico Brasileiro (SGB).....	11
2.3.6 Sistema de referência adotado pelo sistema GPS (WGS-84).....	13
2.4 Sistemas de Projeção.....	15
2.4.1 Definições e objetivos.....	15
2.4.2 Classificação dos sistemas de projeção.....	15
2.4.3 O sistema UTM.....	17
2.5 Articulação Sistemática.....	20

2.6 Base Cartográfica e estrutura de representação.....	22
2.6.1 Estrutura e representação de dados.....	22
2.7 Medidas em mapas.....	26
3 TRANSFORMAÇÃO DE SISTEMAS DE COORDENADAS E DATUM.....	28
3.1 Introdução.....	28
3.2 Transformação de coordenadas no plano utilizando o software AutoCAD..	28
3.3 Transformação de coordenadas no plano.....	30
3.3.1 Transformação de corpo rígido.....	31
3.3.2 Transformação de similaridade (Isogonal; Conforme, de Helmert).....	32
3.3.3 Transformação Ortogonal.....	32
3.3.4 Transformação Afim.....	32
3.3.5 Transformação Projetiva.....	34
3.4 Transformação entre <i>data</i>	35
3.4.1 Transformação entre os sistemas WGS-84 (GPS) e o Internacional de Hayford.....	35
3.4.2 Transformação de coordenadas geográficas geodésicas em UTM.....	36
4 ANÁLISE DA EXATIDÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS.....	39
4.1 Introdução.....	39
4.2 O conceito de mapa "exato".....	39
4.3 Os padrões de exatidão cartográfica.....	40
4.3.1 Especificações da exatidão do mapa.....	41
4.3.2 Os Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC) no Brasil.....	41
4.4 Os testes de exatidão cartográfica.....	44
4.4.1 A análise de exatidão de um mapa.....	45
4.4.2 A análise da exatidão cartográfica.....	46
5 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	50
5.1 Introdução.....	50
5.2 Aspectos gerais de um SIG.....	50
5.2.1 Dados espaciais georreferenciados.....	51
5.3 Componentes funcionais e disciplinas correlatas.....	51
5.4 O emprego do SIG em Engenharia de Transportes.....	52
5.5 Classificação dos métodos de aquisição de dados em SIG.....	53

5.5.1 O método da digitalização.....	54
5.5.2 Digitalização manual.....	55
5.5.2.1 Equipamentos.....	55
5.5.2.2 Indicadores de exatidão.....	56
5.5.2.3 Processos de digitalização manual.....	56
5.5.2.4 Os modos de digitalização.....	57
5.5.3 Digitalização automática.....	59
5.5.3.1 Equipamentos.....	59
5.5.3.2 Resolução.....	60
5.5.3.3 Processo de digitalização automática.....	60
5.5.4 Digitalização manual x Digitalização automática.....	61
5.5.5 Digitalização de cartas.....	62
5.5.6 Testes relacionados à digitalização.....	66
5.5.6.1 NUGENT (1995).....	66
5.5.6.2 MELLO & CINTRA (1993).....	66
5.5.6.3 GOODCHILD & GOPAL (1989).....	67
5.6 Aspectos da qualidade dos dados de entrada georreferenciados em SIG.....	68
5.7 Métodos e erros associados a aquisição de dados em SIG.....	70
6 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL GPS.....	73
6.1 Introdução.....	73
6.2 Sistema de Posicionamento Global GPS.....	73
6.2.1 Os segmentos GPS.....	74
6.2.2 Características dos sinais GPS.....	78
6.2.3 Observações e erros no levantamento GPS.....	80
6.3 Inter-relação GPS/SIG.....	82
6.3.1 Planejamento de transportes.....	83
6.3.2 Meio Ambiente.....	86
6.3.3 Planejamento urbano e rural.....	88
6.3.4 Mapeamento e controle de produtos cartográficos.....	91
7 ANÁLISE DE QUALIDADE DE DADOS GEORREFERENCIADOS, UM ESTUDO DE CASO.....	94
7.1 Introdução.....	94

7.2 Definição da área para o Estudo de Caso.....	95
7.2.1 Obtenção da Base Cartográfica.....	96
7.2.2 Seleção e reconhecimento dos pontos de controle.....	97
7.3 Obtenção das coordenadas de referência (GPS).....	100
7.3.1 Levantamento de campo.....	100
7.3.2 Equipamentos, softwares e métodos de posicionamento GPS.....	100
7.3.3 Planejamento e programação das observações.....	103
7.3.4 Materialização dos pontos.....	105
7.3.5 As observações GPS.....	106
7.3.5.1 Estacionamento da antena receptora.....	106
7.3.5.2 Início e término das observações.....	107
7.3.5.3 Duração da sessão de observação.....	107
7.3.6 Transferência e Processamento dos dados GPS.....	108
7.3.7 Transformação de coordenadas e Datum.....	111
7.3.8 Resultados.....	112
7.4 Obtenção das coordenadas a serem avaliadas através do processo de digitalização.....	114
7.4.1 Digitalização manual.....	114
7.4.1.1 Digitalização manual com o AutoCAD 13.....	115
7.4.1.2 Comandos utilizados na digitalização dos dados.....	117
7.4.1.3 Comandos utilizados na edição dos dados.....	118
7.4.2 Digitalização no Estudo de Caso.....	120
7.4.2.1 Digitalização no mesa A4.....	120
7.4.2.2 Digitalização dos pontos na mesa A0.....	122
7.4.2.3 Digitalização e edição na mesa A4.....	124
7.4.2.4 Digitalização e importação de arquivos.....	126
7.5 Análise da qualidade dos dados digitalizados.....	130
7.5.1 Análise de tendência.....	130
7.5.2 Análise da precisão.....	137
7.6 Conclusões gerais das análises.....	139
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	142

ANEXO A.....	145
ANEXO B.....	147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	171

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Ilustração de uma escala gráfica 1:10.000.....	07
FIGURA 2.2 - Sistemas de Coordenadas.....	08
FIGURA 2.3 - Superfícies de referência.....	09
FIGURA 2.4 - Sistemas de projeção adaptado de BONHAM-CARTER (1994).....	17
FIGURA 2.5 - Sistema de Projeção UTM.....	18
FIGURA 2.6 - O coeficiente de deformação K.....	19
FIGURA 2.7 - Localização da carta SÃO CARLOS I no sistema UTM.....	20
FIGURA 2.8 - Estruturas vector e raster de dados digitais.....	25
FIGURA 3.1 - Transformação de Coordenadas.....	31
FIGURA 3.2 - Não ortogonalidade entre os eixos na Transformação Afim.....	33
FIGURA 5.1 - Métodos de aquisição de dados em SIG (KAEHLER & TAUCH, 1992).....	54
FIGURA 5.2 - Mesa Digitalizadora.....	56
FIGURA 5.3 - Scanner de mesa (SCARIM & TEIXEIRA, 1994).....	60
FIGURA 5.4 - O formato DXF.....	65
FIGURA 6.1 - Constelação GPS (DANA, 1995).....	75
FIGURA 6.2 - Planos orbitais do GPS (DANA, 1995).....	75
FIGURA 6.3 - Segmento de controle (DANA, 1995).....	76
FIGURA 6.4 - Esquema do Segmento de Controle em operação (DANA, 1995).....	77
FIGURA 6.5 - Segmento do usuário (DANA, 1995).....	78
FIGURA 6.6 - Estrutura básica do sinal GPS (MONICO, 1996).....	79

FIGURA 7.1 - Diagrama das atividades práticas do Estudo de Caso	95
FIGURA 7.2 - Distribuição dos pontos na área de estudo.....	99
FIGURA 7.3 - Menu principal do programa SKI (LEICA, 1997).....	103
FIGURA 7.4 - Disponibilidade dos satélites (LEICA, 1997)	104
FIGURA 7.5 - Ilustração da tabela de disponibilidade dos satélites (LEICA, 1997).....	104
FIGURA 7.6 - Materialização dos pontos.....	106
FIGURA 7.7 - Componente <i>Data Processing</i> (LEICA, 1997).....	108
FIGURA 7.8 - Escolha da seleção dos pontos (LEICA, 1997).....	109
FIGURA 7.9 - A opção <i>RESULT</i> (LEICA, 1997).....	110
FIGURA 7.10- TransCoor (CHAVES, 1997).....	112
FIGURA 7.11 - Pontos de calibragem da mesa.....	116
FIGURA 7.12 - A janela AutoCAD Text Window.....	117
FIGURA 7.13 - Barra de ferramentas personalizada.....	119
FIGURA 7.14 - Divisão da área dos pontos digitalizados.....	121
FIGURA 7.15 - Área digitalizada e editada (Escala 1:15000).....	125
FIGURA 7.16 - Detalhe da janela do Auto CAD com a área de junção dos arquivos.....	127
FIGURA 7.17 - Área digitalizadas, editadas e importadas (Escala 1:15000).....	129

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - Parâmetros dos Elipsóides de Referência utilizados.....	10
TABELA 2.2 - Classificação dos sistemas de projeção (BAKKER, 1965).....	16
TABELA 3.1 - Quadro resumo das transformações (GREENFELD, 1996).....	34
TABELA 4.1 - Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico.....	43
TABELA 5.1 - Para valores de RMS (SILVA, 1997).....	57
TABELA 6.1 - Fontes e efeitos dos erros no GPS (MONICO, 1996).....	82
TABELA 7.1 - Coordenadas obtidas do levantamento GPS.....	113
TABELA 7.2 - As coordenadas obtidas na mesa A4.....	122
TABELA 7.3 - Coordenadas obtidas na digitalização com a mesa A0.....	123
TABELA 7.4 - Coordenadas da área digitalizada e editada.....	126
TABELA 7.5 - Coordenadas de dados digitalizados, editados e importados.....	128
TABELA 7.6 - Cálculo das discrepâncias para dados obtidos na mesa A4.....	131
TABELA 7.7 - Análise de tendência (Mesa A4).....	132
TABELA 7.8 - Cálculo das discrepâncias (Mesa A0).....	133
TABELA 7.9 - Análise de tendência (Mesa A0).....	134
TABELA 7.10 - Cálculo das discrepâncias (Digitalizados - Mesa A4).....	134
TABELA 7.11 - Cálculo das discrepâncias (Digitalizados, editados - Mesa A4).....	135
TABELA 7.12 - Análise de tendência (Digitalizados - Mesa A4).....	135
TABELA 7.13 - Análise de tendência (Digitalizados, editados - Mesa A4).....	136
TABELA 7.14 - Cálculo das discrepâncias (Digitalizados, editados e importados - Mesa A4).....	136

TABELA 7.15 -Análise de tendência (Digitalizados, editados e importados - Mesa A4).....	137
TABELA 7.16 - PEC para a carta 1:10000.....	138
TABELA 7.17 - Análise da precisão dos dados da mesa A4 (23 pontos).....	138
TABELA 7.18 - Análise da precisão dos dados da mesa A0.....	138
TABELA 7.19 - Análise da precisão dos dados digitalizados - mesa A4(5 pontos).139	
TABELA 7.20 - Análise da precisão dos dados digitalizado e editados.....	139
TABELA 7.21 - Análise da precisão dos dados digitalizados, editados e importados.....	139
TABELA 7.22 - Resumo das análises de tendência e de precisão.....	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFSC	- Air Force Space Command
AS	- Anti-Spoofing
ASCII	- American Standard Code for Information Interchange
CAD	- Computer Aided Design
CCD	- Charge Coupled Device
CELPE	- Companhia Energética de Pernambuco
CERCLA	- Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability
CIM	- Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo
CIO	- Conventional International Origin
CMAS	- Circular Map Accuracy Standard
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia
CTM	- Cadastros Técnicos Multifinalitários
DGPS	- Differential Global Positioning System
DoD	- U.S.A Departement Of Defense
DTM	- Digital Terrain Model
DXF	- Drawing eXchange Format
EESC – USP	- Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo
EP	- Erro Padrão
EPA	- Envirommental Protection Agency
FBCN	- Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza

FOC	- Full Operational Capability
FTC – UNESP	- Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”
GEIDS	- Gerência de Redes de Distribuição da COPEL
GPS	- Sistema de Posicionamento Global
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	- Associação Cartográfica Internacional
IGC	- Instituto Geográfico e Cartográfico
MC	- Meridiano Central
NAD	- North American Datum
NAVSTAR	- NAVigation Satellite with Time And Ranging
PEC	- Padrão de Exatidão Cartográfica
ppp	- pontos por polegada
PRN	- Pseudo Random Noise
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do IBGE
RDRs	- Redes de Distribuição Rural
RDU	- Redes de Distribuição Urbana
REA	- Rapid Ecological Assessment
RMS	- Raiz Quadrática Média
SA	- Selective Availability
SAD	- South American Datum
SAD-69	- South American Datum 1969
SCN	- Sistema Cartográfico Nacional
SDTS	- Spatial Data Transfer Standard
SGB	- Sistema Geodésico Brasileiro
SIG	- Sistemas de Informações Geográficas
TCU	- Transporte Coletivo Urbano
TM	- Thematic Mapper
UFPE	- Universidade Federal de Pernambuco
USCG	- United States Coast Guard
USNO	- United States Naval Observatory

UTC	- Universal Time Coordinate
UTM	- Universal Transversa de Mercator
WGS	- World Geodetic System
ZAT	- Zonas de Análise de Tráfego

LISTA DE SÍMBOLOS

$\overline{\Delta X}$	- discrepância média
$G^P(t)$	- código C/A (código “Gold”)
$P^P(t)$	- código pseudo-aleatório P(Y)
$D^P(t)$	- fluxo de dados de navegação.
B_p	- amplitude do código P(Y)
$\dot{\rho}_k^p(t)$	- variação da distância topocêntrica
dt_k	- erro do relógio do receptor;
dt^p	- erro do relógio do satélite
α	- rotação de eixos de um sistema de coordenadas em relação a outro
ε_φ	- ruído da fase da portadora
$d_{k,p}(t_k)$ e $d_p^p(t_k)$	- atrasos do código do hardware do receptor e do satélite;
A_p, A_c	- amplitudes do código P(Y) e código (C/A)
$B(\varphi), \lambda_0, k_0$	- comprimento do arco de meridiano, longitude do meridiano central e fator de escala do meridiano central, respectivamente
(X, Y, Z)	- coordenadas geográficas cartesianas
(φ, λ, h)	- coordenadas geográficas, ou, latitude, longitude e altura geométrica
$P_k^p(t_k)$	- pseudodistância;
f	- achatamento do elipsóide

f_1	- achatamento do elipsóide ₁
f_2	- achatamento do elipsóide ₂
N_k^p	- ambigüidade da fase
K_0	- coeficiente de redução de escala
$I_{k,p}^p(t_k)$	- correção ionosférica;
$T_k^p(t_k)$	- correção troposférica;
$S_{\Delta X}^2$	- desvio padrão da discrepância média
$\rho_k^p(t_{r,k})$	- distância topocêntrica entre satélite e receptor;
$\varphi_k^p(t)$	- fase da portadora observada
J_2	- fator dinâmico da Terra
H_1	- Hipótese básica
H_0	- Hipótese nula
S_x	- mudança de escala no eixo X
S_y	- mudança de escala no eixo Y
$d_{k,p}^p(t_k)$	- multicaminhamento;
ε	- não ortogonalidade entre os eixos de um dos sistemas de coordenadas
N	- ondulação geoidal
χ_X^2	- quiquadrado amostral
ε_p	- ruído da medida aleatória.
a, b	- semi-eixos maior e menor, respectivamente
b_0	- translação de origem na direção Y
dx	- translação no eixo x
dy	- translação no eixo y
dz	- translação no eixo z
a_1	- semi-eixo maior do elipsóide ₁
a_2	- semi-eixo maior do elipsóide ₂

a_0	- translação de origem na direção X
$\delta E, \delta N$	- discrepâncias
σ_x	- desvio-padrão ou erro padrão esperado para a coordenada X
c	- velocidade da luz no vácuo;
C/A	- código grosseiro/aquisição (“coarse/acquisition code”)
L	- frequência de rádio de banda L
N	- ondulação geoidal
P	- código de precisão (“precision code”)
t	- estatística amostral

RESUMO

CHAVES, E.E.D. (1998). *Análise da qualidade de dados georreferenciados utilizando a tecnologia GPS*. São Carlos, 1998. 179p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O crescente uso dos Sistemas de Informações Geográficas exige a reflexão sobre a qualidade dos dados georreferenciados, que é crucial para a qualidade do produto final destes sistemas. A qualidade destes dados é muitas vezes desconhecida ou simplesmente ignorada. Conhecendo-a, o usuário adquire subsídios para aceitá-los ou rejeitá-los em seus projetos. O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade de dados georreferenciados, através da análise de discrepância entre estes no meio digital e os obtidos a partir da tecnologia GPS. Efetuando-se estas análises, verifica-se a existência de erros sistemáticos na obtenção destes dados e analisa-se a precisão dos mesmos em relação aos padrões adotados, obtendo-se assim, um perfil que permite a avaliação qualitativa e quantitativa dos mesmos.

Palavras-chave: dados georreferenciados; análise da qualidade; GPS

ABSTRACT

CHAVES, E.E.D. (1998). *Analysis of the quality of georeferenced data using the GPS technology*. São Carlos, 1998. 179p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The crescent use of the Geographic Information System asks for a reflection about the quality of the georeferenced data, which is important for the quality of the final product of these systems. The quality of these data is many times unknown or simply ignored. Knowing this quality, the user acquires subsidies to accept or reject them in their projects. The aim of this work is to evaluate the quality of georeferenced data, through the analysis of discrepancy among these in the digital mean and those obtained from the GPS Technology. Performing these analysis it is verified the existence of systematical errors in the obtainment of these data and it is analyzed the precision of those in relation to the adopted standards, obtaining in this way, a feature that allows the qualitative and quantitative evaluation of these.

Keywords: georeferenced data; analysis of quality; GPS

1 INTRODUÇÃO

Com a disseminação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), aliada a multidisciplinaridade dos mesmos e, por consequência, ao fácil acesso de usuários de áreas diversificadas, muitas vezes não é levantada a questão da qualidade dos dados georreferenciados, crucial para a qualidade do produto final do sistema. Assim, a questão da qualidade geométrica é muitas vezes esquecida, ou simplesmente desconhecida pelos usuários e o que se tem em mãos são na realidade “croquis digitalizados”, dos quais, a qualidade geométrica das informações inseridas é desconhecida. Fica claro aqui, que as exigências concernentes à qualidade geométrica do produto estão diretamente relacionadas com as aplicações as quais os SIG são destinados.

Na área de Transportes, normalmente os SIGs são utilizados em quatro subáreas: Operação, Planejamento, Gestão e Revisão e Crítica (DANTAS; TACO; YAMASHITA, 1996), notando-se a utilização de dados georreferenciados como dados de entrada nos projetos desenvolvidos nestas subáreas.

Uma das etapas de controle da qualidade destes dados consiste no controle de qualidade dos produtos cartográficos a partir dos quais são originados esses dados.

Esta dissertação tem como proposta fazer uma avaliação da qualidade geométrica dos dados georreferenciados obtidos no meio digital, utilizando o Sistema de Posicionamento Global (GPS) para a obtenção dos pontos de controle. Para tanto, adotou-se um estudo de caso, cuja área teste localiza-se no município de São Carlos.

Para que se entenda e se avalie os dados digitais é necessário o conhecimento do documento (carta analógica) a partir do qual foram gerados estes dados. Assim, no capítulo 2 da presente dissertação são apresentados conceitos Cartográficos como: definição de Cartografia, mapa, carta e planta; classificação de produtos cartográficos; conceituação de escala de representação, dos elementos básicos de uma carta, das superfícies de referência adotadas; apresentação do Sistema

Geodésico Brasileiro (SGB) e do Sistema de referência adotado pelo World Geodetic System (WGS-84) e os Sistemas de projeção incluindo definições, objetivos, classificação, enfatizando-se o sistema Universal Transversa de Mercator UTM, usado neste trabalho; descrição de Articulação Sistemática; definição de Base Cartográfica e a estrutura de representação dos dados e, finalizando, define-se os modos de obtenção de medidas de cartas.

Quando tem-se dados originados de fontes heterogêneas, como dados obtidos no sistema GPS e dados digitais vindos de dados analógicos, busca-se homogeneizá-los, submetendo-os à transformações, para posteriormente compará-los.

No capítulo 3 são apresentadas Transformações de Sistemas de Coordenadas e de Datum, incluindo a transformação de coordenadas no plano utilizada no AutoCAD; as transformações de coordenadas no plano que incluem a Transformação de corpo rígido, a Transformação de similaridade, a Transformação Afim e a Transformação Projetiva; as transformações de Data compostas pela transformação entre o Sistema WGS-84 e o Internacional de Hayford, culminando com as Transformações de coordenadas geográficas em UTM. De posse dos dados compatíveis, é preciso conhecer os critérios técnicos para avaliar a qualidade dos mesmos.

O capítulo 4 descreve os critérios referindo-se à Análise de Exatidão dos produtos cartográficos. Esta Análise é constituída pelos aspectos relacionados a exatidão de um mapa, pelos Padrões de Exatidão Cartográfica vigentes nos EUA, pelas especificações da exatidão de um mapa, por Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) em vigor no Brasil e pelos testes de exatidão cartográfica aplicados nestes países. Os dados de entrada no meio digital podem ter as mais variadas aplicações. Uma das aplicações de interesse nesse estudo é o uso destes dados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

No capítulo 5, os SIGs são apresentados através de seus aspectos gerais, de suas componentes funcionais e de seu emprego em Engenharia dos Transportes. Também, neste capítulo, foram classificados os métodos de aquisição de dados em SIG, com enfoque direcionado ao método de digitalização manual, equipamentos e ao processo de digitalização propriamente dito, sem contudo deixar de descrever o método de digitalização automática, os equipamentos e o processo em si.

Estabeleceu-se em seguida, uma comparação entre os métodos de digitalização manual e automática. Tratou-se ainda neste capítulo dos erros associados à aquisição de dados em SIG, particularmente os erros gerados a partir da digitalização manual, mostrando-se exemplos práticos de detecção dos mesmos.

No capítulo 6, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), consagrado como uma poderosa ferramenta na aquisição e controle de dados georreferenciados, é descrito, obedecendo a seguinte ordem: conceituou-se o GPS e suas características, comenta-se sobre os segmentos pertencentes a este sistema, apresenta-se as características dos sinais, as observações e os erros nos levantamentos GPS. Institui-se então, a inter-relação GPS/SIG e relaciona-se em seguida, exemplos práticos de aplicação do GPS no Planejamento dos Transportes, no Meio Ambiente, no Planejamento Urbano e Rural e no Mapeamento e controle de produtos cartográficos.

Ao capítulo 7 destina-se a descrição do Estudo de Caso, subdividido em quatro partes: definição da área de estudo, englobando a obtenção da base cartográfica, seleção e reconhecimento dos pontos de controle; obtenção das coordenada de referência GPS, compreendendo o levantamento de campo, a apresentação dos softwares, equipamentos e métodos utilizados e processamentos; obtenção das coordenadas a serem avaliadas a partir do processos de digitalização; e, análise da qualidade dos dados, mediante a comparação das coordenadas obtidas através do GPS e da digitalização, em função da análise de tendência e análise de precisão. Apresenta-se também, as conclusões das análises realizadas.

No capítulo 8, relata-se as conclusões do estudo de caso, juntamente com as sugestões e recomendações.

1.1 Método

Através da apresentação de conceitos cartográficos básicos de cartas analógicas e digitais, da descrição do GPS e dos métodos de obtenção de cartas digitalizadas, um Estudo de Caso foi planejado e executado visando analisar a qualidade de dados georreferenciados pela comparação entre estes no meio digital e os obtidos pelo GPS. Os resultados obtidos foram analisados e quantificados.

2 CONCEITOS CARTOGRÁFICOS

2.1 Introdução

A representação analógica ou digital da superfície da Terra em um plano, resulta de um complexo de conceitos e atividades, visto que trata-se da planificação de uma superfície irregular. Neste capítulo, são abordados conceitos básicos de Cartografia, considerados imprescindíveis ao conhecimento de usuários de produtos cartográficos.

2.2 Cartografia

Para BAKKER (1965), “Cartografia é a ciência e a arte de expressar graficamente, por meio de mapas e cartas, o conhecimento humano da superfície da Terra”.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1961), “Cartografia é a arte de levantamento, construção e edição de mapas e cartas de qualquer natureza”.

A Associação Cartográfica Internacional (ICA, 1973) define a Cartografia como “o conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas que, tendo por base os resultados das observações obtidas pelos métodos e processos diretos, indiretos ou subsidiários de levantamento ou exploração de documentos existentes, destinam-se à elaboração e à preparação de mapas e outras formas de expressão, assim como a sua utilização”.

Numa definição mais recente, em que são levados em consideração os avanços científicos e tecnológicos na produção de produtos cartográficos, “Cartografia é a

organização, apresentação, comunicação e utilização de geoinformação nas formas visual, digital ou tátil, que inclui todos os processos de preparação de dados, no emprego e estudo de todo e qualquer tipo de mapa” (Recomendação ICA/Budapeste/Hungria (1989) apud BRUNETTI (1994)).

2.3 Mapa, carta e planta

A ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) (1961) apud MENEGUETTE (1994), define, mapa, carta e planta, como:

- a) Mapa: representação da Terra nos seus aspectos geográficos naturais ou artificiais que se destina a fins culturais ou ilustrativos;
- b) Carta: representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação de distâncias, direções e a localização geográfica de pontos, áreas e detalhes;
- c) Planta: carta regular representando uma superfície de extensão suficientemente restrita para que sua curvatura possa ser desprezada e que, por isso, a escala possa ser considerada como constante.

Para JOLY (1990), um mapa é a representação da superfície terrestre (superfície irregular) sobre uma superfície plana, folha de papel ou monitor de vídeo. A passagem da forma irregular para a forma plana implica várias dificuldades. Uma delas é a definição exata da forma e das dimensões da Terra, que é o objeto de estudo da Geodésia. Uma outra dificuldade consiste em transferir para o plano a superfície medida através dos métodos geodésicos, que é objeto de estudo dos sistemas de projeções.

O mapa é uma simplificação da realidade e por mais detalhado que seja, é uma construção seletiva e representativa que utiliza símbolos e sinais. A Semiologia gráfica estabelece as regras dessa simbologia criando uma espécie de gramática da linguagem cartográfica. A quantidade e o acúmulo dos símbolos estão diretamente relacionados com o espaço disponível: quanto menor for a escala (ou quanto maior a redução da imagem terrestre) maior o processo seletivo e mais abstrata a simbologia. Este

problema é objetivo da generalização, aumentando ainda mais o caráter esquemático e convencional da representação cartográfica.

2.3.1 Classificação dos produtos cartográficos

A ABNT (1961) define a classificação dos produtos cartográficos conforme:

- a) Suas finalidades: Cartas Geográficas (Topográficas que apresentam elementos planimétricos e altimétricos; Planimétricas); Cartas Cadastrais; Cartas Náuticas e Aeronáuticas; Cartas Especiais ou Temáticas (Geológicas, Geomorfológicas, Geofísicas, Meteorológicas, de Uso da Terra).
- b) Suas escalas: Escala pequena (1:100.000 e menores, mapas); Escala média (1:10.000 - 1:100.000, cartas); Escala grande (1:10.000 e maiores, plantas).

2.3.2 Escalas de representação

De acordo com BAKKER (1965), representar a superfície da Terra sob a forma de cartas implica na representação de uma superfície de grandes dimensões sobre outra de dimensões bastante reduzidas. É necessário, assim, reduzir a superfície terrestre a dimensões tais que possa ser representada dentro das que foram estabelecidas para a carta. Esta redução importa na idéia de escala, que pode ser conceituada como uma relação entre o comprimento gráfico e o comprimento correspondente medido sobre a superfície da Terra.

Do ponto de vista teórico, o conceito geral de escala é irreal, pois, ela sofre variações de um lugar para outro em uma mesma carta, não podendo, portanto ser usada sem restrições.

Segundo JOLY (1990), a escala de um mapa é a relação constante que existe entre as distâncias lineares medidas sobre o mapa e as distâncias lineares correspondentes, medidas sobre o terreno. A escala pode ser:

- a) Numérica: expressa por uma fração cujo numerador é a medida no mapa e o denominador a medida correspondente no terreno, mantendo-se a mesma unidade. Assim, numa carta de 1/50.000 (normalmente expresso 1:50.000), 1mm no mapa

representa 50.000mm, ou seja 50m, no terreno. A escala é tanto menor quanto maior o denominador, por exemplo a escala 1:2.000 é uma escala maior que 1:5.000;

- b) Gráfica: um ábaco formado por uma linha graduada, dividida em partes iguais, cada uma delas representando a unidade de comprimento escolhida para o terreno ou um dos seus múltiplos (Figura 2.1). Quando cartas são reproduzidas em cópias heliográficas ocorrem deformações, tornando-se indispensável a utilização deste tipo de escala.

FIGURA 2.1 Ilustração de uma escala gráfica 1:10.000

2.3.3 Elementos básicos de uma carta

Compreendem o estabelecimento de um sistema de coordenadas sobre a Terra, para que cada ponto da superfície seja relacionado ao sistema, ficando assim, por exemplo, referidos a um sistema de linhas imaginárias (meridianos e paralelos) e por suas coordenadas (latitudes e longitudes). Existem também sistemas que representam eixos coordenados retangulares (coordenadas x e y) e os sistemas que utilizam coordenadas polares (azimute e distâncias). São sistemas que podem ser relacionados entre si através de fórmulas matemáticas e são visualizados na Figura 2.2.

FIGURA 2.2 Sistemas de Coordenadas

2.3.4 A superfície de referência

Como o problema fundamental da Cartografia é a representação da superfície da Terra em um plano, é necessário o conhecimento da forma da Terra.

A idéia inicial era de uma Terra plana, até que Pitágoras, por volta do século IV AC, considerou a Terra como esférica. Tal conceito foi mantido por muitos séculos e até hoje é considerado, devido a simplificação dos cálculos.

No fim do século XVII, Newton lançou a idéia do achatamento da Terra, devido ao movimento de rotação, postulando a forma elipsoidal, um elipsóide biaxial ou de revolução, que é a forma geométrica gerada pela rotação de uma elipse em torno de um de seus eixos.

Assumido este modelo, foram determinados os seus parâmetros e centenas de elipsóides foram desenvolvidos.

A partir de medidas geodésicas realizadas no século passado, constatou-se que a Terra não era um elipsóide regular. A Geodésia Física, através de estudos gravimétricos, esboçou uma nova forma da Terra: o Geóide. Com o formato de uma pêra, o Geóide é de acordo com TORGE (1991), uma superfície equipotencial, que em qualquer lugar é perpendicular à vertical dada por um fio de prumo e que coincide com o nível médio não perturbado dos mares. Devido à complexidade de desenvolvimento de seu modelo matemático, adota-se o elipsóide de revolução para a sua representação, considerando-se a existência de um novo parâmetro representado o afastamento entre o geóide e o elipsóide, denominado ondulação geoidal (N). Mostra-se na Figura 2.3, um esquema com as superfícies de referência: a esfera, o elipsóide e o geóide.

FIGURA 2.3 Superfícies de referência

Na Tabela 2.1 estão relacionados alguns parâmetros dos Elipsóides de Referência utilizados, segundo SEGANTINE (1995):

TABELA 2.1 Parâmetros dos Elipsóides de Referência utilizados

Sistema de Coordenada(datum)	Elipsóide de Referência utilizado	Semi-eixo maior(m) (a)	Achatamento (f)
NAD-27	Clarke-1866	6.378.206,40	1/294,9786982
NAD-83	GRS-80	6.378.137,00	1/298,257222101
Córrego Alegre	Hayford	6.378.388,00	1/297,00
SAD-69	Internacional-1967	6.378.160,00	1/298,25
WGS-84	Internacional-1980	6.378.137,00	1/298,2572223563

onde NAD corresponde ao North American Datum (Datum Norte Americano), SAD ao South American Datum (Datum Sul Americano) e WGS ao World Geodetic System (Sistema Geodésico Mundial).

No Brasil, desde 1977, é adotado o Elipsóide de Referência 67 ou Elipsóide Internacional de 1967, no entanto ainda existem países que adotam o Elipsóide de Hayford, e como cada elipsóide tem parâmetros próprios, os projetos que utilizam cartas com elipsóides diferentes, devem ser submetidos a um tratamento matemático a fim de compatibilizar os dados.

Com o objetivo de regularizar a execução dos Levantamentos Geodésicos, estabelecendo tolerâncias e critérios para os mesmos, foram criadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1983) as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos.

Estas especificações descrevem que, a Geodésia, sendo classicamente definida como ciência que se ocupa da determinação da forma, das dimensões e do campo gravitacional da Terra, possui como problema geodésico de natureza físico-geométrica, a definição de um sistema de coordenadas em que fiquem caracterizados os pontos descritores da superfície física da Terra (ou superfície topográfica).

O sistema de coordenadas associado aos pontos descritores denomina-se SISTEMA GEODÉSICO, sendo necessária, para atingir os objetivos da Geodésia, a sua extensão à toda superfície da Terra. Na prática, a definição de um Sistema Geodésico Mundial detém-se nas fronteiras políticas, lançando-se mão de subsistemas

que poderão ou não estar vinculados a outros mais abrangentes, embora, cientificamente, esta vinculação deva ser atingida à nível continental.

2.3.5 O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)

Diante da colocação anterior, o IBGE (1983) define um SISTEMA GEODÉSICO a partir do conjunto de pontos geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país, que são determinados por procedimentos operacionais e coordenadas calculadas, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam.

O Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, que fixa as Diretrizes e Bases para a Cartografia Brasileira, preceitua o estabelecimento de um sistema plano-altimétrico único de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno, para servir de base ao desenvolvimento de trabalhos de natureza cartográfica, constituindo-se no referencial único para a determinação de coordenadas e altitudes em território brasileiro.

Durante muitos anos adotou-se para o Brasil o datum de Córrego Alegre como referência do Sistema Geodésico Brasileiro. Este datum tinha como ponto de partida um vértice da triangulação, localizado próximo a cidade de Uberaba (MG) e que constituía a sua origem com os elementos característicos:

- ♦ $\phi = 19^{\circ} 50' 14,15'' S$;
- ♦ $\lambda = 48^{\circ} 57' 42,75'' W$;
- ♦ *Azimute Geodésico* = $128^{\circ} 12' 48,96''$ da direção Córrego Alegre–Chapada das Areias;
- ♦ $N = 0,0 m$.

Sendo adotado o elipsóide de Hayford (Tabela 2.1).

É relevante citar que, até os dias atuais, muitas regiões/estados brasileiros apresentam cartas e mapas referenciados a este sistema.

Para o atual Sistema Geodésico Brasileiro, mais conhecido como SAD-69 (SOUTH AMERICAN DATUM 1969), a imagem geométrica da Terra é definida pelo Elipsóide de Referência Internacional de 1967, aceito pela Assembléia Geral da

Associação Geodésica Internacional em Lucerne, no ano de 1967. O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de IMBITUBA, no litoral do estado de Santa Catarina.

A figura geométrica da Terra corresponde ao Elipsóide Internacional de 1967 (ver Tabela 2.1).

Conforme citação anterior, a partir de 1977 o Brasil passou a adotar o elipsóide Internacional de 1967, porém, foi também alterado o datum planimétrico de referência, passando de Córrego Alegre para Chuá (ambos os pontos situam-se próximos a cidade de Uberaba (MG). Devido a tal fato e a consciência de que muitas cartas encontradas no Brasil ainda são as confeccionadas em datas anteriores a estas mudanças, a transformação entre ambos os sistemas deve ser feita utilizando-se dos seguintes parâmetros (IBGE, 1983):

a) Transformação de Córrego Alegre para SAD-69:

- ♦ $a_1 = 6.378.388,00$ m (semi-eixo maior do elipsóide de Hayford);
- ♦ $f_1 = 1/297,00$ (achatamento do elipsóide de Hayford);
- ♦ $a_2 = 6.378.160,00$ m (semi-eixo maior do Elipsóide Internacional 67);
- ♦ $f_2 = 1/298,25$ (achatamento do elipsóide Internacional 67);

e as translações entre as origens dos elipsóides:

- ♦ $dx = -138,70$ m
- ♦ $dy = +164,40$ m
- ♦ $dz = +34,40$ m

b) Transformação de SAD-69 para Córrego Alegre:

Utiliza-se dos mesmos valores anteriormente, porém, substituem-se a_1 por a_2 , f_1 por f_2 e os sinais de dx , dy , dz , como:

- ♦ $a_1 = 6.378.160,00$ m (semi-eixo maior do elipsóide Internacional 67);
- ♦ $f_1 = 1/298,25$ (achatamento do elipsóide Internacional 67);
- ♦ $a_2 = 6.378.388,00$ m (semi-eixo maior do elipsóide de Hayford);
- ♦ $f_2 = 1/297,00$ (achatamento do elipsóide de Hayford);

e as translações entre as origens dos elipsóides:

$$\diamond dx = +138,70 \text{ m}$$

$$\diamond dy = -164,40 \text{ m}$$

$$\diamond dz = -34,40 \text{ m}$$

A orientação topocêntrica no vértice Chuá consiste dos parâmetros:

$$\diamond \phi = 19^\circ 45' 41,6527'' S$$

$$\diamond \lambda = 48^\circ 06' 04,0639'' W$$

$$\diamond \text{Azimute} = 271^\circ 30' 04,05'' \text{ para o vértice Chuá – Uberaba;}$$

$$\diamond N \text{ (ondulação geoidal)} = 0,0 \text{ m.}$$

$$\diamond \varepsilon = -0,31''$$

$$\diamond \eta = 3,59''$$

2.3.6 Sistema de referência adotado pelo sistema GPS (WGS-84)

Em alguns casos específicos, a não adoção de um referencial comum é inviável, como por exemplo, nos que as informações e elementos transmitidos pelos satélites para o posicionamento não podem atender a cada país isoladamente. Assim, a tendência é que se consiga um referencial que constitua uma perfeita materialização do Sistema Terrestre Convencional. O referencial adotado nos satélites GPS é o WGS – 84 (World Geodetic System 1984), que na verdade constitui mais do que um simples referencial, estabelecendo também uma série de constantes, como: velocidade angular da Terra, velocidade da luz, constante universal da gravitação, etc. As principais constantes a salientar deste sistema de acordo com International Association of Geodesy (IAG) (1998) são:

$$\diamond a = 6,378.137,00 \pm 2 \text{ m};$$

$$\diamond f = 1: 298,257223563;$$

$$\diamond c = 299.792.458,00 \text{ m. s}^{-1};$$

$$\diamond J_2 = 0,108263 \times 10^{-2}$$

É importante ressaltar que o referencial cartesiano ao WGS-84 coincide com o Sistema Terrestre Convencional, cujo eixo de rotação coincide com o eixo médio de rotação da Terra, definido pelo CIO (Conventional International Origin).

Em função da diversidade de sistemas referenciais, há uma necessidade constante de transformações para se poder fazer comparações de coordenadas.

Como os sistemas de referência são definidos em condições ideais, quando é estabelecido um referencial com a finalidade de aplicação prática, vinculados à realidade física, alguma forma de simplificação é admitida. A simplificação é, de acordo com VERONEZ (1998), função de fatores tais como: qualidade exigida dos valores processados, complexidade do sistema e dos modelos matemáticos envolvidos, etc.

Por exemplo, quando é definido um Sistema Geodésico Local, geralmente a condição de paralelismo entre seus eixos coordenados é estabelecida em relação ao Sistema Terrestre Médio, que é o caso do Sistema Geodésico Brasileiro, tendo como Sistema Geodésico Local o SAD-69 (South American Datum 1969).

Obedecida esta condição de paralelismo, o IBGE determinou os parâmetros de transformação entre os sistemas WGS-84 e SAD-69 divulgando-os oficialmente. Estes parâmetros divulgados foram obtidos no Vértice Chuá – MG.

Os avanços alcançados em relação à precisão dos levantamentos com o emprego de tecnologias como o GPS, levaram os pesquisadores a questionar se a precisão obtida através do GPS era mantida ou degradada ao serem submetidas aos parâmetros de transformação do SAD-69. Alguns estudos publicados confirmam que o erro cometido utilizando-se os parâmetros de transformação oficiais divulgados pelo IBGE é significativo, comprometendo toda precisão das coordenadas, quando são transformadas para SAD-69.

VERONEZ (1998) enfatiza que, se o objetivo era determinar os parâmetros de transformação que cobrissem todo território nacional, na amostragem deveriam constar vértices localizados em todas as regiões brasileiras. Assim, os parâmetros divulgados pelo IBGE são válidos apenas para uma região restrita, próxima ao vértice Chuá. Outra questão que é levantada em relação aos parâmetros divulgados

pelo IBGE, é que este órgão define o sistema SAD-69 paralelo ao sistema WGS-84, sendo que esta definição é discutível.

Os aspectos relacionados acima foram objeto de pesquisas, particularmente na EESC – USP, onde VERONEZ (1998) apresenta a determinação dos parâmetros de transformação entre o WGS-84 e o SAD-69 para a região de São Carlos (SP).

2.4 Sistemas de Projeção

2.4.1 Definições e objetivos

O problema fundamental da Cartografia é a representação gráfica da superfície da Terra e situa-se em representar a superfície irregular da Terra em um plano, ou seja, se a considerarmos uma esfera ou um elipsóide, sua representação num plano não apresenta solução exata.

Para BAKKER (1965), a elaboração uma carta exige, primeiramente, que seja estabelecido um método, segundo o qual exista uma correspondência entre cada ponto da Terra e da carta.

Estes métodos recebem a denominação de “sistemas de projeção”, que são uma solução aproximada do problema cartográfico.

Teoricamente, os sistemas de projeção abrangem o estudo dos diferentes sistemas, incluindo as leis que regem o estabelecimento da interligação entre os pontos da superfície da Terra e os pontos da superfície da carta.

2.4.2 Classificação dos sistemas de projeção

Na Tabela 2.2 estão relacionados os critérios de classificação dos sistemas de projeção cartográficos, sem contudo ser abordado o formalismo técnico de cada um deles.

TABELA 2.2 Classificação dos sistemas de projeção (BAKKER, 1965)

Quanto ao método		
Geométricas	Perspectivas	
	Pseudo-Perspectivas	
Analíticas	Simples ou Regulares	
	Modificadas ou Irregulares	
Convencionais		
Quanto à situação do ponto de vista		
Gnomônica	Estereográfica	Ortográfica
Quanto à superfície de projeção		
Planas ou Azimutais		
Por desenvolvimento	Cônicas e Policônicas	
	Cilíndricas	
	Poliédricas	
Quanto à situação da superfície de projeção		
Planas ou Azimutais	Polares	
	Equatoriais ou Meridianas	
Horizontais ou Oblíquas		
Cônicas ou Policônicas	Normais	
	Transversas	
	Horizontais ou Oblíquas	
Cilíndricas	Equatoriais	
	Transversas ou Meridianas	
	Horizontais ou Oblíquas	
Quanto às propriedades		
Equidistantes	Meridianas	
	Transversais	
	Azimutais ou Ortodrômicas	
Equivalentes		
Conformes		
Afiláticas		

Levando-se em conta cada um dos critérios e as combinações entre os mesmos, conclui-se que são inúmeros sistemas que podem ser criados a partir destes.

Na Figura 2.4, são ilustrados os sistemas de projeção de acordo com a superfície de projeção adotada.

FIGURA 2.4 Sistemas de projeção adaptado de BONHAM-CARTER (1994)

2.4.3 O sistema UTM

Desenvolvido em 1569 pelo belga Gerard Kremer (Mercator), a partir de modificações efetuadas na projeção conforme de Gauss (uma rotação de 90° do eixo do cilindro no plano do Equador), o sistema de projeção UTM (Universal Transversa

de Mercator) utiliza, como superfícies de projeção, 60 cilindros transversos e secantes a superfície de referência (elipsóide). Segundo CINTRA (1989), a adoção de um elipsóide de referência (em vez da Terra esférica) foi, inicialmente, um para cada país ou grupo de países, mas que agora se vem procurando unificar através de um elipsóide internacional cujos parâmetros vem sendo determinados com maior precisão (SAD-69, WGS-84, etc.). Cada cilindro é responsável pela representação de um fuso de 6° de amplitude em longitude, contados a partir do anti-meridiano de Greenwich, ou seja, o primeiro fuso UTM situa-se entre os meridianos 180 e 174 W. Os fusos são numerados de 1 a 60 e cada um possui um Meridiano Central (MC). No Brasil, a extensão longitudinal de quase 40°, compreende 8 fusos (do 18 ao 25) (ver Figura 2.5).

FIGURA 2.5 Sistema de Projeção UTM

2.2

Sobre este meridiano, conforme CINTRA (1989), as distâncias apresentam-se deformadas segundo o coeficiente de deformação $K_0 = 1 - 1/2500 = 0,9996$ que corresponde a tomar um cilindro reduzido desse valor, de forma a tornar-se secante ao esferóide terrestre. Isso diminui o valor absoluto das deformações, e em lugar de termos uma só linha de verdadeira grandeza ($K = 1$), e deformações sempre positivas (ampliações), passamos a ter duas linhas de deformação nula, com redução no interior e ampliação no exterior (Figura 2.6).

FIGURA 2.6 O coeficiente de deformação K

As representações no sistema UTM têm o seu uso limitado às latitudes 80° N e 80° S, pois acima destes valores, as deformações se acentuam muito. As regiões polares são representadas por outro tipo de projeção, como por exemplo, a estereográfica Polar Universal.

Na representação plana, que se obterá pela abertura e planificação do cilindro, a origem das coordenadas (cruzamento do Equador com o MC) será acrescida em cada fuso das constantes 10.000.000 de metros, somente para o Hemisfério Sul, na coordenada vertical (Norte/Sul) e de 500.000 metros na outra coordenada (Este/Oeste). Isso se faz para evitar coordenadas negativas que surgem na vertical para o Hemisfério Sul e na horizontal à esquerda de qualquer meridiano central.

Em suma, as principais especificações do sistema UTM (DSG, 1959) são:

- Projeção conforme de Gauss, com fusos de 6° de amplitude;
- Origem das coordenadas: no cruzamento do Equador com o meridiano central, acrescidas as constantes 10.000.000 de metros (só para o hemisfério sul) e 500.000 metros nas coordenadas Norte e Este, respectivamente;
- Coeficiente de redução de escala: $K_0=0,9996$;
- Fusos: organizados de acordo com os da carta internacional ao milionésimo e numerados de 1 a 60, a partir do anti-meridiano de GREENWICH para leste. Nas zonas de superposição (fusos limitados pelos meridianos múltiplos de 6), os

pontos básicos situados até 30' além do fuso, são calculados no fuso próprio e no contíguo, para facilitar os trabalhos de campo e certas aplicações militares.

Para ilustrar o conceito acima, toma-se como exemplo o município de São Carlos localizado no limite do fuso 23, que possui o meridiano central de 45° W. A carta SÃO CARLOS I do IGC, tem por limites, as longitudes de 47°55'15" e 47°52'30", possui coordenadas (E) UTM com referência ao fuso 22 (817000 a 822000) e ao fuso 23 (197000 a 203000), como pode ser visto na Figura 2.7.

FIGURA 2.7 Localização da carta SÃO CARLOS I no sistema UTM

O usuário deve nestes casos optar por um dos fusos, assumindo assim, as coordenadas pertencentes ao mesmo.

2.5 Articulação Sistemática

Com o intuito de estabelecer a uniformidade dos levantamentos executados no Brasil, o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) regulamenta o mapeamento

nacional através da adoção de critérios para determinação da articulação das cartas e seu sistema de coordenadas, posicionando todos os trabalhos de mapeamento de maneira global.

O critério de organização é baseado na Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo (CIM), confeccionadas no sistema de Projeção Cônica Conforme de Lambert, excetuando-se as calotas polares, que utilizam o Sistema de Projeção Azimutal Estereográfico. Cada CIM abrange uma área de 6° em longitude por 4° de latitude, e são representadas por uma letra e um número, precedidos de N ou S, conforme situem-se no Hemisfério Norte ou Sul, respectivamente. As letras designam a faixa de 4° em latitude, contadas a partir do Equador e os números, as zonas de 6° em longitude, contadas a partir do anti-meridiano de Greenwich, por leste, proposto pela Convenção de Londres em 1909 e ratificado pela Diretoria do Serviço Geográfico em seu Manual de Normas Gerais, com alteração prescrita na edição de 1973. Um esquema de articulação, mostra a seguir a divisão de folhas dentro do critério da Carta Internacional desde a escala 1:1000000 até a escala de 1:25000.

A quadrícula básica corresponderá à da Carta Internacional ao Milionésimo, tendo os mesmos meridianos centrais do Sistema UTM. A carta de escala 1:500000 resulta da divisão da quadrícula básica em 4 quadrículas de 2°×3°. A carta de escala 1:250000 equivale à divisão da anterior em 4 quadrículas de 1°×1,5°. A carta de escala 1:100000 corresponde à divisão da anterior em 6 quadrículas de 30'×30'. A carta de escala de 1:50000 resulta da divisão da anterior em 4 quadrículas de 15'×15' e finalmente, a carta de escala 1:25000 resulta da divisão da anterior em 4 quadrículas de 7,5'×7,5', sendo seguidas assim, as Normas de Cartografia Sistemáticas, expedidas pela Diretoria do Serviço Geográfico, segundo determinado pelo Decreto-lei nº243, de 28 de fevereiro de 1967, não existindo regulamentação para cartas de escalas maiores, porém, a sistematização de cartas nestas escalas é realizada, seguindo o mesmo padrão.

No presente trabalho foi utilizada a carta SÃO CARLOS I que possui a denominação SF-23-Y-A-I-1-NO-B, exemplificada no Anexo A, de acordo com os critérios de Articulação sistemática descritos acima.

2.6 Base Cartográfica e estrutura de representação

TAVARES (1993) define a base cartográfica como "o conjunto de dados que representam a área mapeada, gerado através de critérios consagrados de levantamento, obedecidas as prescrições técnicas vigentes".

Esta base contém, além dos acidentes geográficos da área, detalhes da infraestrutura ali implantada. No sistema digital, a base cartográfica é geralmente adquirida por restituição numérica ou através da digitalização (vetorial ou raster), a partir de cartas ou imagens existentes. Podem também, serem produzidas cartas-imagem a partir de dados orbitais, por meio de estações de processamento.

A base cartográfica em meio digital deve conter em seus arquivos magnéticos, a representação da posição precisa e forma de tudo que pode ser captado, até o limite do que é representável, considerando o processo de elaboração adotado.

A conexão entre a aquisição de dados básicos e o geoprocessamento é um aspecto bastante delicado na cartografia digital, merecendo atenção quando se pensa em utilizar o banco de dados gráficos resultante da restituição numérica em um Sistema de Informações Geográficas.

A seguir, são apresentadas as estruturas das bases cartográficas digitais:

2.6.1 Estrutura e representação de dados

TEIXEIRA; MORETTI; CRISTOFOLETTI (1992) descrevem que o espaço pode ser organizado obedecendo estruturas diversificadas, classificadas em geométricas e não geométricas. As estruturas geométricas descrevem os atributos de um elemento, como a posição do mesmo, suas relações de vizinhança ou topologia. As não geométricas são aquelas que incluem atributos alfanuméricos como nome, população, etc., e relações não geométricas entre os elementos.

As estruturas geométricas são subdivididas em vetorial (vector) e raster. No modelo do espaço adotado está a diferença entre as duas estruturas. Assim, a estrutura vetorial assume o espaço geográfico como contínuo, enquanto a estrutura raster divide-o em elementos discretos.

a) Estrutura vetorial (vector)

Segundo KENNIE & PETRIE (1990) um ponto é definido no plano, por um simples par de coordenadas x e y . Onde não existe dado de ponto específico, não são feitas tentativas para definir qualquer ponto, o que não acontece com a digitalização raster, onde todos os pontos que ocorrem no mapa são incluídos nos dados de entrada. Também nos dados vetoriais, uma linha é uma forma simples definida pelas coordenadas x e y dos pontos iniciais e finais. Uma linha sinuosa pode ser subdividida por uma série de segmentos de reta ou vetores, já definidos pelas coordenadas de seus pontos finais. Uma área é definida por uma linha contínua contendo segmentos de linhas que fecham no ponto inicial. Assim, as distâncias e áreas podem ser definidas com maior precisão. Fundamentados na Geometria Euclidiana, os métodos que tratam os dados como vetores, partem da premissa que as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas, além de utilizarem relações implícitas entre eles, o que acarreta em espaço de armazenamento menor.

A obtenção dos dados, na forma vetorial, pode ser feita por mesas digitalizadoras, que utiliza documentos pré processados como mapas, por restituição digital ou por inserção de coordenadas.

Os elementos podem ser definidos por três formas básicas: ponto, linha e o polígono ou área:

- ◆ *Elementos pontuais*: feições do terreno que podem ser posicionadas por um único par de coordenadas (x, y) . Dados não gráficos relativos à identificação do ponto também deve ser armazenados.
- ◆ *Linhas*: feições do terreno que, para serem representadas, necessitam de pelo menos dois pontos. Também aqui, devem ser armazenadas, além das coordenadas dos pontos, informações concernentes ao tipo de linha em questão.
- ◆ *Áreas ou Polígonos*: feições do terreno que necessitam de um conjunto de pontos, definidos pelas suas coordenadas (x, y) , distribuídos de maneira a delimitarem uma região. Devido a complexidade nestas representações, tais como áreas ilhadas ou linhas pertencentes a dois ou mais polígonos existem modos distintos de representá-las, como:

- ♣ *Polígonos simples*: representados por um conjunto de pontos. A apresentação é bastante simples, porém, apresentando desvantagens, tais como a digitalização repetida de alguns segmentos, conforme este pertença a mais de um polígono.
- ♣ *Polígonos com Dicionário de Pontos*: aqueles onde cada ponto é numerado sequencialmente e referido a uma lista de pontos onde é definida a sua presença ou não, na formação de um polígono.
- ♣ *Polígonos com estrutura topológica explícita*: aqueles que apresentam a sua relação com os polígonos vizinhos e a definição dos segmentos segundo os nós inicial e final, armazenando suas coordenadas, considerando as relações topológicas.

b) Estrutura Raster

A estrutura raster, consiste de um arranjo grande de células, muitas vezes descritas como elementos de figuras (ou pixels). Cada célula ou elemento do arranjo é definido pela série e número da coluna e contém o valor específico da informação inicialmente mapeada e, de acordo com PORTUGAL; SÁ; CARNEIRO (1995), as imagens são obtidas através da divisão da imagem original em pequenas células, ou seja, o espaço é particionado através de uma malha de linhas verticais e horizontais, regularmente espaçadas, formando um reticulado de células, também denominadas de “pixels” (abreviatura de picture elements). Um pixel, geralmente possui dimensões horizontal e vertical iguais, que definem a resolução da malha, assim, quando se diz que o pixel de uma imagem SPOT tem $28,5 \text{ m}^2$, significa dizer que cada “ponto” apresentado na imagem ocupa uma área de $28,5 \text{ m}^2$ no terreno (vide pág. 64). PORTUGAL et al. (1995) argumenta que a imagem raster pode ser considerada como uma matriz, onde cada atributo é definido pelo valor da célula.

A obtenção dos dados na forma raster pode ser feita utilizando-se de um scanner, câmara CCD (Charge Coupled Device), ou ainda, a partir dos sensores orbitais TM (Thematic Mapper) de satélites Landsat e os sensores do satélite SPOT.

No caso dos scanners, KENIE & PETRIE (1990) citam que um ponto é definido por uma série de pixels adjacentes conectados e a área por uma área de pixels

adjacentes aglomerados. A resolução dos dados raster é definida pelo tamanho do pixel usado no scanner, geralmente 25-50 μm . Isto deve ser multiplicado pelo fator de escala do mapa escaneado para dar a resolução equivalente na terra.

O maior problema na utilização da estrutura raster situa-se no grande volume de dados a ser armazenado. Objetivando-se sanar este problema, diversos métodos de compactação de dados foram desenvolvidos, sendo os mais utilizados os seguintes: códigos de cadeia, códigos de sequência, códigos de blocos e “quadrees”.

A Figura 2.8 representa as estruturas de dados digitais descritas acima.

FIGURA 2.8 Estruturas vector e raster de dados digitais

c) Processamento de dados de mapas digitais

De acordo com KENNIE & PETRIE (1990), após a aquisição e estruturação de dados provenientes de mapas no meio digital, é improvável que estejam livres de erros. A detecção e eliminação ou correção de tais erros é parte vital do processo e é realizado usando estações de edição gráfica interativas. Os autores citados acima ainda sugerem o estabelecimento de alguns procedimentos visando a obtenção de dados de melhor qualidade, como:

- agrupar os dados de entrada individuais adquiridos por métodos diferentes, produtores e tempos diferentes;

- selecionar os dados se somente uma parte limitada de dados de entrada for utilizada ou somente certos tipos de classes de dados forem utilizados;
- generalizar os dados, no caso de serem gerados mapas de escalas muito pequenas, sendo assim, somente os elementos essenciais mostrados ou plotados;
- transformar os dados procedentes de sistemas de projeções e formatos de arquivo diferentes do sistema geral, compatibilizando estes dados com o projeto ou pacote de modelagem;
- revisar e atualizar os dados de entrada conforme mudanças na situação do terreno, que devem ser periodicamente levantadas. Os métodos e tecnologias empregados na atualização de dados tem sido constante objeto de estudo, visto que trata-se de uma parte vital no mapeamento digital, sem a qual projetos inteiros poderão tornar-se obsoletos.

2.7 Medidas em mapas

A medição de distância nos mapas pode ser realizada através de dois métodos (MAILING, 1989):

- a) **clássicos:** normalmente utilizam um instrumento especial para medir um objeto;
- b) **probabilísticos:** baseiam-se nos princípios e métodos de amostragem estatística. Estes, normalmente requerem o uso de gabaritos com padrões de quadrados, círculos, pontos ou linhas, e a capacidade de somar.

Dentre os métodos clássicos temos a medição de distâncias digitalizadas, a ser descrito mais detalhadamente no capítulo 6. As medições necessárias neste método são obtidas nas operações de digitalização no modo ponto ou, preferencialmente, contínuo. O digitalizador é constituído de uma mesa, na qual as coordenadas cartesianas planas (x,y) podem ser medidas. Estes pontos são selecionados por meio de um cursor que é colocado sobre um mapa. Como o cursor é movido de um lugar para outro lugar na mesa, as coordenadas correspondentes às posições do cursor são processadas em tempo real no computador. O processamento no modo ponto envolve

operar um registro de coordenadas a cada ponto a ser digitalizado separadamente. No processamento no modo contínuo, o registro é automático em intervalos de tempos predefinidos, assim a concentração do operador está voltada somente em seguir a linha com o cursor. Em alguns digitalizadores o intervalo de tempo de leitura pode ser de 0,01 até 10 segundos. A velocidade com que uma linha pode ser seguida pelo cursor é função da complexidade da mesma. Se a linha for irregular, o operador necessita traçar mais lentamente para manter o cursor na linha.

No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados mapas analógicos e digitais. O principal fim de introduzir os conhecimentos básicos em Cartografia, é o de atentar o usuário que com o crescimento de tecnologias como SIGs, que por sua vez fazem uso de bases cartográficas, há uma tendência mundial quanto a questão da preocupação dos metadados (precisão da carta, sistema de projeção, datum etc.)

Um mapa pode ser uma fonte de informações de grande valia nas tomadas de decisões das mais diferentes áreas, conhecê-lo, para bem interpretá-lo e administrá-lo, é tarefa do planejador.

3 TRANSFORMAÇÃO DE SISTEMAS DE COORDENADAS E DATUM

3.1 Introdução

No processamento de dados de levantamentos e mapeamentos, geralmente, estão envolvidas coordenadas de pontos, as quais são determinadas baseadas em fatores tais como: origem dos dados e finalidades com que os dados estão destinados. Por exemplo, no desenvolvimento da parte prática desta dissertação (descrita no cap. 6), um dos objetivos é a análise das discrepâncias entre coordenadas oriundas de levantamentos GPS (WGS-84) e coordenadas existentes no meio digital (CAD), que por sua vez, foram adquiridas de um meio analógico (carta em papel, no sistema UTM com datum Córrego Alegre).

Trabalhar com um único sistema de coordenadas é o ideal, mas não é uma tarefa simples. O problema está em consolidar todos estes diferentes sistemas em um único. A solução é encontrada através da transformação de coordenadas e datum.

Nos tópicos anteriores foram conceituados e descritos vários sistemas de coordenadas e datum. Em projetos que utilizam dados cartográficos, estes diferentes sistemas e data são usados concomitantemente e são necessárias transformações entre os mesmos sistemas para que sejam obtidos resultados coerentes e confiáveis.

3.2 Transformação de coordenadas no plano utilizando o software AutoCAD

Como foi mencionado anteriormente, nesta dissertação foram obtidas coordenadas no meio digital a partir de coordenadas de um meio analógico. O

software utilizado foi o AutoCAD versão R.13 de interface gráfica com o usuário no ambiente Windows.

A transferência destas coordenadas para o meio digital foi realizada através de uma mesa digitalizadora.

Uma das etapas desta transferência é a transposição das coordenadas dos pontos da carta para o programa, operação esta denominada Calibragem da mesa digitalizadora. Neste processo os dados introduzidos devem ser submetidos a uma transformação plana.

O AutoCAD permite que o usuário opte por uma das três transformações disponíveis (Ortogonal, Afim e Projetiva), a qual seja adequada a seus propósitos, como descritas no módulo de auxílio ao usuário do programa e transcritas a seguir:

- ♦ "Orthogonal: Conversão, escala uniforme e rotação especificada com dois ponto de calibragem.

Use a transformação Orthogonal para desenhos dimensionalmente precisos em papel e desenhos em papel nos quais a parte a ser digitalizada é longa e estreita, com a maior parte dos pontos confinada a linhas simples.

- ♦ Affine: Transformação linear arbitrária em duas dimensões compostas de conversão, escalonamento X- e Y- independentes, rotação e inclinação especificada com três pontos de calibragem.

Use Affine quando as dimensões horizontais em um desenho em papel são esticadas em relação às dimensões verticais e as linhas supostamente paralelas são realmente paralelas.

O erro RMS (raiz quadrática média) indica quanto o AutoCAD se aproximou de uma adaptação perfeita. O RMS é registrado após a calibragem. Affine deve ser usado se RMS for pequeno.

- ♦ Projective: Equivalente a uma projeção em perspectiva de um plano no espaço em outro plano. Especificado por quatro pontos de calibragem. Fornece uma forma limitada do que os cartógrafos denominam rubber sheeting, em que diferentes partes da superfície da mesa digitalizadora são modificadas em proporções diferentes. As linhas retas são mapeadas em linhas

retas. As linhas paralelas não permanecem necessariamente paralelas.

A transformação Projetiva corrige linhas paralelas que parecem convergir."

São informações inconsistentes, que não deixam claro ao usuário qual a melhor transformação para cada caso, motivo pelo qual foi inserido neste trabalho, um embasamento teórico relativo às transformações de coordenadas no plano, como pode ser visto a seguir.

Deve ser acrescentado antes, que uma exposição mais detalhada sobre o emprego do AutoCAD, mesas digitalizadoras e calibragem são apresentadas nos capítulos 5 e 7 desta dissertação.

3.3 Transformação de coordenadas no plano

Segundo GREENFELD (1996), transformação de coordenadas é o processo de converter as coordenadas de um sistema em outro sistema, existindo várias maneiras de fazê-lo. A mais simples é a que permite somente uma translação na origem do sistema de coordenadas ou somente uma rotação de seus eixos. Um processo mais completo permite translações, rotações, mudança de escala em X e Y e assume a não perpendicularidade entre os eixos de um dos sistemas. Em geral, existem seis parâmetros distintos entre um sistema de coordenadas e outro. Estes parâmetros são:

1. a_0 - translação de origem na direção X;
2. b_0 - translação de origem na direção Y;
3. α - rotação de eixos de um sistema de coordenadas em relação a outro;
4. S_x - mudança de escala no eixo X;
5. S_y - mudança de escala no eixo Y;
6. ε - não ortogonalidade entre os eixos de um dos sistemas de coordenadas.

Uma representação gráfica de dois sistemas e os elementos de transformação de coordenadas são apresentados na Figura 3.1.

FIGURA 3.1 Transformação de Coordenadas

3.3.1 Transformação de corpo rígido

Esta transformação utiliza três parâmetros: a_0 , b_0 , e α , tendo como modelo matemático as seguintes expressões:

$$X = a_0 + x \cdot \cos \alpha - y \cdot \sin \alpha \quad (3.1)$$

$$Y = b_0 + x \cdot \sin \alpha + y \cdot \cos \alpha \quad (3.2)$$

A utilização destas equações está restrito aos casos em que os dois sistemas são bem definidos e possuem exatamente a mesma escala.

3.3.2 Transformação de Similaridade (Isogonal; Conforme, de Helmert)

Utiliza quatro parâmetros de transformação: a_0 , b_0 , α e $S = S_x = S_y$; suas expressões e relações matemáticas são:

$$X = a_0 + S.x.\cos\alpha - S.y.\sin\alpha \quad (3.3)$$

$$Y = b_0 + S.x.\sin\alpha + S.y.\cos\alpha \quad (3.4)$$

É recomendada nos casos em que os sistemas também são bem definidos, porém, em escalas diferentes.

3.3.3 Transformação Ortogonal

Tem por característica a presença de cinco parâmetros, a saber: a_0 , b_0 , α , S_x e S_y ; expressos pela seguinte formulação matemática:

$$X = a_0 + S_x.x.\cos\alpha - S_y.y.\sin\alpha \quad (3.5)$$

$$Y = b_0 + S_x.x.\sin\alpha + S_y.y.\cos\alpha \quad (3.6)$$

É usada quando um dos sistemas tem escala diferente nos eixos X e Y.

3.3.4 Transformação Afim

Nesta transformação são seis os parâmetros envolvidos: a_0 , b_0 , α , S_x , S_y e ε ; e tem por expressão matemática:

$$X = a_0 + S_x.x.\cos\alpha - S_y.y.(\sin\alpha + \sin\varepsilon.\cos\alpha) \quad (3.7)$$

$$Y = b_0 + S_x.x.\sin\alpha + S_y.y.(\cos\alpha - \sin\varepsilon.\sin\alpha) \quad (3.8)$$

Graficamente demonstrada na Figura 3.2, observando-se que além dos parâmetros na Figura 3.1 acrescenta-se o parâmetro de não ortogonalidade nos eixos de um dos sistemas.

FIGURA 3.2 Não ortogonalidade entre os eixos na Transformação Afim

Aplicada nos casos quando um dos sistemas tem características desconhecidas, como por exemplo, a ocorrência de não ortogonalidade entre os eixos dos sistemas.

Na Tabela 3.1 é apresentado um quadro resumo das transformações.

TABELA 3.1 Quadro resumo das transformações (GREENFELD, 1996)

Parâmetros	Transformação	Aplicação
3	Corpo Rígido	Dois sistemas bem definidos de mesma escala
4	Similaridade; Isogonal; Conforme, de Helmert	Dois sistemas bem definidos em escalas diferentes
5	Ortogonal	Um dos sistemas tem escala diferente nos eixos X e Y
6	Afim	Um dos sistemas tem características desconhecidas

3.3.5 Transformação Projetiva

Apenas como informação adicional, cita-se ainda a existência da transformação projetiva no plano, que segundo LUGNANI (1987) é dada por:

$$X = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_4x + a_5y + 1} \quad (3.9)$$

$$Y = \frac{a_6x + a_7y + a_8}{a_4x + a_5y + 1} \quad (3.10)$$

Existem, portanto, oito parâmetros de transformação envolvidos, exigindo assim um número superior de observações a quatro pontos. No que se refere a calibragem da mesa digitalizadora, então um mínimo de cinco pontos devem ser digitalizados.

De acordo com TOMMASELLI; MONICO; CAMARGO (1988), as transformações planas mais adequadas para a análise da qualidade de uma carta, são a Isogonal (com 4 parâmetros de transformação) e a Afim (com 6 parâmetros de transformação). A transformação Ortogonal não modela possíveis dilatações ou contrações no papel da folha base, e a transformação Projetiva, com seus 8 parâmetros de transformações, tem solução pelo método dos mínimos quadrados (método utilizado para determinação da precisão de observações efetuadas), com uma superabundância de observações.

3.4 Transformação entre *Data*

3.4.1 Transformação entre os sistemas WGS-84 (GPS) e o Internacional de Hayford

As coordenadas resultantes do processamento dos dados GPS são normalmente apresentados em dois sistemas: coordenadas geográficas cartesianas (X, Y, Z) e coordenadas geográficas (φ, λ, h) , ou, latitude, longitude e altura geométrica. Para obter as coordenadas geográficas cartesianas no datum da carta (Córrego Alegre), deve-se fazer as seguintes transformações:

- a) **Transformação de WGS-84 para SAD-69: utilizando-se dos parâmetros de transformação segundo FORTES et al. (1989) (ver capítulo 2).**

No Brasil, caso o usuário necessite obter as coordenadas referenciadas ao datum Córrego Alegre, deve-se atentar ao fato da realização de transformação intermediária conforme a descrição a seguir:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SAD-69} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS-84} + \begin{bmatrix} 66,87 \\ -4,37 \\ 38,52 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

- b) **Transformação de SAD-69 para Córrego Alegre: utilizando-se dos parâmetros de transformação segundo IBGE (1983) (ver capítulo 2)**

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{C.Alegre} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SAD-69} + \begin{bmatrix} 138,70 \\ -164,40 \\ -34,40 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Com a obtenção das coordenadas geográficas cartesianas no datum Córrego Alegre, pode-se transformá-las para o sistema UTM.

3.4.2 Transformação de coordenadas geográficas geodésicas em UTM

Esta transformação requer inicialmente uma conversão das coordenadas geográficas geodésicas para coordenadas geodésicas curvilíneas. As expressões para esta conversão, são:

$$\tan \varphi = \frac{Z}{p} \left(1 - e^2 \frac{N}{N+h} \right)^{-1} \quad (3.13)$$

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X} \quad (3.14)$$

$$h = \frac{p}{\cos \varphi} - N \quad (3.15)$$

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (3.16)$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (3.17)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} \quad (3.18)$$

onde a, b correspondem aos semi-eixos maior e menor, respectivamente, para o elipsóide utilizado na transformação.

As expressões relacionadas com o cálculo da latitude e da altura são interdependentes, exigindo-se assim uma solução iterativa para a determinação destas coordenadas.

Uma vez que se tenha as coordenadas geográficas geodésicas, pode-se transformá-las em coordenadas UTM, para que sejam calculadas as discrepâncias. Esta transformação pode ser feita utilizando-se, por exemplo, as fórmulas apresentadas em HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; COLLINS (1994):

$$\begin{aligned}
 N = & [B(\varphi) + \frac{t}{2} N(\cos^2 \varphi) l^2 + \frac{t}{24} N(\cos^4 \varphi) (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) l^4 \\
 & + \frac{t}{720} N(\cos^6 \varphi) (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330t^2\eta^2) l^6 \\
 & + \frac{t}{40320} N(\cos^8 \varphi) (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6) l^8 + \dots] k_0
 \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned}
 E = & [N(\cos \varphi) l + \frac{1}{6} N(\cos^3 \varphi) (1 - t^2 + \eta^2) l^3 \\
 & + \frac{1}{120} N(\cos^5 \varphi) (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58t^2\eta^2) l^5 \\
 & + \frac{1}{5040} N(\cos^7 \varphi) (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) l^7 + \dots] k_0
 \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$N = \frac{a^2}{b\sqrt{1+\eta^2}} \quad (3.21)$$

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi \quad (3.22)$$

$$e'^2 = (a^2 - b^2) / b^2 \quad (3.23)$$

$$t = \tan \varphi \quad (3.24)$$

$$l = \lambda - \lambda_0 \quad (3.25)$$

onde $B(\varphi), \lambda_0, k_0$ são, respectivamente, comprimento do arco de meridiano, longitude do meridiano central e fator de escala do meridiano central.

Estas expressões foram mostradas com o intuito de levar ao conhecimento dos usuários de modelos de transformações a complexidade nos cálculos envolvidos nos mesmos. Felizmente, com os recursos computacionais atuais pode-se alcançar resultados precisos e rápidos.

Resumindo, na pesquisa em questão, foram utilizados dados analógicos no sistema de projeção UTM, com o datum Córrego Alegre, que ao serem transferidos para um meio digital (AutoCAD), foram submetidos a uma transformação plana. Desta maneira, os dados digitais também encontram-se no mesmo datum Córrego Alegre.

Foram efetuadas medições de pontos com o GPS, que estão no sistema WGS-84, transformando os resultados dos processamentos para o datum Córrego Alegre, e posteriormente para o sistema UTM.

Com estas transformações, enfim, podem ser comparadas as coordenadas dos pontos de referência GPS com os pontos digitais a serem analisados. Justifica-se assim, a necessidade do conhecimento dos aspectos teóricos das transformações de sistemas bem como as suas aplicações, sem as quais o usuário pode estar utilizando dados de forma errônea.

4 ANÁLISE DE EXATIDÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

4.1 Introdução

Até o presente capítulo foram introduzidos conceitos básicos em Cartografia e as transformações necessárias para que dados provenientes de cartas analógicas possam ser avaliados corretamente.

Este capítulo trata da exposição de métodos e critérios técnicos a serem seguidos no decorrer dessa avaliação.

4.2 O conceito de mapa “exato”

A palavra exatidão (“accuracy”) é freqüentemente empregada pelos produtores e usuários de mapas. Na análise da qualidade de um produto tão complexo quanto o cartográfico, o termo exatidão não pode ser assumido literalmente. O problema é sintetizado por HARLEY (1975) apud MAILING (1989): exatidão é um conceito mais relativo do que absoluto no que diz respeito a Cartografia. Não pode ser adotado como uma definição rígida tal como “conformidade exata com a realidade” ou “livre de erros ou defeitos”, pois além dos mapas serem generalizações da realidade ou “modelos representativos do mundo real”, todos os levantamentos e processos de produção de um mapa inevitavelmente introduzem erros em algum estágio. Tanto o usuário quanto o produtor de mapas devem estar interessados pelo estudo sistemático dos erros que afeta-os, estabelecendo suas causas, variabilidades e parâmetros estatísticos que caracterizam cada erro.

Para ARONOFF (1989), exatidão é um termo amplamente usado e geralmente mal interpretado. Exatidão é a probabilidade que uma previsão tem de

ocorrer. No caso de mapas, é a probabilidade da posição de um ponto determinado no mapa ser verdadeira, isto é, a maior proximidade que esta posição tiver da posição determinada através de meios mais precisos, tais como levantamentos de campo. Classificação da exatidão é a probabilidade que a classe apontada para a posição no mapa seja a classe encontrada no campo.

Um mapa não pode ser 100% exato, pois está suscetível a erros nas diversas fases de sua produção. A exatidão de um mapa pode ser estabelecida por um valor que relaciona as posições encontradas no mapa com as do campo (supostamente verdadeiras). Por exemplo, na parte prática dessa dissertação, foram analisadas discrepâncias entre coordenadas obtidas a partir do sistema GPS e de meios digitais. Associados a estas discrepâncias estão os desvios padrão das mesmas e a probabilidade de ocorrência destes.

Existem critérios e padrões estabelecidos para determinar e quantificar a exatidão de um mapa, que abrangem desde parâmetros divulgados oficialmente, até a escolha e tratamento estatístico dos dados, que serão relacionados nos tópicos seguintes.

4.3 Os Padrões de Exatidão Cartográfica

MERCHANT (1982) relata que nos EUA o (National Map Accuracy Standard) é usado como padrão para os mapas de escala pequena (atlas). Já, os mapas de escala grande são preparados atendendo as exigências do usuário. Salienta ainda, que especificações quanto a exatidão devem ser comuns para o usuário e o produtor do mapa. Assim, deve-se definir um procedimento para testar um mapa e este teste deve ser conduzido de acordo com as normas vigentes e mencionado no produto final do mapa.

Afim de facilitar a comunicação entre os produtores e usuários, o National Map Accuracy Standard teceu as seguintes considerações antes de apresentar as especificações quanto a exatidão de um mapa:

- a) Estas especificações estão relacionadas a mapas topográficos de escalas 1:20000 e maiores.

- b) A exatidão é obtida da relação entre as coordenadas terrestres e as coordenadas do mapa na escala da carta, ou da relação entre as elevações e as interpolações das curvas de nível.
- c) A exatidão é relativa aos tipos de erros geralmente compreensíveis pelo usuário do mapa.
- d) Mapas devem ser testados para assegurar a exatidão através de procedimentos ou levantamentos de campo consagrados e métodos estatísticos. Falhas nos testes de exatidão podem levar à rejeição da base cartográfica.

4.3.1 Especificações da exatidão do mapa

A exatidão de um mapa, segundo MERCHANT (1982) é verificada a partir da comparação das coordenadas do terreno com as do mapa, de pelo menos vinte pontos bem definidos.

Para os levantamentos de campo, são tabelados os erros máximos permitidos de acordo com a escala do mapa e como no tipo de teste em questão os erros encontrados não devem exceder 1/3 do erro máximo estabelecido.

Por exemplo, em uma carta na escala 1:1000, o erro permitido no levantamento é de 0,25m nas coordenadas X e Y. Para atender a esta exatidão, os procedimentos de campo no teste não devem exceder a 1/3 de 0,25m.

No que diz respeito às coordenadas no mapa, tem-se que 90% dos pontos bem definidos devem ter erro menor do que 2,146 do erro permitido. Este valor (2,146) foi determinado empiricamente e é relativo ao Circular Map Accuracy Standard (CMAS).

4.3.2 Os Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC) no Brasil

No Brasil, o Decreto 89.817/84 ¹ – Instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional nas suas Especificações Gerais classificam as cartas quanto à exatidão:

¹ Decreto n.º 89.817 - Diário Oficial da União, 1984.

“Art. 8 – As cartas, quanto à exatidão, devem obedecer o Padrão de Exatidão Cartográfica, segundo o critério abaixo discriminado:

- 1) Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico – estabelecido.
- 2) Noventa por cento dos pontos isolados de altitude obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Altimétrico – estabelecido.

Parágrafo Primeiro – Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico por dispersão, relativo a 90% (noventa por cento) de probabilidade, que define a exatidão dos trabalhos cartográficos.

Parágrafo Segundo – A probabilidade de 90% (noventa por cento) corresponde a 1,6449 vezes do Erro Padrão – $PEC = 1,6449 EP$.

Parágrafo Terceiro – O Erro Padrão isolado num trabalho cartográfico não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

Parágrafo Quarto – Para efeito das presentes instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro Padrão, Desvio Padrão e Erro Médio Quadrático.

Classe das cartas:

Art. 9 – As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas classes A, B e C, segundo os seguintes critérios:

a) Classe A:

- a1) Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico: 0,5mm na escala da carta, sendo de 0,3mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.
- a2) Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro Padrão correspondente.

B) Classe B:

b1) Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico: 0,8mm na escala da carta, sendo de 0,5mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.

b2) Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico: três quintos da distância entre as curvas de nível, sendo de dois quintos desta equidistância o Erro Padrão correspondente.

c) Classe C:

c1) Padrão de Exatidão Cartográfico Planimétrico: 1,0mm na escala da carta, sendo 0,6mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.

c2) Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas de nível, sendo a metade desta equidistância o Erro Padrão correspondente.”

Assim, no caso em estudo, como foi utilizada uma carta 1:10.000, os Padrões de Exatidão Cartográfica vigentes podem ser vistos na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico

E S C A L A S	PRECISÃO PLANIMÉTRICA					
	CLASSE A		CLASSE B		CLASSE C	
	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
1:10.000	5,0m	3,0m	8,0m	5,0m	10,0m	6,0m
1:5.000	2,5m	1,5m	4,0m	2,5m	5,0m	3,0m
1:2.000	1,0m	0,6m	1,6m	1,0m	2,0m	1,2m
1:1.000	0,5m	0,3m	0,8m	0,5m	1,0m	0,6m

Foram relacionados na Tabela 4.1 apenas o PEC planimétrico, de interesse no estudo.

4.4 Os testes de exatidão Cartográfica

A avaliação quantitativa da exatidão pode ser realizada através da comparação entre a complicada superfície tridimensional do terreno, com outra superfície mapeada em duas dimensões. A primeira destas superfícies nunca é exatamente conhecida na sua totalidade. A segunda superfície nunca está completamente definida. Além disso, as medidas realizadas no teste nunca estão totalmente livre de erros.

MAILING (1989) explica que qualquer método para testar a exatidão de um mapa deve satisfazer três exigências:

- a) o procedimento de teste deve ter uma probabilidade baixa de aceitar um mapa de baixa exatidão;
- b) contrariamente, deve ter uma probabilidade alta para aceitar um mapa de alta exatidão;
- c) deve ser efetuado usando uma pequena amostra necessária para satisfazer estes critérios num nível específico de probabilidade e de exatidão.

Para MERCHANT (1982), a exatidão de um mapa em escala grande (1:20.000 e maiores) deve ser testada com um número mínimo de vinte pontos bem definidos no mapa e no terreno, por exemplo: interseções de ruas ou limites de propriedades. Estes pontos devem estar separados de no mínimo $0,10 \times D$, onde D corresponde à maior diagonal pertencente à área retangular abrangida pelo mapa. Para uma área retangular cuja maior diagonal equivale a cinco quilômetros, a separação entre os pontos deve ser de pelo menos 500 metros.

Os testes específicos para a análise de exatidão de um mapa são realizados em função de duas componentes, segundo MERCHANT (1982): análise de tendência e análise de precisão. Estes testes são baseados em um nível de significância de 90%. A análise de tendência baseia-se na distribuição *t* de Student, enquanto que a análise de precisão na distribuição qui-quadrado. No item 4.4.2, GALO & CAMARGO (1994) aplicam estes testes de MERCHANT (1982) em um trabalho prático.

4.4.1 A análise de exatidão de um mapa

MAILING (1989) expõe um método para análise de exatidão de um mapa iniciando-o com o cálculo das discrepâncias entre as coordenadas de um ponto no terreno (E, N) e sua representação no mapa (E', N') :

$$\delta E = E - E' \quad (4.1)$$

$$\delta N = N - N' \quad (4.2)$$

As discrepâncias δE e δN são as medidas do deslocamento horizontal ou planimétrico para um ponto. Portanto, se o procedimento de teste é repetido para os outros pontos, obtém-se as médias para as diferenças de coordenadas e seus desvios padrão podem ser determinados. Os problemas relacionados com a estratégia de amostragem surgem inevitavelmente. Normalmente, o mapa deve ser testado através da seleção de uma amostra bem definida de pontos.

Considerando as discrepâncias $\delta E_1, \delta E_2, \dots, \delta E_n$ e $\delta N_1, \delta N_2, \dots, \delta N_n$ para n pontos teste no mapa. O erro médio quadrático em cada direção é obtido por:

$$s_E = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta E^2}{n-1}} \quad (4.3)$$

$$s_N = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta N^2}{n-1}} \quad (4.4)$$

Se estes erros forem aleatórios, sem qualquer tendência sistemática, então $\sum \delta E = 0$ e $\sum \delta N = 0$ e a exatidão do mapa é demonstrada pelo s_E e s_N . Porém, se os somatórios de δE e de δN forem diferentes de zero, algum erro sistemático está presente no mapa. Este erro é determinado pela discrepância média para os pontos da amostra:

$$\overline{\delta E} = \Sigma \delta E / n \quad (4.5)$$

$$\overline{\delta N} = \Sigma \delta N / n \quad (4.6)$$

A exatidão do mapa é agora encontrada por subtrair a componente sistemática do erro médio quadrático ou do erro individual de cada ponto:

$$\sigma_E = \left(s_E^2 - \overline{\delta E}^2 \right)^{1/2} \quad (4.7)$$

$$\sigma_E = \left[\frac{\Sigma (\delta E - \overline{\delta E})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (4.8)$$

$$\sigma_N = \left(s_N^2 - \overline{\delta N}^2 \right)^{1/2} \quad (4.9)$$

$$\sigma_N = \left[\frac{\Sigma (\delta N - \overline{\delta N})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (4.10)$$

Nesta análise, a exatidão é avaliada em função de $\Sigma \delta E$ e $\Sigma \delta N$ em cada direção, sem nenhum tratamento estatístico.

Mostra-se a seguir um método aplicado por GALO & CAMARGO (1994) na análise da exatidão de uma carta onde é considerado o tratamento estatístico.

4.4.2 A análise da exatidão cartográfica

GALO & CAMARGO (1994) propõem um método para analisar a exatidão cartográfica de uma carta baseado na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas na carta com as de referência (obtidas a partir dos levantamentos de campo). Nas equações apresentadas a seguir, ao denominar-se X para um ponto, entende-se que este nomenclatura é válida tanto para as coordenadas E , quanto para as N . Também, aqui, nota-se que, as coordenadas com índice r são referentes às

coordenadas obtidas através do levantamento GPS e as que não possuem índice são as relativas ao processo de digitalização. Então:

$$\Delta X_i = X_i^r - X_i \quad (4.11)$$

A discrepância média e seu desvio-padrão são determinados a partir das seguintes expressões:

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (4.12)$$

$$S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad (4.13)$$

Para a realização do teste de tendência, assume-se as seguintes hipóteses:

$$H_0 : \overline{\Delta X} = 0 \quad (4.14)$$

$$H_1 : \overline{\Delta X} \neq 0 \quad (4.15)$$

A seguir, calcula-se a estatística amostral t , e verifica-se se o valor de t amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. O valor de t amostral é obtido a partir de:

$$t_X = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} n^{1/2} \quad (4.16)$$

e o intervalo de confiança relativo ao teste t de Student é dado por:

$$|t_X| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (4.17)$$

Se a estatística t amostral não satisfaz a desigualdade (4.17), rejeita-se a hipótese nula, ou seja, a carta possui tendências significativas na coordenada testada, para um determinado nível de confiança. A detecção de tendência em alguma direção informa a ocorrência de problemas.

A análise da precisão é realizada através da comparação entre o desvio-padrão das discrepâncias com o Erro Padrão (EP) de uma classe pré-selecionada. O teste de hipótese para esta análise é o seguinte:

$$H_0 : S_X^2 = \sigma_X^2 \quad (4.19)$$

$$H_1 : S_X^2 > \sigma_X^2 \quad (4.20)$$

onde σ_X corresponde ao desvio-padrão ou erro padrão esperado para a coordenada X e é calculado pela expressão:

$$\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (4.21)$$

Em seguida, aplica-se o teste qui-quadrado amostral:

$$\chi_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad (4.22)$$

A hipótese nula é aceita se este valor satisfaz a seguinte desigualdade:

$$\chi_X^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \quad (4.23)$$

Caso contrário, rejeita-se a hipótese nula de que a carta atende a precisão preestabelecida.

Neste capítulo, foram descritos os métodos e parâmetros necessários à análise de exatidão de uma carta, bem como o tratamento estatístico a ser empregado nesta análise e as conclusões que podem ser obtidas a partir dos mesmos.

No desenvolvimento desta dissertação foram analisadas as discrepâncias entre as coordenadas de referência (GPS) e as coordenadas digitalizadas de pontos homólogos de uma carta. Através da análise destas discrepâncias verificou-se a existência ou não de tendências e a precisão destes pontos em relação a precisão esperada. Estas análises são descritas no capítulo 7.

5 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

5.1 Introdução

Os capítulos 2, 3 e 4 desta dissertação versaram a respeito de conceitos introdutórios em Cartografia, das transformações entre sistemas e *data* e da análise da exatidão de cartas, respectivamente, sendo o uso de dados cartográficos no meio digital, enfatizado em cada um deles. Este capítulo versa sobre os Sistemas de Informações Geográficas, um gerenciador de dados cartográficos no meio digital, dos métodos de aquisição e da qualidade destes dados.

5.2 Aspectos gerais de um SIG

CÂMARA et al. (1996) definem os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como: “Sistemas de Informação construídos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente e indispensável para tratá-los”

Segundo PILOUK (1996), o SIG é usado para produzir um modelo espacial na forma de base de dados que contém uma entrada seletiva dos aspectos da realidade. Além disso, na produção de um modelo espacial, um SIG pode prover uma interface entre o usuário e a base de dados, que inclui dados de entrada, informações rápidas e apresentação. Os dados de entrada transportam o conhecimento humano para um componente do modelo adotado, de acordo com o modelo e com a estrutura dos dados. Outro importante aspecto do SIG é a manutenção e a administração da base de dados. O SIG possibilita a atualização da base de dados.

5.2.1 Dados espaciais georreferenciados

Em SIG, os dados espaciais devem ser georreferenciados e entende-se por dados georreferenciados os dados geográficos cuja localização é conhecida na superfície da Terra ou próxima dela (SANTOS, 1993).

Os dados espaciais são georreferenciados com a utilização de um sistema padrão de coordenadas, podendo este ser local, nacional ou internacional. Um exemplo clássico é o sistema de projeção UTM.

5.3 Componentes funcionais e disciplinas correlatas

CÂMARA et al. (1996) consideram que um SIG tem os seguintes componentes:

- ♦ interface com o usuário;
- ♦ entrada e integração de dados;
- ♦ funções de processamento;
- ♦ visualização e plotagem;
- ♦ armazenamento e recuperação de dados.

Estes componentes estão geralmente presentes em um SIG e a implementação de cada um deles é feita de forma distinta, de acordo com os objetivos do SIG.

PILOUK (1996), relaciona os cinco maiores componentes de um SIG, sem contudo, deixar de salientar que estes componentes podem ser encontrados em outros sistemas relacionados ao modelamento espacial, tais como CAD (Computer Aided Design), DTM (Digital Terrain Model), etc.:

- ♦ Aquisição de dados;
- ♦ Estruturação dos dados;
- ♦ Armazenagem e administração dos dados;
- ♦ Processamento dos dados;
- ♦ Saída de dados e apresentação das informações.

Cada um dos componentes dos sistemas acima havia sido desenvolvido separadamente no passado e vários destes componentes tornaram-se disciplinas, como por exemplo, Sistemas de Administração de Banco de Dados, Fotogrametria,

Sensoriamento Remoto, Processamento Digital de imagens, CAD, Realidade Virtual etc.

5.4 O emprego dos SIG em Engenharia de Transportes.

DANTAS; TACO; YAMASHITA (1996) dividiram as aplicações de SIG em Transportes em quatro áreas de abordagem: Operação, Planejamento, Gestão, Revisão e Crítica.

Ainda neste trabalho, cita-se que a área de Operação trata de questões de Transporte de Carga, Transporte Rodoviário, Engenharia de Tráfego e Transporte Coletivo Urbano (TCU). No Planejamento, os projetos se concentram em TCU, definição de Zonas de Análise de Tráfego (ZAT), Transporte de Carga e Transporte Regional. A Gestão tem seus trabalhos centrados na criação de base de dados. Na área de Revisão e Crítica analisa-se o potencial, as exigências básicas e as deficiências no uso do SIG.

Exemplificando, tem-se o trabalho de VIVIANI & SÓRIA (1995), junto ao Departamento de Transportes da EESC-USP, que analisa o uso de SIG em um processo de gerência de vias não pavimentadas. Tem como área de estudo, o Município de São Carlos (SP) e o software utilizado foi o TransCAD.

SILVA & MOTTA (1995) desenvolveram, também junto ao Departamento de Transportes da EESC-USP uma pesquisa visando avaliar o sistema de transporte público da cidade de São José do Rio Pardo (SP), utilizando o software TransCAD. Aqui, foram relacionados os dados de entrada, a saber: mapa com ruas e avenidas, distribuição da população, a localização das linhas e dos pontos de ônibus. As conclusões obtidas confirmam que o SIG é uma ferramenta poderosa na avaliação de desempenho do sistema de transporte e no planejamento de alterações neste sistema.

Nos dois exemplos citados acima é mencionada a aquisição de dados no meio digital e mais especificamente, em SILVA; LIMA; RAIA JR. (1995), que descrevem os tipos de mapas elaborados no meio digital e o método empregado.

5.5 Classificação dos métodos de aquisição de dados em SIG

A aquisição da base de dados é a etapa mais onerosa e que demanda mais tempo de todo o processo de implantação de um SIG, devido a complexidade dos processos, o volume de dados, as exigências de qualidade e precisão impostos pela Cartografia, a necessidade de mão-de-obra qualificada e equipamentos sofisticados. Em consequência do grande número de variáveis, há uma maior probabilidade de ocorrência de erros.

De acordo com THAPA & BURTCHE (1991), a coleta de dados espaciais pertencentes ao SIG pode ser classificada em métodos primários e secundários.

Os métodos primários referem-se aos dados derivados diretamente do campo ou de fotografias (terrestre ou aérea) e imagem de satélite.

Os métodos secundários referem-se aos processos nos quais os dados são derivados de documentos existentes, tais como mapas, cartas, gráficos, etc. Aqui, enquadra-se o processo de digitalização a ser descrito adiante.

Os métodos primários de aquisição de dados podem ser classificados nas seguintes categorias: Técnicas de Geodésia, Técnicas de Levantamento, Técnicas de Fotogrametria e Técnicas de Sensoriamento Remoto. Nas técnicas de Geodésia e de levantamento encontram-se o sistema GPS, descrito no capítulo 6.

KENNIE & PETRIE (1990) assumem a existência de três métodos dos quais se pode adquirir dados:

- ♦ métodos de levantamentos baseados no uso de teodolitos eletrônicos;
- ♦ métodos de levantamentos aéreos baseados no uso de instrumentos restituídos;
- ♦ métodos de digitalizadores gráficos nos quais os dados estão contidos em mapas e podem ser digitalizados, isto é, convertidos na forma digital.

KAHLER & TAUCH (1992), numa exposição mais abrangente, afirmam que mapas topográficos podem ser gerados a partir de dados de imagens de satélites, de ortofotos, de dados de imagens originadas de sistemas scanners em aeronaves, de Modelos Digitais de Terreno, de dados vector vindos de mapas digitalizados, de Sistemas Fotogramétricos e de Levantamentos Terrestres e finalmente por dados não gráficos, como pode ser visto na Figura 5.1.

FIGURA 5.1 Métodos de aquisição de dados em SIG (KAEHLER & TAUCH,1992)

Dos métodos apresentados, utilizou-se no presente trabalho a digitalização manual, onde os dados foram transpostos para o meio digital por intermédio de uma mesa digitalizadora. Uma explanação mais detalhada dos métodos de digitalização manual e automática e de sugestões quanto ao processo de digitalização de cartas podem ser vistas a seguir.

5.5.1 O método da digitalização

“A digitalização é processo de conversão de pontos e linhas de um mapa convencional para um formato compatível com o computador (TOMLINSON & BOYLE, apud SCARIM & TEIXEIRA (1994).

De acordo com os mesmos autores, três são as maneiras de executar este método:

- ♦ Digitalização manual via mesa digitalizadora
- ♦ Digitalização semi-automática (pouco utilizada)
- ♦ Digitalização automática, via scanner.

DAVIS JR. & FONSECA (1994) acrescentam o método que exige o uso de um estéreo restituidor digital, que produz vetores a partir da digitalização de fotografias aéreas, e o método “heads-up digitizing”, um processo de digitalização feita na tela, sobre a imagem raster da planta original.

Serão descritos a seguir, os métodos da digitalização manual e automática, de interesse nesta dissertação.

5.5.2 Digitalização manual

Conforme citação anterior é o método de digitalização no qual os dados são inseridos via mesa digitalizadora.

5.5.2.1 Equipamentos

O equipamento básico exigido na digitalização manual é composto por um microcomputador, uma mesa digitalizadora e, se possível, um ploter para a plotagem do desenho.

A mesa digitalizadora (ver Figura 5.2) segundo QUINTANILHA (1995) é o equipamento fundamental da digitalização manual, constituída de uma superfície plana com sensores, na qual existe uma rede ortogonal com a finalidade de determinar os impulsos elétricos em cada célula desta rede. Este sinal elétrico transmite-se a partir da ativação do cursor ao percorrer a superfície da mesa, indicando a posição (x, y) do mesmo.

Os tamanhos das mesas variam desde 9"×12" (228mm × 304mm) até múltiplos do formato de desenho A0 (36"×48").

FIGURA 5.2 Mesa Digitalizadora

5.5.2.2 Indicadores de exatidão

Entende-se por indicadores de exatidão os parâmetros usados na avaliação da qualidade da digitalização. QUINTANILHA (1995) define-os como resolução, ou o menor incremento detectável na rede ortogonal, e acurácia, um parâmetro relacionado ao maior erro de medida, obtido empiricamente. Os dois indicadores variam conforme o equipamento e são fornecidos pelos fabricantes.

5.5.2.3 Processo de digitalização manual

Precedendo o processo de digitalização algumas questões devem ser levantadas, tais como: o tipo de documento a ser digitalizado, o tipo de software escolhido, como proceder a digitalização propriamente dita, a que esta digitalização é destinada, que serão discutidas no tópico 5.7. Resolvidas estas questões, inicia-se o processo de digitalização, que compreende a fixação da carta na superfície plana da mesa, a calibragem da mesa e a digitalização da carta propriamente.

Algumas considerações devem ser feitas quanto à colocação da carta na mesa: o papel deve ser fixo de maneira que fique livre de protuberâncias e rugosidades, sem contudo estar demasiadamente esticado, provocando distorções.

A calibragem da mesa constitui o processo de transpor as coordenadas da carta para a mesa. É feita através do software, um CAD, que permite, com a ativação de comandos específicos, que estas coordenadas sejam submetidas a transformações geométricas: Ortogonal, Afim ou Projetiva, apresentadas com detalhes no capítulo 3. Como resultado destas transformações são apresentados parâmetros estatísticos, tais como RMS, possibilitando ao operador optar pela transformação e aceitar ou não o resultado apresentado. Os valores de RMS contidos na Tabela 5.1 foram assumidos como referência na análise dos resultados obtidos.

TABELA 5.1 Para valores de RMS (SILVA,1997)

Escala	RMSmáx(m)
1:1.000	0,309
1:2.000	0,619
1:5.000	1,540
1:10.000	3,090
1:20.000	10,320
1:50.000	25,810
1:100.000	51,620
1:200.000	129,050
1:500.000	258,100
1:1.000.000	519,200

5.5.2.4 Os modos de digitalização

São dois os modos existentes no processo de digitalização: o modo ponto-a-ponto e o contínuo.

No modo *ponto-a-ponto*, o desenho é reproduzido através do cursor da mesa, sendo lidas as coordenadas e enviadas ao computador cada vez que o cursor é acionado.

São muitas as variáveis envolvidas neste modo, sendo a habilidade e experiência do operador, as de maior significância. Cabe ao operador ter discernimento na escolha dos vértices que melhor definam as feições de interesse e o acompanhamento destas feições captando maiores detalhes nas mais complexas.

No modo *contínuo*, o desenho é reproduzido através da leitura contínua de coordenadas à medida que a feição é percorrida com o cursor. Esta leitura é feita a uma taxa contínua no espaço ou no tempo, a qual é monitorada pelo software. O operador apenas acompanha a feição, administrando apenas a velocidade do percurso de acordo com a complexidade ou não da mesma. De acordo com SCARIM & TEIXEIRA (1994) é o modo recomendado para digitalização de grandes arcos como curvas de nível. QUINTANILHA (1995) comenta que este modo permite a geração de produtos com acurácia alta em função da habilidade do operador, e que tem por desvantagens, a dependência do software em uso e a exigência de um volume final dos arquivos de tamanhos muito superiores aos gerados no modo ponto-a-ponto.

Os problemas acima citados podem ser minimizados pela suavização de curvas e adoção de incrementos de distâncias no software, que podem ser maiores nos trechos retos e menores nos curvos.

Outro modo de reduzir os tamanhos dos arquivos é, como explica KEEFER (1991) apud GUIMARÃES FILHO & CRÓSTA (1994), diminuí-los mantendo a precisão, utilizando uma expressão empírica onde é considerada a escala da carta e é calculado o valor do incremento (D) a ser introduzido no software, assim, se há necessidade de maior precisão, usa-se pequenas distâncias e os arquivos magnéticos ficam maiores que com menor precisão, usando-se grandes distâncias, o que proporciona mais erros.

A distância a ser utilizada pelo comando de digitalização contínua de polilinhas via mesa é dada pela seguinte expressão:

$$DISTÂNCIA = \frac{ESCALA \times 0,0508}{100} \quad (5.1)$$

Os comandos empregados na digitalização tem relação direta com a feição a ser digitalizada, destinando-se o comando polilinhas no modo ponto-a-ponto aos desenhos em que o erro de operação não tem importância prioritária. Ao contrário, com o comando polilinhas contínua, que deve ser usado quando o erro de operação é importante.

5.5.3. Digitalização automática

STEVENSON (1994) define a digitalização automática, rasterização ou escanerização como o processo que converte mapas ou documentos para a forma digital.

A escanerização é obtida usando processos eletro-mecânicos, óticos, analógicos, digitais e em alguns casos pneumáticos, dependendo do tipo de scanner.

O resultado é uma imagem que pode ser exibida em um monitor ou através de impressão em papel. Neste processo, o scanner capta a quantidade de luz refletida ou transmitida e a registra digitalmente. No registro digital, cada pixel na imagem é associado a uma quantidade de luz refletida ou transmitida pelo documento.

5.5.3.1 Equipamentos

Scanner de mesa: o documento é colocado sobre a superfície plana da mesa e o sistema sensor se move sobre ela (ver Figura 5.3). A luz refletida pelo documento é convertida para a forma digital. Cada movimento do sensor corresponde ao tamanho do pixel (25 a 50 microns)

Scanner de tambor: composto de um cilindro, um dispositivo mecânico e um equipamento eletrônico de controle. O documento é posicionado e fixado na superfície externa do cilindro. Este cilindro rotaciona-se a uma alta velocidade. O sensor capta as imagens de um ou mais pixels ao mesmo tempo, dependendo do modelo de scanner. Como o cilindro rotaciona, os pixels que passam sobre o sensor são escaneados seqüencialmente. O sensor move-se horizontalmente ao longo do cilindro para escanear as colunas (pixel), até escanear todo documento.

Scanner de rolo: o documento passa pelo rolo a uma velocidade constante. A luz refletida pelo documento é capturada por câmaras CCD e posteriormente transformadas em valores numéricos, em função da intensidade de luz incidente, na forma matricial.

FIGURA 5.3 Scanner de mesa (SCARIM & TEIXEIRA, 1994)

5.5.3.2. Resolução

A resolução de um scanner pode ser avaliada em função do número de pontos por polegada (ppp), variando de 25 a 2000 ppp (resolução espacial), ou em função do número de tons de cinza ou cores que o sensor pode discernir, como por exemplo alguns scanners monocromáticos detectam até 256 tons de cinza e alguns policromáticos detectam até 16,7 milhões de cores.

5.5.3.3 O processo de digitalização automática

GUIMARÃES FILHO & CRÓSTA (1993) afirmam que o processo de digitalização é análogo ao de uma máquina de fotocópia, porém o resultado sai em formato digital, implicando em baixo custo e otimização de tempo na passagem de dados para o computador.

SCARIM & TEIXEIRA (1994) argumentam que de acordo com o que se almeja obter como produto final (base de dados em estrutura raster ou vetorial), o processo de escanerização pode variar. Assim, alguns procedimentos iniciais como: preparação da carta, definição de no mínimo três pontos para georreferenciar, redesenho do mapa, ajuste do scanner.

No scanner de mesa o processo consiste na colocação da carta sobre a superfície plana da mesa, um feixe de luz é emitido, refletido e registrado pelo sensor. O tamanho e cor de cada pixel são função da resolução espacial e radiométrica de cada scanner.

No scanner de rolo, a carta deve fixada ao rolo que, ao girar, produz o movimento em Y. O sensor é fixo no sentido do movimento do rolo e uma linha de imagem é modelada a cada incremento do movimento do mesmo. O comprimento do papel se limita à capacidade de armazenagem do computador.

É importante citar aqui, a existência do processo que consiste na vetorização de dados escanerizados, onde as feições do desenho são individualizadas e editadas. Este processo é realizado por intermédio de softwares específicos.

A escanerização é um método de entrada de dados de grande aceitação, visto que os erros operacionais e o tempo são minimizados consideravelmente em relação ao método da digitalização manual.

5.5.4 Digitalização manual × Digitalização automática

SAKASHITA & TANAKA (1989) apud STEVENSON (1994) descrevem que as vantagens da digitalização manual são: os objetos são rapidamente reconhecidos pelo operador e associados a linhas, polígonos, sinais, etc.; cada objeto é considerado como de entrada e consistente; informações ambíguas ou incompletas podem ser interpretadas e corrigidas; os dados podem ser usados diretamente em um SIG.

Como desvantagens relacionam: é um processo tedioso, de trabalho intensivo; a qualidade depende do operador e a exatidão é limitada.

Na digitalização automática, STEVENSON (1994) cita as vantagens: a utilização do scanner gera com mais facilidade uma imagem digital raster de um

documento original; redução de tempo e dos erros operacionais (função da habilidade e experiência do operador).

Como desvantagens tem-se: os parâmetros do scanner exigem ajustes precisos por parte do operador; a captura de dados não é seletiva, ou seja, toda informação é capturada; requer muito espaço para armazenagem dos dados; a qualidade da imagem depende da qualidade da fonte.

5.5.5 Digitalização de cartas

No processo de digitalização de cartas, o que se pretende, além da conversão dos dados analógicos em digitais, é a posterior utilização destes dados para os mais variados fins. É preciso que o usuário tenha em mente estas finalidades, pois, delas depende a adoção de critérios específicos a serem empregados durante o processo de digitalização.

Nos próximos tópicos serão relacionados critérios e sugestões que permitirão ao usuário de cartas no meio digital a obtenção de produtos de melhor qualidade e desempenho.

GUIMARÃES FILHO & CRÓSTA (1993) argumentam que deve haver uma adequação entre os procedimentos adotados no processo de digitalização e a qualidade e precisão almejadas no produto final. Devem ser ponderadas as possibilidades de utilização da carta em outros programas e a importação de dados georreferenciados, possibilidades que exigem procedimentos prévios visando a maior facilidade no momento de importação.

O objetivo da digitalização e a precisão do produto final devem ser conhecidos pelo usuário antes do processo ser iniciado. O objetivo implica no porque da digitalização e a que é destinada. Os dados podem ser destinados para:

- a) visualização no computador;
- b) substituição ou atualização de uma mapoteca;
- c) facilitar os processos de manutenção;
- d) intercâmbio de dados com outros programas;
- e) controle de qualidade dos dados de entrada.

Neste contexto, o CAD deve ser visto como uma ferramenta poderosa de entrada de dados e intercâmbio dos mesmos com programas mais sofisticados como SIG, DTM, etc. Uma vez capturados a partir de mapas em papel pelo CAD, esses dados podem ser intercambiados com esses programas. Este intercâmbio exige a conciliação de formatos de arquivos entre os programas.

Assim, o processo de digitalização deve ser realizado de maneira criteriosa, organizada e padronizada.

GUIMARÃES FILHO & CRÓSTA (1994) relacionaram itens relevantes para que o processo de digitalização atenda as exigências comentadas acima, apresentados a seguir:

1) Equipamentos

Devido ao fato do mapa se tratar de uma vasta e complexa fonte de informações, deve ser analisada a capacidade do equipamento em relação às dimensões do trabalho. É considerada aqui, por exemplo, a possibilidade de digitalizar uma carta por partes.

2) Fontes de dados

Em muitos casos, o que se tem em mãos são dados provenientes de diferentes bases cartográficas que devem ser inseridas em um mesmo CAD. Por exemplo, pode se ter informações de mapas topográficos e fotografias aéreas. A solução para este impasse é obtida através da adoção de uma destas fontes como base e a inserção de outras fontes nesta base. Nesta inserção, quando as fontes são muito heterogêneas, transformações e ajustes são certamente necessários.

Quando a precisão do produto final é de fundamental importância, procedimentos como propostos por MERCHANT (1982) e descritos no capítulo 4 devem ser seguidos e os padrões de exatidão também apresentados naquele devem ser adotados como referência na análise da qualidade do produto.

No que diz respeito à digitalização manual, o tamanho da mesa deve ser considerado, bem como a precisão. Esta última informação, está disponível nos manuais, variando conforme o equipamento. Quanto ao tamanho, é considerado porque nos casos de desenhos serem maiores do que a área útil da mesa ou em que a

digitalização é feita em várias sessões por motivos quaisquer. Cada vez que se orienta a carta na mesa e o CAD ajusta os dados da mesa aos do desenho (calibragem), são introduzidos erros, assim a reorientação da mesa é desaconselhada, sugerindo-se que as informações mais precisas sejam digitalizadas em uma só sessão.

Outro aspecto importante é o tipo de papel da carta fonte. No processo de reprodução de cópias heliográficas, o papel fica sujeito à distorções, o que acarretaria erros em uma posterior digitalização. Papéis estáveis como cronaflex ou poliéster são os mais adequados nestes casos.

3) Escalas dos dados

Quando as fontes de dados estão em escalas diferentes, devem ser consideradas as escalas das bases originais.

4) Otimização de níveis

A maneira das informações serem organizadas nos CAD é ordenar em níveis diferentes. Recursos inerentes ao CAD como congelamento, descongelamento, cores, tipos de traços, exportação das informações, plotagem e todos os demais processos devem ser considerados.

5) Impressão de dados

O método, dispositivo e representação dos dados de saída devem ser definidos desde o início do processo de digitalização, porque influenciam na escolha da melhor representação gráfica para os dados. Geralmente, estes dados são enviados para impressoras matriciais ou a laser, plotters termais ou eletrostáticos.

6) Formato DXF

O formato DXF (Drawing eXchange Format) do programa AutoCAD é, segundo BRANDALIZE (1993), um formato padrão mundial na exportação de dados vetoriais. Os dados em um arquivo de formato DXF são do tipo ASCII (American Standad Code for Information Interchange), dados considerados de fácil interpretação e transferência.

Um arquivo com o formato DXF é dividido em quatro blocos ou seções:

- ♦ Cabeçalho ou Header Section, constituída pelas variáveis de configuração do AutoCAD e seus valores quando da criação do arquivo DXF.
- ♦ Tabelas ou Tables Section, constituída pela definição de todos os tipos de linhas, estilos de texto e níveis de informação do CAD, a serem referenciados nas seções de blocos e entidades
- ♦ Blocos ou Blocks Section, composta pela construção dos blocos utilizados no desenho. O bloco é uma entidade gráfica composta de entidades primitivas. Cada definição de bloco inicia com o nome do bloco seguido de uma lista de todas as entidades.
- ♦ Entidades ou Entities Section, composta de todas as entidades do desenho incluindo linhas, textos e inserção de blocos. É a maior e mais importante seção do arquivo.

Este formato de arquivo foi utilizado no desenvolvimento prático desta dissertação (capítulo 7), pois coordenadas de pontos foram lidas via mesa digitalizadora em um arquivo no CAD e o referido arquivo foi transformado para o formato DXF, o que possibilitou a visualização de uma listagem destas coordenadas e sem o qual este feito não seria possível. Na Figura 5.4 pode ser visto um trecho de um arquivo no formato DXF.

```

0
ENDSEC
0
SECTION
2
ENTITIES|
0
POINT
5
28
100
AcDbEntity
8
0
100
AcDbPoint
10
201434.233998
20
7563789.444364
30
0.0
0

```

FIGURA 5.4 O formato DXF

5.5.6 Testes relacionados à digitalização

Três experimentos, apresentados a seguir, ilustram os procedimentos de testes relacionados à digitalização.

5.5.6.1 NUGENT(1995)

Técnicas de controle de qualidade foram desenvolvidas pelo Northern Forest Lands Inventory, por NUGENT (1995) em um projeto que utilizava um SIG. O controle de qualidade praticado neste exemplo compreendeu dois processos:

- 1) técnicas de implementação e produção que tentem reduzir e eliminar erros;
- 2) revisão completa do trabalho para identificar e corrigir erros antes que qualquer produção seja realizada.

Dentre os componentes de controle de qualidade neste projeto, considera-se a seguir, o processo de digitalização.

Para eliminar os efeitos de qualquer erro no processo de digitalização, um procedimento de padronização do mapa é realizado cada vez que o mesmo é colocado na mesa digitalizadora. O mapa é geralmente orientado na mesma direção da mesa digitalizadora (folhas por retículo, norte para cima). Durante a digitalização, o mapa é fixado na mesma orientação geral. Foi encontrado que mudando a orientação do mapa podem ocorrer variações nas coordenadas dos pontos. Com a fixação do mapa na mesma direção, tais variações são eliminadas.

Os erros causados pela mesa digitalizadora tem sido registrados, às vezes ocorrendo somente em lugares isolados da mesa. Quando significantes e detectáveis, esta porção da mesa deve ser evitada.

5.5.6.2 MELLO & CINTRA (1993)

Em um ensaio realizado por MELLO & CINTRA (1993) foi avaliada a ocorrência de erros devido ao material no qual o mapa é executado, papel deformável ou indeformável, e à calibragem da mesa digitalizadora. Foram realizados ensaios em três tipos de papel: cronaflex, cópia heliográfica nova e cópia heliográfica

manuseada. Foi usado um PC-AT-286, mesa DIGIGRAPH (da Vinci) - A3. Os ensaios realizados e os resultados encontrados foram:

- i) Ensaio relacionado ao erro do tipo de papel: quatro pontos de quadrícula com coordenadas conhecidas foram selecionados para este ensaio. Para cada tipo de papel foram realizadas quatro leituras destes pontos, gerando um arquivo no formato DXF para a extração das coordenadas dos respectivos pontos;
- ii) Ensaio relacionado à calibragem da mesa: quatro calibrações distintas foram realizadas, utilizando-se dois pontos de controle para cada uma. Em cada calibragem, estes pontos encontram-se em posições diferentes. Gerou-se também um arquivo DXF para a extração das coordenadas. O procedimento foi repetido três vezes para cada tipo de calibragem.
- iii) Resultados dos testes: com relação ao tipo de papel, os valores máximos de desvios nas coordenadas dos pontos digitalizados foram de 8 m para o cronaflex, 208 m para a cópia nova e 300 m para a cópia manuseada. Nos testes de calibragem, os valores máximos de desvios nas coordenadas dos pontos digitalizados foram de 208 m (pontos de controle distantes e alinhados horizontalmente), 543 m (pontos de controle distantes e alinhados diagonalmente), 208 m (pontos de controle próximos e alinhados horizontalmente) e de 300 m (pontos de controle próximos e alinhados diagonalmente).

5.5.6.3 GOODCHILD & GOPAL (1989)

Testes simples foram conduzidos por GOODCHILD & GOPAL (1989) no sentido de desenvolver uma apreciação de erros de distâncias digitalizadas que podem ser gerados por usuários de SIG. Os testes foram concebidos com o propósito de explorar os erros posicionais.

Nos testes, uma tentativa foi feita para isolar os efeitos de dois fatores que poderiam ser esperados que influenciassem a propagação dos erros. O primeiro foi a escala da fonte usada para digitalização, o segundo foi a velocidade com que o operador conduz a digitalização. É também importante reconhecer que os resultados dos testes foram baseados no desempenho de uma pessoa.

O conceito do teste de digitalização é muito simples: entidades digitalizadas nas quais a localização pode ser determinada precisamente e comparada com as entidades originais.

O problema se resumiu em selecionar entidades definidas matematicamente no material digitalizado. As entidades incluíam pontos, linhas retas, um triângulo, um quadrado, um pentágono e um decágono. Em seguida, a estas entidades foram associadas funções matemáticas. Estas entidades precisas foram geradas em um CAD e plotadas em grande formato. A plotagem foi então reduzida no tamanho para representar a distância nas escalas 1:50000, 1:100000, 1:250000. Cada uma das entidades foi digitalizada por um operador em cada uma das três escalas e cada uma das três velocidades (confortável, rápido e muito rápido).

Depois de digitalizadas, as entidades foram importadas para uma base comum usando a projeção UTM. Durante este processo enganos óbvios e erros associados com a calibração ou dados de entrada foram corrigidos.

Os autores concluíram que uma mudança na escala do documento fonte usado para a digitalização tem um impacto maior no erro posicional do que a velocidade de digitalização. Assim, o número de pontos precisos usados na digitalização varia com o tempo e a escala do documento. Também concluíram que quanto maior a escala, maior a exatidão.

Os testes desenvolvidos acima serviram como referência aos aplicados na dissertação em questão e descritos nos capítulo 7.

5.6 Aspectos da qualidade dos dados de entrada georreferenciados em SIG

A aquisição de dados espaciais pode ser vista como um sistema de produção que classifica os componentes deste sistema como os “5 M’s”: “men”, “machines”, “methods”, “material” e “money”, de acordo com JOOS(1997).

O componente humano exige que o operador seja hábil no manuseio com produtos e software muitas vezes complicados, mas conhecimento e cansaço são componentes de qualidade de difícil quantificação. O operador deve ser treinado para a interpretação do modelo de dados, para assim, poder decidir em qual categoria se enquadra cada dado. Um sistema de controle tem que ser estabelecido, e cada passo

deve ser controlado por um outro operador e, se possível, pelo próprio SIG. Cada erro deve ser classificado e quantificado quando possível para posterior tratamento estatístico, podendo dessa maneira ser eliminado.

Por máquinas subentende-se hardware, incluindo-se os computadores, equipamentos de armazenagem e periféricos de apresentação, e também os software utilizados e seus sistemas operacionais e redes. Computadores não são considerados um problema, devido ao fácil acesso e a grande diversidade. Equipamentos de armazenagem tem permitido o acesso à base de dados e a colocação dos mesmo em rede.

Decisivo para a qualidade do produto é a qualidade da fonte. Se a fonte é falha ou obsoleta o resultado do dado digital não pode ser melhor. O material pode ser de originais de levantamentos de campo, fotografias aéreas ou ortofotos, imagens de satélite, mapas temáticos, fontes não geométricas e base de dados digitais mas não geométricas. Se o material tem um alto nível de pré-processamento, é difícil detectar erros e portanto é importante ter informações sobre a qualidade da fonte que foi utilizada.

Pelo método de digitalização entende-se o fluxo de trabalho para a obtenção da fonte de dados, processamento e digitalização com todo o controle de qualidade do produto final. Este fluxo deverá ser planejado intensivamente, especialmente o componente tempo e o número de estações de trabalho (operadores, equipamentos). O produto final pode ser influenciado por alguns problemas, tais como a habilidade de cada operador em determinar a precisão das referências geométricas dos objetos e em manusear o software. Os erros devido às falhas nas fontes ou durante a digitalização devem ser eliminados.

O custo para avaliar a qualidade dos dados varia com o grau de rigor necessário. Este é resultado do gasto com o desempenho do teste e também da demora causada no processo de produção para aplicar os testes e corrigir os erros. Por esta razão, o rigor do teste deverá ser balanceado com o custo e em consequência tem-se dados mais ou menos precisos.

A qualidade dos dados geográficos é muitas vezes examinada somente depois de decisões incorretas terem sido tomadas e prejuízos financeiros ou prejuízos pessoais tenham ocorrido. Padrões de qualidade de dados, definidos

apropriadamente, testados e registrados, podem proteger ambos o produtor e o usuário de informações geográficas.

Quando os dados são fornecidos em um formato padrão e com a precisão declarada, o produtor é protegido de responsabilidade no caso de uso inadequado. Tais padrões também protegem o usuário de confiar em informações impróprias.

Um SIG fornece os meios para as informações geográficas serem usadas em uma vasta extensão de aplicações e, para que os dados sejam usados na tomada de decisão, esta qualidade deve ser qualificada e conhecida, portanto, os padrões de qualidade de dados devem estar disponíveis para os usuários.

No tópico a seguir serão exibidos os erros referentes aos dados de entrada em SIG, com maior ênfase aos erros e testes para detectá-los no processo de digitalização.

5.7 Métodos e erros associados à aquisição de dados em SIG

Os métodos utilizados para a aquisição de dados em SIG podem ser, segundo THAPA & BURCH (1990) apud MELLO & CINTRA (1993):

- a) *primários*: levantamentos topográficos e geodésicos, restituições fotogramétricas, imagens de satélites;
- b) *secundários*: digitalização através de scanners ou mesas digitalizadoras.

É importante complementar que a associação da tecnologia do GPS com o SIG tem sido objeto dos mais recentes estudos concernentes à aquisição e qualidade de dados.

Os erros inerentes a estes métodos podem ser classificados como grosseiros (p. ex.: erro na leitura), sistemáticos (p. ex.: erro devido o efeito da refração) e acidentais (p. ex.: erro de causa desconhecida). Os erros grosseiros são na maioria das vezes detectados e eliminados, enquanto que os sistemáticos podem ser evitados através de procedimentos específicos, como por exemplo, o processo de reiteração nas observações angulares. Os erros acidentais tendem a se neutralizar quando aumenta-se o número de observações, pois tais erros apresentam uma distribuição normal, conforme GEMAEL (1994).

Para controlar os erros nos métodos primários, existem procedimentos para detecção e controle destes, dentro de padrões específicos, e técnicas para obtenção de uma determinada precisão. No Brasil, estes procedimentos e técnicas são regulamentados pelo IBGE e pela ABNT.

Os erros nos métodos secundários, além de conterem os erros provenientes dos primários, estão associados aos erros no processo de digitalização. Um documento utilizado na digitalização pode ser um mapa, que durante as fases para realização de sua confecção, teve seus erros controlados pelas regulamentações oficiais. MAILING (1989) relaciona alguns erros durante a confecção de um mapa, p. exemplo: erro de 0,30 mm a 0,32 mm na fase de compilação; erro de 0,006 mm a 0,18 mm no processo de desenho; erro de 0,1 mm e 0,2 mm na reprodução do mapa e de 0,17 mm e 0,30 mm para registro de cores.

Quanto aos erros no processo de digitalização, MELLO & CINTRA (1993) relacionam alguns fatores que ocasionam estes erros, p. ex.: deformabilidade da base em que está desenhado o mapa (cronaflex, vegetal, papel cartão, cópia heliográfica, etc.); operação de seguir linhas ou localizar pontos (associado à habilidade do operador); digitalização (distorção construtiva); calibração ao colocar o mapa sobre a mesa e demarcação dos pontos que servirão para ajuste da escala.

COMASTRI & FERRAZ (1979) apud OLIVEIRA; PEREZ; SAMPAIO (1997) separam os erros no processo de digitalização nos seguintes tipos:

- a) *erros instrumentais*: devido a imperfeição, limitação ou ajustamento do instrumento utilizado (mouse da mesa digitalizadora, cabos, conexões, ruídos);
- b) *erros de condições externas*: luminosidade, posição do operador e layout da estação de trabalho. Salienta também a questão da confiabilidade e conservação do documento a ser digitalizado, além da rotina de transformação afim incluída no software;
- c) *erros de condições operacionais*: inabilidade do operador com relação ao manuseio do equipamento.

Estes fatores geram dados errôneos na entrada de um SIG, comprometendo todo o sistema. Assim, uma análise na qualidade destes dados deve ser realizada para fornecer uma maior confiabilidade no uso dos mesmos e, conseqüentemente, nos resultados de suas aplicações.

Através da apresentação de conceitos relacionados aos SIGs, aos métodos de obtenção e à qualidade dos dados a serem utilizados nos mesmos, neste capítulo, pretende-se enfatizar a existência de critérios rigorosos a serem obedecidos quando se almeja produtos de boa qualidade técnica.

6 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

6.1 Introdução

A tecnologia GPS revolucionou os métodos de levantamentos geodésicos. É considerada atualmente uma das técnicas mais precisas e eficazes de posicionamento. Uma das propostas deste trabalho é a determinação de coordenadas precisas de pontos que servirão como referência para a análise de erros entre estas coordenadas (GPS) e as mesmas coordenadas obtidas por outro método (digitalização). É feita a seguir uma abordagem teórica sobre a tecnologia GPS suas aplicações.

6.2 Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Segundo SEGANTINE (1997), o GPS é um sistema de multipropósitos, que permite aos usuários determinar suas posições expressas em latitude, longitude e altura geométrica, por coordenadas X,Y,Z em relação ao centro de massa da Terra. A grande vantagem desse sistema é a sua capacidade de integração com outros. Associado a mapas digitais ou a um SIG e a um sistema de comunicação produz um sistema de controle.

Desenvolvido pelo DoD – U.S.A Department Of Defense, o GPS (Global Positioning System) ou, NAVSTAR - GPS (“NAVgation Satellite with Time And Ranging”) é um sistema de rádio navegação, que tinha por objetivo ser o sistema de navegação principal das forças armadas americanas. Contudo, o universo dos usuários foi expandido, atingindo as aplicações civis, devido a alta precisão alcançada e a tecnologia concernente aos receptores.

Pela própria configuração do sistema, é permitido ao usuário que tenha acesso a no mínimo quatro satélites possíveis de serem rastreados 24 horas por dia, permitindo o posicionamento em tempo real.

Para fins de levantamentos geodésicos, o GPS possui as peculiaridades de não haver necessidade de intervisibilidade entre as estações e poder ser submetido a quaisquer condições de clima.

Existem diferentes métodos de posicionamento: estáticos e cinemáticos. No posicionamento estático relativo, dois ou mais receptores são necessários no levantamento, podendo ser obtida precisão sub-centimétrica entre os pontos levantados. Este método exige que sejam feitas observações por pelo menos uma hora em cada estação.

O método cinemático, baseia-se no valor teórico das ambigüidades inteiras, fornecendo precisão de levantamentos geodésicos com tempo inferior ao minuto de observação.

6.2.1 Os segmentos GPS

O GPS tem três principais segmentos, de acordo com LAAFB (1997a): espacial, de controle e do usuário. O GPS fornece posição (tridimensional), velocidade e tempo com muita exatidão e informações contínuas em tempo real. Os levantamentos com GPS podem ser realizados em todas as condições atmosféricas.

O segmento espacial consiste de 24 satélites operacionais, ilustrados na Figura 6.1 em seis planos orbitais (quatro satélites em cada plano), como mostra a Figura 6.2. Os satélites operam em órbitas circulares com altitude aproximada de 20.200 quilômetros (10.900 milhas náuticas), inclinadas de 55 graus com o Equador, e com período de 12 horas siderais.

FIGURA 6.1 Constelação GPS (DANA, 1995)

FIGURA 6.2 Planos orbitais do GPS

Cada satélite GPS é projetado para transmitir um par de sinais de frequência de rádio de banda L, conhecidas como ($L1 = 1575,42 \text{ MHz}$) e ($L2 = 1227,60 \text{ MHz}$).

O sinal L1 transporta um código de precisão (P, "precision code") e um código grosseiro/aquisição (C/A "coarse/acquisition code"), enquanto L2 transporta somente o código de precisão (P). Os sinais são transmitidos usando técnicas de propagação, segundo LAAFB (1997b), empregando duas diferentes funções de propagação: um código C/A de 1,023 MHz somente em L1 e um código P de 10,23 MHz em L1 e L2. Sobrepostos nestes códigos estão dados de mensagem de navegação, incluindo os parâmetros de efeméride e do relógio do satélite, dados do estado do sinal do satélite e informação de sincronização do Tempo Universal Coordenado (UTC, "Universal Time Coordinate"). Os satélites GPS dos Blocos II/IIA (lançados desde novembro de 1990) e IIR (lançados desde julho de 1997) estão suscetíveis ao "Selective Availability" (SA) e ao "Anti-Spoofing" (A-S). De acordo com USNO (1997), o SA foi implementado em 04 de julho de 1991 e o A-S em 31 de janeiro de 1994. Tanto o SA quanto o A-S são fatores limitadores do sistema GPS, sendo que o primeiro tem efeitos nos dados de navegação (efemérides transmitidas) e na frequência do relógio do satélite, enquanto que o último afeta o acesso ao código P.

O segmento de controle consiste de cinco estações monitoras (Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Springs), três antenas terrestres (Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein) e uma estação principal de controle (MCS, "Master Control Station"), localizada na base aérea de Falcon, em Colorado (EUA), conforme a Figura 6.3.

FIGURA 6.3 Segmento de controle (DANA, 1995)

As estações monitoras rastreiam passivamente todos os satélites, acumulando dados. Esta informação é processada na MCS para determinar as órbitas dos satélites e atualizar a mensagem de navegação de cada satélite. A informação atualizada é transmitida para cada satélite através das antenas terrestres, como pode ser visto na Figura 6.4.

FIGURA 6.4 Esquema do Segmento de Controle em operação (DANA, 1995)

O segmento do usuário consiste das antenas e receptores que fornecem posição, velocidade e tempo para o usuário (ver Figura 6.5).

FIGURA 6.5 Segmento do usuário (DANA, 1995)

O Comando Espacial da Força Aérea dos Estados Unidos, (AFSC, “Air Force Space Command”) declarou a constelação de satélites GPS ter encontrado sua condição de capacidade operacional total (FOC, “Full Operational Capability”), em 27 de abril de 1995, conforme USNO (“United States Naval Observatory”) (1997). As condições incluem 24 satélites operacionais (Bloco II/IIA) funcionando em suas órbitas e teste bem-sucedido para as funções operacionais militares. Para USCG (“United States Coast Guard”) (1997), em 17 de julho de 1995, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, através do Decreto nº. 384-95 anunciou que o GPS alcançou o FOC, tornando-se um sistema de navegação em todo mundo para uso civil e militar.

6.2.2 Características dos sinais GPS

Como já visto no item anterior, os sinais emitidos pelos satélites tem frequências de 1575,42 MHz e 1227,60 MHz. Estas frequências, baseadas numa frequência fundamental de 10,23 MHz, a partir da qual obtém-se a frequência da portadora L1 através do produto desta frequência fundamental por 154 e da mesma

forma para a frequência da portadora L2, multiplicando a frequência fundamental por 120. O comprimento de onda de L1 é de 19 cm, enquanto que L2 tem um comprimento de onda de 24 cm. Foram citados também os dados de mensagem de navegação e os códigos P e C/A. Estas mensagens tem uma frequência de 50 bps (bits por segundo). Nota-se, então, que nas transmissões dos sinais GPS há a presença de três elementos: as portadoras (L1, L2), os códigos (P, C/A) e os dados de mensagem de navegação. Na Figura 6.6 está representada a estrutura básica do sinal GPS (MONICO, 1996).

FIGURA 6.6 Estrutura básica do sinal GPS (MONICO, 1996)

O sinais L1 e L2 podem ser representados pelas seguintes expressões, segundo LEICK (1995):

$$S_1^p(t) = A_p P^p(t) D^p(t) \cos(2\pi f_1 t) + A_c G^p(t) D^p(t) \sin(2\pi f_1 t) \quad (6.1)$$

$$S_2^p(t) = B_p P^p(t) D^p(t) \cos(2\pi f_2 t) \quad (6.2)$$

onde:

A_p, A_c : amplitudes do código P(Y) e código (C/A)

B_p : amplitude do código P(Y)

$P^p(t)$:código pseudo-aleatório P(Y)

$G^p(t)$:código C/A (código “Gold”)

$D^p(t)$:fluxo de dados de navegação.

O superíndice p representa o número PRN(Pseudo Random Noise) do satélite.

6.2.3 Observações e erros nos levantamentos GPS

Os levantamentos GPS podem ser realizados a partir das observações da pseudo-distância e da fase da portadora. A pseudodistância é obtida a partir da multiplicação do tempo de propagação do sinal pela velocidade da luz. Este tempo é determinado através da correlação entre os códigos gerados no satélite com os gerados no receptor. A equação representando este tipo de observação, segundo LEICK (1995), é:

$$P_k^p(t_k) = \rho_k^p(t_{r,k}) - c(dt_k - dt^p) + I_{k,p}^p(t_k) + T_k^p(t_k) + d_{k,p}(t_k) + d_{p,p}^p(t_k) + d_p^p(t_k) + \varepsilon_p \quad (6.3)$$

onde:

$P_k^p(t_k)$: pseudodistância;

$\rho_k^p(t_{r,k})$: distância topocêntrica entre satélite e receptor;

c : velocidade da luz no vácuo;

dt^p :erro do relógio do satélite;

dt_k :erro do relógio do receptor;

$I_{k,p}^p(t_k)$: correção ionosférica;

$T_k^p(t_k)$: correção troposférica;

$d_{k,p}^p(t_k)$: multicaminhamento;

$d_{k,p}(t_k)$ e $d_p^p(t_k)$: atrasos do código do hardware do receptor e do satélite;

ε_p : ruído da medida aleatória.

O subíndice P representa os termos específicos para pseudodistâncias.

A outra observação, fase da portadora, corresponde a diferença entre a fase do sinal recebido pelo receptor com a fase do sinal gerado pelo receptor. A expressão representando esta observação, segundo LEICK (1995), é:

$$\begin{aligned} \varphi_k^p(t) = & \frac{f}{c} \rho_k^p(t) - f \left[1 - \frac{\dot{\rho}_k^p(t)}{c} \right] dt_k + f dt^p + N_k^p(1) + \frac{a^p}{c} \rho_k^p(t) \\ & + I_{k,\varphi}^p(t) + \frac{f}{c} T_k^p(t) + d_{k,\varphi}(t) + d_{k,\varphi}^p(t) + \varepsilon_\varphi \end{aligned} \quad (6.4)$$

onde:

$\varphi_k^p(t)$: fase da portadora observada

$\rho_k^p(t)$: distância topocêntrica

$\dot{\rho}_k^p(t)$: variação da distância topocêntrica

dt^p : erro do relógio do satélite

dt_k : erro do relógio do receptor

N_k^p : ambigüidade da fase

$I_{k,\varphi}^p(t)$: efeito da refração ionosférica

$T_k^p(t)$: efeito da refração troposférica

ε_φ : ruído da fase da portadora

A ambigüidade representa o número inteiro de ciclos no instante inicial. Segundo BLITZKOW (1995), muitas soluções para o problema da ambigüidade foram pesquisadas, dentre elas as seguintes: geométrica; combinações das fases do código e da portadora; procura da ambigüidade e métodos combinados.

As equações e suas variações descritas acima estão intrínsecas nos softwares de processamento de dados GPS disponíveis comercialmente.

Os erros nos levantamentos GPS são causados por diversas fontes e seus efeitos devem ser minimizados e/ou eliminados. MONICO (1996) apresenta na Tabela 6.1 as fontes e os efeitos dos erros no GPS.

TABELA 6.1 Fontes e efeitos dos erros no GPS (MONICO, 1996)

FONTES	EFEITOS
Satélite	Erro da órbita Erro do relógio Relatividade Atraso de Grupo
Propagação do sinal	Refração troposférica Refração ionosférica Perdas de ciclos Sinais refletidos Rotação da Terra
Receptor/Antena	Erro do relógio Erro entre os canais Centro de fase da antena
Estação	Erro nas coordenadas Marés terrestres Movimento do Pólo Carga dos oceanos Pressão da atmosfera

6.3 Inter-relação GPS/SIG

Segundo LEICK (1991), primeiramente o GPS chamou a atenção por ser o meio preferido para a densificação das redes geodésicas, dos levantamentos de precisão para a engenharia e o monitoramento das deformações da crosta terrestre. Em seguida, houve a aceitação rapidamente no mundo da navegação, onde foram atendidas não somente as exigências clássicas dos aviões e embarcações oceânicas, mas também a navegação por lazer, o monitoramento de veículos, de máquinas industriais, etc. E finalmente, o GPS foi considerado recentemente como a maior

ferramenta para proporcionar ou suplementar a referência espacial para o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

O objetivo principal de um SIG é proporcionar a inter-relação espacial dos dados. Muitos progressos se têm efetuado, ultimamente, usando recursos gráficos computacionais para fornecer e mostrar dados espacialmente relacionados.

Os SIGs não estão limitados a uma precisão posicional específica. Sua aplicação é muito variada. Já a teoria geodésica, é comum a todas as referências espaciais e proporciona os fundamentos para relacionar as observações com um sistema de coordenadas bi e tridimensionais.

Portanto, o impacto do GPS nos SIG é de extrema importância. O georreferenciamento de dados é realizado através de estruturas ligadas a redes de controle geodésico ou em áreas onde estas redes existam. O estabelecimento e manutenção das redes de controle é extremamente caro e pode ser substituído pelo posicionamento preciso do GPS.

6.3.1 Planejamento de transportes

Em um exemplo clássico, BOSSLER (1991) descreve que em 1989, o Centro de Mapeamento da Universidade do Estado de Ohio, em cooperação com a NASA, a FHWA (Federal Highway Administration), 38 departamentos de transportes estaduais (DoTs), o Departamento de Transportes em Alberta, Canada, e oito companhias privadas, lançaram um projeto chamado “Aplicação do GPS para Planejamento de Transportes”. O objetivo foi de desenvolver um protótipo de estação de trabalho móvel que poderia coletar alinhamento de rodovias e dados de inventário em velocidades normais de estradas. A estação de trabalho está localizada em uma Van - Ford integrando a tecnologia GPS, onde o automóvel transporta uma antena de um receptor GPS no teto, um SIG em seu interior e se necessário, podem ser incorporados sensores como vídeo câmaras, com o propósito de criar um registro visual do trajeto..

Sabia-se desde o começo do projeto que obstruções de sinais deveriam ocorrer ao longo de rodovias de três pistas, em túneis, perto de prédios, e debaixo de passarelas. Portanto, um dos principais problemas encontrados no campo de testes

foram as perdas de ciclos nas posições determinadas por GPS. Estas perdas foram devidos primeiramente ao bloqueio intermitente dos satélites que resultou na geometria muito pobre com o uso dos satélites remanescentes. O algoritmo de processamento de dados permitiu que os locais determinados pelo GPS fossem ajustados através de uma trajetória determinada inercialmente. Como os resultados não eram exigidos em tempo real, a estratégia utilizada provou adequar a situação de perda de sintonia satisfatoriamente.

O posicionamento exigido pelo DoTs foi de 10 metros e o objetivo do projeto era de 5 metros. Usando pseudodistâncias e medidas de fase da portadora, o primeiro teste indicou uma exatidão de quase 1,5 metros e assim iniciaram os testes estáticos.

A principal tarefa enfrentada no projeto foi de desenvolver uma interface com um padrão de transferência que pode ser mais facilmente acessado em qualquer SIG comercial. No início do projeto a decisão foi a de se usar o Padrão de Transferência de Dados Espaciais (SDTS - Spatial Data Transfer Standard) desenvolvido pelo U. S. Geological Survey. Isto significou que:

- a) Os dados do projeto tem que ser padronizados.
- b) O software (linguagem C foi escolhida para o projeto) deve ser desenvolvido para leitura de dados GPS/SIG e combiná-los com dados auxiliares e escrevê-los no formato SDTS.
- c) Os arquivos SDTS devem ser transferidos para, p. ex., projetos Intergraph.

As aplicações em estradas desta tecnologia são numerosas, por exemplo, nas condições de superfície de estradas que podem ser registradas em qualquer momento pela inclusão de uma base de dados; as situações originais das estradas podem ser obtidas a partir de imagens digitais de cada segmento de estrada; aproximadamente uma vez por ano, imagens de cada segmento de estrada podem ser obtidos e usados para atualizar o arquivos de condições da estrada; estas informação podem ser usadas para monitorar deterioração da estrada, permitindo aos engenheiros de estradas planejar e controlar os reparos na mesma e assim, um melhor planejamento com possível redução dos custos.

Os dados coletados pela Van também puderam ser usados para localizar e rastrear a condição dos atributos da estrada, tais como sinais e pontes. Estes dados, também, puderam ser atualizados anualmente por novas imagens. Esta informação

poderão algum dia ajudar na prevenção de acidentes de tráfego e maximizar a eficiência do monitoramento da estrada.

Uma pesquisa desenvolvida por LOTTI (1997), junto ao Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos trata da proposta de utilização de um método rápido e preciso, o GPS através do método cinemático para determinar a geometria da via. Neste método, um veículo equipado com um receptor GPS percorreu a rodovia e foram obtidas as coordenadas X, Y, Z de um grande número de pontos desta, possibilitando desenhá-la em planta e perfil. Para facilitar a visualização da geometria da via com os dados GPS, propôs-se a construção de uma interface com o Sistema TRANSCAD, que é um software específico de aplicação do SIG nos transportes.

Para analisar a exequibilidade deste método escolheu-se como área a ser levantada, um trecho de pista simples, de 32 km de extensão na Rodovia Fausto Santo Mauro, SP que liga as cidades de Rio Claro e Piracicaba, local escolhido devido ao alto índice de acidentes no trecho, a geometria sinuosa e por existirem possibilidades de duplicação da mesma. Os dados adquiridos antes e depois da duplicação poderão ser utilizados no estudo da relação da geometria da via com a ocorrência de acidentes neste trecho da rodovia

A reconstituição da rodovia foi dividida em duas etapas: o levantamento estático para obtenção dos pontos necessários para a determinação da ambigüidade através do método de linha de base conhecida e para servir como um ponto de referência; o levantamento cinemático foi utilizado para realização do levantamento dos pontos da via.

Os dados do levantamento cinemático foram processados e introduzidos no TRANSCAD, onde foi possível armazenar, além dos dados referentes à geometria, outros dados importantes tais como: acidentes, condições do pavimento, sinalização, tráfego etc.

Das conclusões obtidas destaca-se: o método proposto para o levantamento da seção longitudinal em planta e perfil de uma rodovia através do método cinemático utilizando o GPS, apesar do tempo perdido para resolver a ambigüidade durante o trajeto, mostrou-se rápido e promissor como base geográfica para um SIG de uma rede rodoviária.

MARQUES (1997) também realizou uma experiência semelhante, com o intuito de determinar o perfil longitudinal real de uma via existente, através de levantamentos pelo método clássico do nivelamento geométrico e pelo GPS. Em função dos resultados obtidos nestes levantamentos, foram analisados e comparados os elementos do projeto que receberam influência direta ou indireta, de acordo com a existência de alterações em relação ao projeto original. Foram determinados os comprimentos das distâncias de ultrapassagem e de frenagem.

Foram efetuados levantamentos de cotas visando a definição de elementos de rampas e curvas verticais na via Thales de Lorena Peixoto Júnior, a interligação entre São Carlos e a rodovia Carlos Machado Santana que vai a Ribeirão Preto, concluindo desses levantamentos que o GPS, através das técnicas Cinemática e Stop and Go, trata-se de uma alternativa rápida e que possibilita a não interrupção de fluxos de tráfego, na determinação de coordenadas horizontais e verticais com precisão suficiente ao estudo de perfis verticais.

LOPES (1996), desenvolveu, também junto ao Departamento de Transportes da EESC, pesquisas que indicam que o GPS pode ser usado nos levantamentos de perfis verticais de rodovias existentes, acrescentando ainda que, a partir dos resultados alcançados, é possível definir os elementos de rampas e curvas verticais, cujas localização e caracterização são de fundamental importância na estimativa das condições de contorno para segurança de tráfego, como a distância mínima de visibilidade em função de curvas verticais.

6.3.2 Meio Ambiente

CRISTOFANI (1996) relata que a Nature Conservancy, uma organização de conservação reconhecida internacionalmente, tem desenvolvido uma coleta de dados baseados no GPS para documentar a biodiversidade dos ecossistemas nas Américas Latina e Caribenha. Uma Avaliação Ecológica foi iniciada no laboratório, onde imagens de satélite foram analisadas e continuaram no campo com pesquisas usando GPS para obter informações mais detalhadas.

Muitas das informações científicas exigidas para ajudar na proteção dos ecossistemas tropicais são escassas. Sem a informação suficiente sobre a flora, fauna

e seus habitats, é praticamente impossível administrar as áreas naturais e priorizar os esforços de conservação propriamente. Para tanto, foram empregadas as técnicas REA (Rapid Ecological Assessment) no estabelecimento de planos de administração para parques já existentes e a serem adquiridos para preservação.

Esta metodologia REA tem sido aplicada com sucesso em muitas áreas do mundo como: Pantanal Brasileiro, Floresta Amazônica do Peru, recifes de coral na Jamaica e Belize, nos altos platôs da Venezuela, costa Yucatán do México, Península Osa de Costa Rica, cactos do sudoeste de Cuba, terras do U. S. Department of Defense no Panamá, Parque Nacional Podocarpus no Equador e Parque Nacional del Este na República Dominicana.

No Pantanal, o projeto foi conduzido em conjunto com cientistas brasileiros da Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (FBCN), uma organização não governamental, o IBAMA e a Universidade do Mato Grosso do Sul, com fundos do Programa de Suporte à Biodiversidade.

O trabalho começou no laboratório de sensoriamento remoto e SIG do Conservancy, com uma interpretação preliminar de imagens de satélite digitais de 1989. Estas imagens com cada pixel representando uma área de $28,5 \text{ m}^2$, foram referenciadas geograficamente aos mapas topográficos na escala 1:100.000 da área. Usando um software de SIG foi feita uma classificação preliminar das áreas em que deveriam ser realizadas visitas de campo para observação de plantas, animais e habitats naturais.

Em novembro de 1991, uma equipe de 12 ecologistas, botânicos, zoologistas, especialistas em sensoriamento remoto, operadores de GPS e guias chegaram ao Pantanal.

Foram utilizados : receptores GPS código C/A, L1, imagens de satélite e mapas topográficos.

Ficou constatado que ferramentas tais como SIG, Sensoriamento Remoto e receptores GPS fornecem a possibilidade de coletar as informações precisas, necessárias para tomar decisões sobre conservação da biodiversidade.

6.3.3 Planejamento urbano e rural

De acordo com LACHAPELLE et al. (1996) no passado, agricultores geralmente tratavam um campo inteiro com a mesma quantidade e o mesmo tipo de fertilizante, sem considerar possíveis variações na topografia, salinidade e tipo de solo dentro do campo. Ao aplicar uma quantidade variável e um tipo de fertilizante como uma função da localização dentro do campo, toda a produção da safra pode ser melhorada. Este processo é denominado de agricultura de precisão. A aplicação de fertilizante é determinada a partir de um mapa de prescrição derivado de informações coletadas previamente. Com a prescrição, o fertilizante é aplicado em pequenas parcelas de terra, todo o ganho econômico é melhorado devido às condições do local serem consideradas.

O processo começa com o colheita, quando a produção da safra é monitorada em função da localização. O mapa de produção resultante é usado com outra informação do solo, tais como salinidade, para preparar uma mapa de prescrição a ser usado durante o processo de fertilização para otimizar a difusão do fertilizante.

Um elemento chave da agricultura de precisão é a disponibilidade de um SIG armazenar, combinar e analisar as medidas e os dados derivados, necessários para preparar efetivamente e exatamente o mapa de prescrição exigido. Um outro elemento é a disponibilidade da tecnologia GPS para determinar as coordenadas espaciais para as medições normalmente feitas de uma plataforma móvel, tal como uma colheitadeira. Também o sistema deve ter a habilidade de operar como um sistema de orientação para dirigir a aplicação do fertilizante variavelmente. Um alto nível de integração é exigido entre os segmentos SIG e GPS durante a última operação. Como o fertilizante move-se ao longo de uma trajetória pré determinada, a prescrição do fertilizante para a situação atual é restabelecida a partir de um SIG.

O sistema de posicionamento preciso necessário para determinar as coordenadas espaciais das medidas de campo deve ter uma precisão de 1 metro ou melhor, e deverá estar disponível em tempo real numa base praticamente contínua (< 1 segundo). No modo diferencial, o GPS pode alcançar estas exigências, usando equipamentos de custo relativamente baixo. Posições atualizadas estão disponíveis numa taxa várias vezes por segundo, se exigido. Uma ligação de dados para

transmitir correções diferenciais de uma estação de referência equipada com receptor GPS para uma plataforma móvel, também equipada com um receptor GPS, é necessária se posições em tempo real melhores que 100 metros são exigidas.

Em um projeto de parceria entre a Universidade de Calgary/Canadá e o Departamento de Agricultura de Alberta/Canadá, quatro áreas teste de 200 a 500 hectares na província de Alberta foram selecionadas para um estudo de quatro anos. As áreas variam em tipo de solo, bem como em topografia e condições de salinidade. O projeto começou durante a colheita de 1993 e a expectativa é que continue até 1997. Durante as safras de 1993 e 1994, medidas diferenciais GPS (DGPS) foram obtidas, usando dois métodos que alcançaram precisões de 1 metro e 10 centímetros, respectivamente. As trajetórias de 10 centímetros da colheitadeira foram usadas para construir modelos tridimensionais precisos da topografia para análises de correlações posteriores com outras medidas, tais como salinidade. Na primavera de 1994, 1995 e 1996, o DGPS em tempo real foi usado para aplicar o fertilizante numa taxa variável usando mapas de prescrição desenvolvidos por agrônomos durante o inverno anterior. Pela análise das mudanças da produtividade da safra pela introdução de técnicas de agricultura de precisão, o potencial acrescido em toda a produtividade pode ser analisado.

O uso de SIG e GPS na agricultura esta se expandido rapidamente. De fato, o caso de agricultura de precisão reportado aqui é somente uma das várias aplicações que incluem medidas de salinidade, pulverização e a semeadura aérea ou terrestre da plantação. No futuro, a tecnologia será destinada para atender veículos agrícolas não tripulados.

Como a pesquisa está em andamento, conclusões sobre ganho de produtividade serão obtidas posteriormente.

No projeto realizado por MARQUES et al. (1996), junto a COPEL (Companhia Paranaense de Energia), foi implantado o cadastro de Redes de Distribuição Urbana - RDUs e de Redes de Distribuição Rural - RDRs, utilizando o GPS, tendo por objetivo a confirmação da necessidade de uma base cartográfica confiável e a adequação do cadastro das redes de distribuição de energia elétrica às novas tecnologias. O projeto foi realizado no município de Piraquara, na Região Metropolitana de Curitiba.

Para o cadastro de redes urbanas de distribuição, dois mini receptores GPS de 8 canais com o código C/A (GARMIN) foram empregados no posicionamento de postes em conjunto com uma planilha de informações sobre os mesmos, os quais foram enviados para o banco de dados do sistema GEIDS (Gerência de Redes de Distribuição da COPEL).

No levantamento foi utilizado o método estático de posicionamento, o qual consiste em um dos receptores permanecer sobre o apoio básico e os outros sobre os pontos desejados. Em cada ponto (poste) levantado, foi preenchida uma planilha de informações com dados referentes aos postes.

Após o processamento e análise dos resultados, foram tiradas as seguintes conclusões: verificou-se a grande eficiência do GPS na simplificação e otimização dos trabalhos de campo e escritório, na redução de custos, mão-de-obra, tempo e equipamento técnico utilizado, o cronograma proposto foi plenamente cumprido, ou seja, foram levantados 29 postes em 126 minutos. Considerando uma jornada de 22 dias com 8 horas diárias, observou-se que o cadastro das redes RDUs teve um ganho de $\pm 34 \%$ de produtividade, enquanto que nas redes RDRs obteve-se um ganho de $\pm 20 \%$.

Além disso, foi reduzido o número de técnicos por equipe na realização do cadastramento de três para um.

No projeto desenvolvido por ROMÃO (1996), é descrito que, através de um convênio entre Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), implantou-se uma rede de referência única em todo o estado com o objetivo de definir um SIG para as linhas de distribuição de energia elétrica e para os cadastros técnicos da CELPE, bem como servir de apoio aos cadastros técnicos multifinalitários (CTM) dos municípios pernambucanos. A rede de referência GPS foi implantada numa extensão de 650km X 180km, contendo mais de 76 estações e 150 sessões, utilizando dois receptores de duas frequências, referenciadas a Rede Nacional GPS.

Os resultados obtidos foram suficientes para a realização de uma base de referência espacial para os cadastros técnicos multifinalitários e para as diversas aplicações do SIG, obtendo-se uma precisão relativa de poucos centímetros.

6.3.4 Mapeamento e controle de produtos cartográficos

Em GALO & CAMARGO (1994), são apresentadas as fases do procedimento de controle de qualidade, desde a coleta de dados a partir da utilização do GPS até a classificação do produto de acordo com as Normas Técnicas da Cartografia Nacional em classes A, B ou C em relação a planimetria e altimetria. Essas fases compreendem: a análise da exatidão cartográfica, a medição de pontos de referência no terreno e na carta, as transformações de coordenadas e de datum e a análise estatística. Foi feita uma aplicação prática num produto na escala 1:50000 onde o Campus da UNESP se situa na região central da carta.

Foram realizados rastreios sobre 22 pontos, sendo que o ponto de referência para o posicionamento relativo pertence à RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do IBGE, localizado na Estação GPS da FTC-UNESP.

O procedimento de análise da exatidão cartográfica baseia-se na análise das discrepâncias entre as coordenadas de pontos da carta e as coordenadas dos pontos homólogos obtidos a partir de observações realizadas em campo, consideradas como coordenadas de referência. Dos 20 pontos considerados, mais de 90 % atendeu ao PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) planimétrico, enquadrando-se nas especificações da classe B.

Os autores concluem que a questão da análise da exatidão dos produtos cartográficos deve ser mais difundida, na medida em que novas tecnologias como SIGs, sistemas fotogramétricos digitais, etc., contribuem para a participação de profissionais não especialistas na produção cartográfica, sem no entanto se preocupar com a qualidade geométrica das informações. Também concluem que o GPS pode ser utilizado na determinação de pontos de referência para o controle de qualidade, devendo-se ter os devidos cuidados quanto aos referenciais envolvidos.

Para SLONECKER & CARTER (1990), o rápido crescimento das aplicações de SIG dentro do governo federal dos EUA tem criado interesse em controle de qualidade, exatidão e credibilidade dos dados de SIG, principalmente nas áreas de litígio. A tecnologia GPS fornece meios poderosos de avaliar e quantificar a exatidão espacial de dados de mapas digitais e um novo método móvel de criação de estruturas de dados digitais.

Em 1988, o Environmental Protection Agency (EPA) e o U. S. Geological Survey dos EUA conduziram um projeto piloto para demonstrar o uso da tecnologia SIG no processo de investigação do CERCLA (Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act). O local escolhido para estudo foi em Southington, em Connecticut/EUA.

A base de dados desenvolvida para este projeto continha camadas de escalas grandes e pequenas, embora poucos dados específicos estivessem disponíveis na forma digital para serem utilizados em um SIG. Este problema foi resolvido através de fotogrametria analítica e cartografia digital.

Durante o desenvolvimento deste projeto, a exatidão espacial tornou-se prioridade quando camadas de dados de escalas grande e pequena foram sobrepostos numa escala comum e significantes variações espaciais foram identificadas. O primeiro passo no teste de precisão foi de estabelecer um controle de qualidade na área, que foi feito por um levantamento GPS em dezembro de 1988. Usando pontos bem definidos na foto e três receptores GPS, as coordenadas X, Y e Z foram estabelecidas para nove pontos de controle terrestre em dois dias de observações estática. Resultados de pós-processamento indicaram precisão de fechamento de segunda ordem. Estes pontos de controle foram então usados para recompilar fotogrametricamente os mapa base e para conduzir testes de exatidão em todos os mapas digitais e analógicos usados no projeto.

Na Bacia de San Gabriel em Los Angeles, Califórnia /EUA, em 1989, realizou-se os mesmos procedimentos adotados em Southington. Foram utilizados três receptores GPS portáteis para realizar os levantamentos de precisão espacial e controle de qualidade. Além disso, um terceiro objetivo foi de testar a capacidade de saída de dados espaciais GPS diretamente num programa de gerenciamento de banco de dados SIG. O primeiro passo no teste de precisão do banco de dados foi de avaliar a qualidade da rede digital de transporte. O levantamento GPS na malha viária urbana foi simplesmente percorrer as ruas de San Gabriel com um receptor GPS, digitalizando a rota seguida. Os resultados estão sendo usados para confirmar a exatidão do mapa digitalizado de transporte. No teste e avaliação da conversão de dados GPS para o formato de um programa de gerenciamento de banco de dados de um SIG, o pós-processamento do dados foi modificado a fim de estruturar os dados

de saída em unidades de graus decimais para ser expresso num formato vetorial de SIG. Informação capturada pelos receptores GPS foi registrada em arquivos de entrada definidos pelo usuário com as coordenadas X, Y e Z para cada ponto da coleta de dados. Dependendo da natureza do dado e da aplicação, o arquivo de entrada pode ser gerado como um ponto ou linha. Finalmente, a conversão de dados cinemáticos GPS num formato vetorial de SIG não apresentou problemas.

As principais conclusões dos dois levantamentos GPS do respectivo projeto são de que a tecnologia GPS pode ser usada para fornecer dados de posicionamento de ponto extremamente exatos (1 - 2 centímetros) e que a tecnologia GPS pode ser usada para fornecer dados vetoriais altamente exatos (3 - 5 metros) que podem ser entrados diretamente num programa de gerenciamento de banco de dados de um SIG. As aplicações mais importantes do GPS no EPA são: controle de qualidade, mapeamento digital direto, modelamento de rede e controle fotogramétrico.

Conforme os resultados apresentados, pode-se constatar o grande potencial da tecnologia GPS em inúmeras aplicações na Engenharia, Geodésia, Cartografia, Fotogrametria etc. Em especial, a tecnologia GPS vem sendo, nos últimos anos, de grande valia aos SIG na obtenção e controle de dados.

7 ANÁLISE DE QUALIDADE DE DADOS GEORREFERENCIADOS, UM ESTUDO DE CASO

7.1 Introdução

Com o intuito de atingir os objetivos propostos no capítulo 1, de fixar e demonstrar os conceitos abordados até o presente momento, foi proposta a elaboração de um Estudo de Caso, sendo descritas a seguir as etapas realizadas no desenvolvimento do mesmo.

Enfatizando novamente, que o problema básico do Estudo de Caso se resume na determinação das discrepâncias entre coordenadas de referência (GPS) e as coordenadas a serem avaliadas (Digitalização). Ressalta-se que são muitas as variáveis envolvidas neste processo. A Figura 7.1 ilustra um diagrama das atividades desenvolvidas com o objetivo de solucionar este problema.

Para melhor entendimento, estas atividades desenvolvidas foram divididas em quatro partes fundamentais:

- 1) Definição da área de estudo: obtenção da base cartográfica, seleção e reconhecimento dos pontos de controle;
- 2) Obtenção das coordenadas de referência (GPS): levantamento de campo; equipamentos, software e métodos de posicionamento com o GPS; planejamento e programação das observações; materialização dos pontos; observações GPS; processamento dos dados GPS; transformações de coordenadas; resultados obtidos;
- 3) Obtenção das coordenadas a serem avaliadas através do processo de digitalização manual e os resultados alcançados;
- 4) Análise da qualidade dos dados: cálculo das discrepâncias entre as coordenadas obtidas nos itens 2) e 3) e os resultados alcançados.

FIGURA 7.1 Diagrama das atividades práticas do Estudo de Caso

7.2 Definição da área para o Estudo de Caso

Os critérios determinantes na escolha da área a ser estudada foram:

- acessibilidade aos locais dos levantamentos de campo;
- disponibilidade de equipamentos e softwares, tanto para tratamento dos dados GPS como para os dados digitalizados;
- exigência de que existissem cartas da área em escala grande de procedência e qualidade geométrica conhecidas.

Optou-se pela área urbana do município de São Carlos-SP ao constatar-se o preenchimento de todos os requisitos anteriormente citados.

7.2.1 Obtenção da Base Cartográfica

No Brasil, infelizmente, a disponibilidade de produtos cartográficos de boa qualidade e compatíveis com os projetos propostos fica muito aquém do desejado. Só para ilustrar, no site <http://tiger.census.gov> de uma instituição americana estão disponíveis cartas digitalizadas nas quais pode ser alterada a qualidade do produto e a escolha o tipo de informação que se deseja da carta.

Foram estabelecidos contatos com o IBGE (escritório regional), onde foi constatada a disponibilidade de cartas da região de São Carlos na escala de 1:50000, em papel de boa qualidade datadas de 1973. Também foram mantidos contatos com o ERPLAN (Escritório Regional de Planejamento), que tem acesso a produtos cartográficos pertencentes ao IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico, órgão da Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo), onde foi verificada a possibilidade da aquisição de cartas da região na escala 1:10000, datadas de 1990, porém em cópias heliográficas. Na escala de 1:50000, a área urbana do município de São Carlos está situada em uma carta, enquanto na escala 1:10000, a mesma área encontra-se distribuída em cinco cartas (SÃO CARLOS I, SÃO CARLOS II, SÃO CARLOS III, SÃO CARLOS IV, SÃO CARLOS V).

Sabe-se que na análise de qualidade de produtos cartográficos, erros originados devido ao tipo de papel da base cartográfica devem ser evitados, sendo o ideal, a aquisição de originais cartográficos como por exemplo cronaflex ou poliéster. Mas, de acordo com CINTRA & SANTIAGO (1995), 94,6% do total de vendas de produtos cartográficos realizados pelo IGC no período de julho/94 à março/95 foram de cópias heliográficas. Assim, levando-se em consideração:

- i) que a grande maioria é de usuários de cópias heliográficas;
- ii) as escalas das cartas disponíveis, observando-se aqui que todo embasamento teórico sobre análise da qualidade de cartas diz respeito à cartas de escalas grandes (1:20000 e maiores);

iii) a fácil identificação de pontos homólogos na carta e no terreno, por conter a região menos suscetível às grandes alterações (central) e pelo ano do produto, optou-se pela folha SÃO CARLOS I (SF-23-Y-A-I-1-NO-B) do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, na escala 1:10000, projeção UTM.

7.2.2 Seleção e reconhecimento dos pontos de controle

A carta SÃO CARLOS I abrange uma área que contém 24 quadrículas situadas no Fuso 23 (meridiano central: 45° W Greenwich) entre as coordenadas UTM (E,N) definidas: (197000,7560000), (197000,7564000), (203000,7564000) e (203000,7560000). Esta foi a área escolhida para o estudo de caso, onde selecionou-se os pontos de controle.

Assim, visando uma distribuição homogênea dos pontos, nesta área de 24 quadrículas, escolheu-se na carta pelo menos um ponto bem definido em cada uma delas, com a intenção de que, a priori, estivessem próximos ao centro da quadrícula.

Devido à um reconhecimento prévio, atentou-se para o fato de que possíveis dificuldades seriam encontradas em decorrência da desatualização da carta. Uma área que abrange 6 quadrículas aproximadamente, sofreu grandes transformações devido a urbanização e descaracterização em relação à carta e como a localização bem definida dos pontos não foi possível, com um mínimo de precisão exigida, optou-se pela análise da carta somente na área em que este problema não acontecia. Assim, aplicou-se a análise em uma área de dimensões mais reduzidas do que a prevista, não alterando porém a validade da mesma.

As quadrículas foram numeradas de 1 a 24 e cada ponto escolhido recebeu a nomenclatura PQN, onde P corresponde a ponto, Q a quadrícula e N o número da quadrícula, com exceção do ponto PQCORNER localizado em um dos cantos do campo de futebol da EESC-USP. No caso da existência de mais de um ponto em uma quadrícula, acrescentou-se uma letra, obedecendo a ordem alfabética, como por exemplo o ponto PQ5A.

Para a aceitação ou não dos pontos escolhidos no planejamento considerou-se alguns critérios, como descritos a seguir:

- ♦ As observações GPS requerem boas condições de recepção de sinais emitidos pelos satélites. Uma vez que os sinais transmitidos podem ser absorvidos, refletidos ou refratados por objetos próximos à antena ou entre a antena e o satélite, o horizonte em torno da antena deve estar desobstruído acima de um ângulo de 10° . O gráfico polar da distribuição dos satélites foi utilizado para avaliação da influência da obstrução na trajetória dos satélites, como descrito no item 7.2.1;
- ♦ São considerados locais impróprios, os locais próximos a estações de transmissão de microondas, radares, antenas radioreceptoras e linhas de transmissão de alta voltagem, que são fontes de interferência para os sinais GPS;
- ♦ O efeito do multicaminhamento que é causado pela reflexão dos sinais emitidos pelo satélite em objetos metálicos ou outras superfícies refratoras, pode ser minimizado verificando-se se a área situada a 50 metros da estação está livre de estruturas artificiais ou superfícies naturais refletoras;
- ♦ As condições de acesso devem ser consideradas na seleção de uma nova estação;
- ♦ É necessário garantir a estabilidade da estação, considerando-se que o GPS fornece resultados de alta qualidade para posicionamentos geodésicos.

No reconhecimento dos pontos em questão, considerou-se as recomendações descritas anteriormente e, por consequência, alguns pontos escolhidos no planejamento foram alterados. A distribuição dos pontos na área de estudo pode ser vista na Figura 7.2.

FIGURA 7.2 Distribuição dos pontos na área de estudo

7.3 Obtenção das coordenadas de referência (GPS)

7.3.1 Levantamento de campo

Antecedendo o levantamento de campo, investigou-se se realmente o GPS atenderia as exigências de precisão para este tipo de avaliação. Esta investigação baseou-se na seguinte premissa: os pontos deveriam ser determinados por procedimentos nos quais os erros não fossem superiores a $1/3$ do Erro Padrão (EP), para a classe que se espera que a carta tenha (mais detalhes, no capítulo 4). Assim, calculou-se a tolerância mínima para os pontos, tomando como parâmetro, uma carta de classe A. Vale salientar que no caso em estudo, considerou-se somente as tolerâncias planimétricas. Como a tolerância é de $1/3$ do Erro Padrão, e este erro é de 0,3 mm na escala da carta, resulta numa tolerância de 1 metro para a escala de 1:10000 (escala da carta utilizada no estudo). O GPS, quando empregado para fins de levantamentos geodésicos tem alcançado precisão centimétrica e até sub-centimétrica o que condiz perfeitamente com a tolerância exigida em relação ao EP.

Cumpridas estas exigências preliminares, a próxima etapa coube ao levantamento de campo propriamente dito, onde utilizou-se receptores GPS do Laboratório de Mensuração do Departamento de Transportes da EESC-USP.

7.3.2 Equipamentos, software e métodos de posicionamento GPS

A precisão geodésica só é alcançada com o posicionamento relativo e o método estático, justificando-se a escolha dos mesmos no presente trabalho, onde pelo menos dois receptores foram utilizados. O Laboratório de Mensuração do Departamento de Transportes da EESC-USP possui os seguintes equipamentos:

- ♦ GPS 01 – Sensor GPS SR 9400 com Receptor de 12 canais para medidas do código C/A e Antena AT201, Controladora CR333, da marca LEICA.
- ♦ GPS 02 – Sensor GPS SR 9400 com Receptor de 12 canais para medidas do código C/A e Antena AT 201, Controladora CR 333, da marca LEICA.

♦ GPS 03 – Sensor GPS SR 261 com Receptor de 8 canais para medidas do código C/A e Antena AT 201, Controladora CR 333, da marca LEICA.

Havia a possibilidade do uso de equipamentos de diferentes fabricantes disponíveis, reduzindo o tempo de levantamento, mas de acordo com IBGE (1992), apesar de ser admissível o uso de diferentes receptores, cada tipo de antena possui sua própria definição do centro de fase, que varia inclusive, com a direção do satélite que está sendo rastreado, recomendando-se o uso do mesmo tipo de antena para todos os receptores afim de minimizar os erros em consequência desta variação. Para evitar a ocorrência deste tipo de erro, optou-se pela utilização dos equipamentos de mesmo fabricante.

O software destinado a programação da missão do levantamento de campo e ao pós-processamento dos dados obtidos no levantamento GPS foi o SKY (STATIC KINEMATIC) versão 2.0 desenvolvido pela LEICA. Este software consiste de uma rotina de cálculo executável em ambiente Windows da Microsoft. Pode-se usar para o planejamento de missão, processamento de dados, ajustamento de rede e transformação de datum. Além disso, dados de outros receptores podem ser importados e processados usando-se o formato RINEX.

O programa SKY (LEICA,1997) contém os seguintes componentes (ver Figura 7.3):

- a) **Configuration:** permite ao usuário configurar o cabeçalho que aparecerá em todas as saídas que o programa possibilita. Além disso, pode configurar o tipo de Programa a ser utilizado e os parâmetros para o sistema adotado.
- b) **Preparation:** contém três submenus (Survey Design, Attributes, Waypoints). Survey Design permite mostrar e imprimir informações do satélite de várias formas e introduzir possíveis obstruções de sinais (construções, árvores, etc.) para um certo local afim de encontrar o intervalo de tempo mais adequado para as observações de satélites. Uma lista de atributos e de waypoints pode ser definida e introduzida a partir da controladora.
- c) **Project:** todos os dados GPS coletados estarão organizados dentro de um único projeto, contendo informações relacionadas a um determinado trabalho.

- d) **Import:** usado para transferir dados para o SKY. É possível transferir observações GPS para pós-processamento de um ponto, além de registrar as coordenadas através da opção RT-SKY.
- e) **Data Processing:** processa as observações GPS coletadas no campo para obtenção das coordenadas WGS-84 e suas exatidões relativas. Os dados obtidos através de métodos estático, rápido estático, stop and go, cinemático, cinemático on the fly e reocupação podem ser processados.
- f) **View/Edit:** os dados contidos no Project podem ser vistos e editados graficamente usando este componente.
- g) **Adjustment** (opcional): fornece recursos para realizar o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados de uma rede de vetores no sistema de coordenadas WGS-84. Dados podem ser importados diretamente de qualquer projeto SKY ou de um arquivo ASCII.
- h) **Datum/Map** (opcional): permite transformar coordenadas do sistema WGS-84 para um sistema local através de parâmetros de transformação. As principais funções deste componente são: estabelecer coordenadas, elipsóides, parâmetros de transformações e projeções; determinar parâmetros de transformação; definir e aplicar as projeções; definir o modelo do geóide e transformar coordenadas de um sistema em outro.
- i) **Utilities:** contém programas para comunicação com a controladora e o sensor.
- j) **RINEX:** formato padrão para os dados GPS. O SKY fornece uma saída no formato RINEX, além de permitir uma entrada de dados neste formato via a componente Import.

FIGURA 7.3 Menu principal do programa SKI (LEICA, 1997)

7.3.3 Planejamento e programação das observações

Definidos os pontos a serem observados e os equipamentos utilizados, realizou-se um planejamento do levantamento de campo para evitar que o número reduzido de satélites disponíveis no momento das observações prejudicasse ou até inutilizasse o levantamento.

O planejamento das observações concretizou-se com o emprego do software SKY, da opção **Preparation**. Nesta opção, podem ser analisados gráficos como nas Figuras 7.4 e 7.5.

FIGURA 7.4 Disponibilidade dos satélites (LEICA, 1997)

Time	Sats	PDOP	GDOP	Satellite Nos
09.00	6	1.23	3.46	4 5 7 9 24 26
09.10	6	1.24	2.93	4 5 7 9 24 26
09.20	6	1.31	3.21	4 5 8 9 24 26
09.30	6	1.31	3.12	4 5 8 9 24 26
09.40	6	1.31	2.96	4 5 8 9 24 26
09.50	6	1.33	2.77	4 5 8 9 24 26
10.00	6	1.35	2.60	4 5 8 9 24 26
10.10	6	1.44	2.91	4 5 6 8 9 24
10.20	7	1.31	2.89	4 5 6 8 9 24 30
10.30	7	1.31	3.00	4 5 6 8 9 24 30
10.40	8	1.16	1.98	4 5 6 8 9 10 24 30
10.50	8	1.15	2.06	4 5 6 8 9 10 24 30
11.00	8	1.14	2.15	4 5 6 8 9 10 24 30
11.10	7	1.31	2.84	5 6 8 9 10 24 30
11.20	7	1.28	3.11	5 6 8 9 10 24 30
11.30	7	1.25	3.39	5 6 8 9 10 24 30
11.40	8	1.10	2.91	5 6 8 9 10 17 24 30
11.50	8	1.10	3.02	5 6 8 9 10 17 24 30
12.00	8	1.10	2.99	5 6 8 9 10 17 24 30
12.10	8	1.11	2.85	5 6 8 9 10 17 24 30
12.20	8	1.12	2.63	5 6 8 9 10 17 24 30
12.30	9	1.01	1.95	5 6 8 9 10 17 24 25 30
12.40	8	1.11	2.45	5 6 8 10 17 24 25 30
12.50	7	1.21	2.79	5 6 8 10 17 25 30
13.00	7	1.20	2.63	5 6 8 10 17 25 30
13.10	8	1.10	2.13	5 6 8 10 17 23 25 30
13.20	8	1.10	2.11	5 6 8 10 17 23 25 30
13.30	8	1.11	2.06	5 6 8 10 17 23 25 30
13.40	8	1.11	1.99	5 6 8 10 17 23 25 30
13.50	8	1.12	1.90	5 6 8 10 17 23 25 30
14.00	7	1.24	3.04	5 6 10 17 23 25 30

FIGURA 7.5 Ilustração da tabela de disponibilidade dos satélites (LEICA, 1997)

A fase seguinte consistiu na preparação dos receptores, executada por intermédio de comandos básicos da controladora, relacionados abaixo:

- 1) No menu principal da controladora criou-se uma missão ativando o submenu **MISSION**. Esta missão é a maneira através da qual a

controladora gerencia o sensor durante a aquisição de dados. Uma missão pode ser configurada de diferentes modos. Cada missão é criada, configurada e armazenada. Quanto ao modo de operação destas missões tem-se: Estático, Stop and Go e Cinemático.

- 2) No submenu **Configuration** selecionou-se o tipo de sensor utilizado na opção **Sensor and Antenna**.

Antes de realizar qualquer coleta de dados, deve-se criar dentro da missão, um Projeto e um Job na controladora. Cada **Job** vinculou-se a um **Project**, que por sua vez, pode conter vários Jobs.

- 3) Para a criação de um projeto, acionou-se o submenu **Select/Enter** do menu principal e aí acrescentou-se nomes e demais informações do **Project**.
- 4) No mesmo submenu **Select/Enter** aciona-se **Job** e coloca-se informações tais como: nome, operador, fuso etc.

Todos os comandos acionados no submenu **Select/Enter**, possuem opções de busca, cancelamento e adição

- 5) São selecionadas coordenadas aproximadas do ponto de referência na opção **Select/Enter Point**.

Feitos estes procedimentos, partiu-se para o levantamento propriamente dito.

7.3.4 Materialização dos pontos

Sabe-se que, os produtos cartográficos são submetidos a um processo de generalização em função da escala da carta.

Na carta de escala 1:10000, as esquinas (pontos escolhidos pela sua alta definição), são representadas pelo encontro de retas num ângulo de aproximadamente 90°, o que não acontece no terreno.

O artifício utilizado foi o de materializar o encontro destas retas através do prolongamento dos meios-fios, adotando-se o encontro deles, como o ponto a ser determinado.

Como tais pontos encontram-se sobre as vias, a materialização dos mesmos foi feita com auxílio de "pregões" (bitola: 4 ¼ × 5) e a sinalização consistiu da pintura, com tinta apropriada na cor amarela, de um círculo no qual os pregões foram

cravados no centro e ao lado, foi feita a identificação dos pontos, como pode ser visto na Figura 7.6.

FIGURA 7.6 Materialização dos pontos

7.3.5 As observações GPS

Nas observações GPS, o modo estático de curta duração (escolhido devido a curta distância entre a estação de referência e os demais pontos), requer no mínimo dois sensores GPS em operação simultaneamente (um no ponto de referência e outro no ponto que se deseja determinar as coordenadas). No caso em questão, a estação de referência foi o ponto STT/EESC/USP, situado sobre o Laboratório de Mensuração. Obteve-se este ponto a partir da rede geodésica GPS do Estado de São Paulo (vide SEGANTINE, 1995). As coordenadas deste ponto são $\varphi = 22^\circ 00' 17,784''$, $\lambda = 47^\circ 53' 57,02''$, $h = 822,052$ m e os pontos a serem determinados são os 23 pontos escolhidos previamente. Os relatórios de ocupação destes pontos são apresentados no Anexo B.

7.3.5.1 Estacionamento da antena receptora

Tanto na estação de referência quanto na que se deseja determinar, colocou-se a antena receptora sobre uma base, nivelou-a e mediu-se a sua altura em relação ao ponto, efetuando-se a leitura até o milímetro.

7.3.5.2 Início e término das observações

O procedimento de campo para inicializar e finalizar as observações foi o seguinte:

- 1) Na controladora selecionou-se a missão desejada no menu **MISSION** e escolheu-se a opção **RUN**, que ativa esta missão;
 - 2) Selecionou-se o **Project** e o **Job** escolhidos;
 - 3) Definiu-se a taxa de observação, isto é, o intervalo de tempo entre a gravação de observações consecutivas, que depende da técnica de posicionamento utilizada no levantamento. Geralmente, quanto maior a taxa de observação, mais fácil é a detecção e correção de perdas de ciclos. Por outro lado, uma taxa alta gera arquivos muito grandes, dificultando a manipulação. No trabalho em execução, em concordância com a precisão exigida e tratando-se do posicionamento pelo método estático, assumiu-se como ideal a taxa de 5 segundos. Assim, a cada 5 segundos tem-se um registro da observação ou época. Esta taxa é introduzida na opção **SET Data Collection Parameters**, onde também selecionou-se **COMPACTED** (para se ter a média das observações dos satélites para cada época);
 - 4) Na opção **SURVEY-STS** (de estático), é feita a identificação do ponto, da altura e do offset da antena (0.039 m), observa-se o GDOP e opta-se por **MEAS** para iniciar as observações, notando-se o registro do número de épocas observadas;
 - 5) Terminadas as observações, aciona-se o **STOP, REC-PT** (para armazenar os dados) e **EXIT-M** (de fim da missão), voltando-se ao menu principal.
- O processo é o mesmo para o ponto que se deseja determinar as coordenadas.

7.3.5.3 Duração da sessão de observação

A duração ótima da sessão de observação depende de vários fatores, tais como precisão exigida, geometria dos satélites, atividade ionosférica, tipo de receptores, comprimento das linhas de base, probabilidade de ocorrência de

muticaminhamento da onda, software utilizados, etc. Por se tratarem de pontos localizados a uma distância máxima de 5 km da estação fixa (referência) utilizando-se o modo estático de curta duração, adotou-se uma duração de 30 minutos para os pontos mais próximos da estação (até 2,5 km) e 40 minutos para os mais distantes.

7.3.6 Transferência e Processamento dos dados GPS

Primeiramente, criou-se um projeto no software SKY, na opção **Project**, destinado aos dados transferidos. Em seguida, foram cumpridas as seguintes etapas:

- 1) Simultaneamente ativou-se as opções **TRANSFER** na controladora e **IMPORT** no software, efetivando-se desta maneira a transferência dos dados para o software de processamento. Inicia-se então a componente **Data Processing**.
- 2) Nesta componente define-se as áreas de trabalho de acordo com os dias das observações para o processamento (ver Figura 7.7).

FIGURA 7.7 Componente *Data Processing* (LEICA, 1997)

- 3) Escolheu-se nesta etapa entre a seleção automática e manual para definir os pontos (se são de referência ou a serem avaliados) (ver Figura 7.8)

pelas opções **Auto Select** e **Manual**. No presente trabalho optou-se pela **Manual**.

FIGURA 7.8 Escolha da seleção dos pontos (LEICA, 1997)

- 4) Ativou-se a opção **COMPUTE**, calculando-se as coordenadas dos pontos e obtendo-se a visualização dos resultados na opção **RESULT** (ver Figura 7.9).

Point id	Reference	oLat	oLon	oh	A	Stored	Type
P002	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P003	STT-USP	0.000	0.000	0.000	Y	no	STS
P005	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P005A	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P006	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P007	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P010	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P011	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P011A	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P012	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P015	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P016	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P017A	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P018B	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P018C	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P021	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P022	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P023	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P024	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P024	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS
P0CORNER	STT-USP	0.000	0.000	0.001	Y	no	STS

FIGURA 7.9 A opção **RESULT** (LEICA, 1997)

Nos resultados, todas as bases calculadas apresentam-se juntamente com os desvios-padrão das coordenadas em metros, com a resolução da ambigüidade e o tipo de levantamento, além de informações adicionais.

Ainda na opção **RESULT**, encontram-se opções que fornecem a possibilidade de impressão dos resultados (**PRINT**); salvamento de uma informação selecionada (**FILE**); armazenamento dos resultados num banco de dados SKY (**STORE**); visualização dos resíduos de cada observação do satélite (**RESIDUAL**); produção de um arquivo ou resumo do cálculo (**LOG**).

Aqui, cabem algumas considerações quanto a resolução da ambigüidade, tão importante na qualidade dos resultados. Na opção **RESULT** mostra-se indicadores da resolução da ambigüidade, assim, pode-se ter:

- Y para a ambigüidade resolvida;
- Y* para um nível de confiança de 99,9% de resolução da ambigüidade;
- N para ambigüidade não resolvida;
- ? para se alguma tentativa foi feita para ser resolvida.

Considerações devem ser feitas também sobre a opção **LOGFILE**, que fornece informações detalhadas dos cálculos. São citadas, entre outras, as de maior relevância para a dissertação em questão.

Processing Parameters: contém a máscara de elevação, modelos troposféricos e ionosféricos, efemérides, dados utilizados, frequência de fase, frequência do código limite para resolver as ambiguidades, RMS a priori, processamento de fase e outros.

Satelite Selection: indica se omitiu-se algum satélite no processamento dos dados.

Initial coordinates: apresenta as coordenadas iniciais de cada ponto.

Processing Information: mostra os tipos de sensores e antenas utilizados nas estações, o número total de medidas, o número total de ambigüidades, etc.

Cycle Slip Information: aponta a perda ou não de ciclos.

Final coordinates: Fornece as coordenadas finais nos sistema WGS-84, bem como as componentes dos vetores e desvios padrão nos sistemas Cartesiano (X, Y, Z) e geodésicos (φ, λ, h) .

7.3.7 Transformação de coordenadas e Datum

As coordenadas dos pontos (X, Y, Z) no sistema WGS-84, adquiridas a partir do processamento de dados no software SKY foram submetidas a transformações de coordenadas e datum como foi descrito no capítulo 3 e conforme representado abaixo

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS84} \Rightarrow \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SAD69} \Rightarrow \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{C.ALEGRE} \Rightarrow \begin{bmatrix} \varphi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}_{C.ALEGRE} \Rightarrow \begin{bmatrix} E \\ N \end{bmatrix}_{C.ALEGRE}$$

Para tanto, utilizou-se o programa TRANSCOOR elaborado por CHAVES (1997), que possibilita a execução destas transformações, partindo-se da fixação de um datum e em seguida optando-se pela transformação desejada. Dentre as opções encontradas no TRANSCOOR, tem-se:

- 1) Escolha de Datum (WGS-84, SAD-69, Córrego Alegre e Outro (bastando inserir os parâmetros do mesmo));
- 2) Escolha da transformação (Geodésica em Cartesiana, Cartesiana em Geodésica, Transformação de Datum, Geodésica em UTM e UTM em Geodésica).

O programa TRANSCoor foi concebido na linguagem FORTRAN 90, para ser executado em ambiente Windows. Os parâmetros e equações usados na elaboração deste programa foram os apresentados nos itens 3.4 e 3.5. desta dissertação. A Figura 7.10 exibe a tela inicial do TRANSCoor.

FIGURA 7.10 TransCoor (CHAVES, 1997)

7.3.8 Resultados

Efetuadas as transformações, tem-se como resultado, as coordenadas (E, N) no datum Córrego Alegre, como podem ser visto na Tabela 7.1.

TABELA 7.1 Coordenadas obtidas do levantamento GPS

Ponto	E	N
PQ02	198.834,137	7.563.728,319
PQ03	199.482,390	7.563.481,523
PQ05	201.436,084	7.563.795,813
PQ05A	202.860,191	7.563.876,569
PQ06	202.788,657	7.563.134,939
PQ09	199.703,867	7.562.483,142
PQ10	200.777,209	7.562.565,809
PQ11	201.264,664	7.562.776,121
PQ11A	201.089,624	7.562.048,720
PQ12	202.599,603	7.562.518,071
PQ15	199.614,857	7.561.406,927
PQ16	200.425,075	7.561.206,206
PQ17	201.435,670	7.561.185,780
PQ17A	201.948,994	7.561.045,154
PQ18	202.218,440	7.561.790,866
PQ18A	202.203,042	7.561.688,805
PQ18B	202.337,724	7.561.402,309
PQ18C	202.889,795	7.561.097,723
PQ21	199.484,403	7.560.234,819
PQ22	200.654,898	7.560.548,782
PQ23	201.251,008	7.560.535,064
PQ24	202.692,412	7.560.584,502
PQCORNER	200.808,228	7.563.597,977

A partir deste momento, estas coordenadas são assumidas como conhecidas (de referência), sendo designadas de E^C e N^C .

7.4 Obtenção das coordenadas a serem avaliadas através do processo de digitalização

De posse das coordenadas GPS (E^C , N^C) dos pontos, a próxima fase consistiu na obtenção das coordenadas a serem avaliadas (E^A , N^A) via mesa digitalizadora ou digitalização manual.

Apesar da pesquisa ser direcionada à avaliação qualitativa e quantitativa dos dados digitais, propositadamente criou-se situações que retratassem, com fidelidade, os procedimentos usados quotidianamente neste processo de conversão de dados, não havendo preocupação, portanto, com a ocorrência de condições e resultados ideais, não condizentes com a realidade, e esta conduta seguiu-se durante todo processo de digitalização.

7.4.1 Digitalização manual

A digitalização manual é um processo de conversão de dados analógicos para o meio digital e além da mesa digitalizadora necessita-se da utilização de um software (CAD) para viabilizar este processo. Esta viabilidade relaciona-se com os comandos que possibilitem integração da mesa digitalizadora ao CAD, a adequação do sistema de coordenadas da carta à mesa, a representação fiel e precisa das feições digitalizadas (desenho e edição), a importação e exportação de arquivos em formatos padrão como o DXF.

Encontram-se disponíveis duas mesas digitalizadoras no Departamento de Transportes: a mesa Summagrid IV da Summagraphics, com resolução de 100 lpmm (linhas por milímetro); para papel de formato A0; com os dados nos formatos ASCII; precisão de $\pm 0,25\text{mm}$; com cursor de 16 teclas e a mesa SummaSketch II Plus da Summagraphics, com resolução de 100 lpmm; para papel no formato A4; com os dados no formato ASCII; precisão de $\pm 0,25\text{mm}$; com cursor de 4 botões. As duas foram usadas, como pode ser visto nos próximos tópicos.

Existem vários softwares comerciais que preencheriam as exigências acima, como por exemplo: o TOSCA V2.12, o Maxi CAD e o AutoCAD. O software adotado no presente trabalho foi o AutoCAD versão 13 da AutoDESK, por satisfazer

as exigências, pela sua disponibilidade no Departamento de Transportes da EESC-USP e pela sua popularidade nas mais diversas áreas.

7.4.1.1 A digitalização manual com o AutoCAD 13.

Alguns procedimentos devem ser seguidos precedendo o processo de digitalização:

- a) Para que o AutoCAD reconheça a mesa digitalizadora, precisa-se configurar no AutoCAD através da opção **Option Configure** e nunca ligá-la depois do software estar ativado, devendo-se reinicializar o computador neste caso;
- b) Deve-se verificar o sistema de unidade e a precisão assumidos na opção **Data Units**;
- c) A carta deve ser fixada sobre a superfície da mesa, livre de dobras e rugosidades, de preferência com o Norte da carta coincidente com o da mesa.

No estudo de caso, procurou-se estabelecer uma rotina de procedimentos, tanto na calibragem da mesa digitalizadora, quanto na digitalização e edição dos dados.

Selecionou-se então a opção **Option Tablet Calibrate**, que aciona a mesa para a calibragem, vista com detalhes no capítulo 5.

Assim, com a opção Calibrate digitalizou-se os quatro pontos extremos da área de estudo definidos no item 7.1.1.2, no sentido horário. Para cada ponto digitalizado, necessita-se das coordenadas X e Y no sistema de coordenadas que deseja-se que estejam os dados digitais (UTM). A Figura 7.11 ilustra este procedimento.

FIGURA 7.11 Pontos de calibragem da mesa.

Calibrada a mesa, processou-se então a transformação entre as coordenadas, descrita no capítulo 3. Relaciona-se na janela AutoCAD Text Window as características de cada transformação, após a calibragem. Entre estas características encontram-se os valores de RMS, que são comparados com valores de RMS máx da Tabela 5.1. Particularmente, para o estudo de caso, na escala 1:10000, tem-se um valor de RMS máx de 3,090 m. Aprovou-se as calibrações que alcançaram valores inferiores a este parâmetro. A transformação selecionada neste estudo foi a transformação Afim, opção justificada também no capítulo 3. A Figura 7.12 mostra a janela AutoCAD.

FIGURA 7.12 A janela AutoCAD Text Window

7.4.1.2 Comandos utilizados na digitalização dos dados

Sabe-se, pelo item 5.6.1.4 que os modos de digitalização empregados na digitalização manual são o ponto-a-ponto e o contínuo. Nesta dissertação, foram basicamente digitalizados os contornos das quadras com os seus cantos definidos pontualmente, visando obter-se maior precisão, e somente feições planimétricas. O modo ponto-a-ponto revelou-se o mais adequado, pois no modo contínuo, não se tem a certeza de que as esquinas sejam representadas por pontos ou segmentos de retas, além de ser um modo propício para as representações de grandes curvas e feições altimétricas.

Os comandos mais usados na digitalização foram, a partir da opção **Tools Toolbars Draw**, de acordo com o Help do AutoCAD 13:

Point: através deste comando cria-se um ponto que pode atuar como nó ou ponto de atração de objetos. Utilizou-se este comando quando aplicou-se o teste em que não foram digitalizados os contornos das quadras e sim os pontos de interesse, ou seja, somente os pontos que tinham coordenadas conhecidas.

Pline: com este comando, cria-se polilinhas, que são segmentos de reta de dimensões escolhidas pelo operador, podendo ou não se encontrar na origem. Este comando permite que o operador acione o mouse mais vezes nos trechos curvos e menos nos retos, estando aí o bom senso em representar ou não a feição como ela é. Este comando também apresenta vantagem no momento da edição dos dados, pois cada segmento possui nós nas extremidades, bastando acionar o desejado na edição, o que não acontece por exemplo com o comando **Line**, que pode conter vários nós em um mesmo segmento.

Vale ressaltar aqui, a inclusão de comandos como Esc, Erase, Zoom, etc., também utilizados na edição dos dados e descritos no próximo tópico.

7.4.1.3 Comandos utilizados na edição dos dados

Cabe à edição dos dados algumas tarefas tais como: ajuste de nós, coincidência de linhas que se encontram em quadrículas adjacentes, estabelecimento de equidistância entre curvas, etc.

Na execução destas tarefas, os comandos mais usados a partir da opção **Tool Toolbars Modify** foram:

Aerial view: é uma ferramenta de navegação. O operador pode visualizar o desenho em uma janela separada, movendo para onde desejar;

Break: com este comando partes dos objetos (linhas ou polilinhas) podem ser apagadas ou o objeto pode ser particionado, útil nas regiões limítrofes do desenho;

DXFout: por intermédio deste comando, acionado via barra de comandos, é possível converter arquivos gráficos (no formato dwg) em arquivos no formato DXF, de onde são extraídas as coordenadas dos pontos digitalizados;

Erase: apaga um objeto selecionado;

Esc: cancela o comando em vigor (aciona-se na barra de comandos);

Extend: prolonga um objeto para que se encontre como outro objeto;

Offset: cria círculos concêntricos, segmentos de reta paralelos e curvas paralelas. Este comando teve seu uso restringido, pois a intenção era de utilizar o menor número possível de comandos que mascarassem os resultados, por exemplo, o paralelismo entre quadras pode ter um bom efeito visual, no entanto, pode não representar a realidade;

Pan: move a apresentação do desenho na tela;

Pedit: edita polilinhas (mais usado quando o desenho é muito detalhado);

Object Properties: muda as propriedades dos objetos, como cor, layer, tipo de linha e estilo de texto.

Redraw: remove os BLIPS marcadores e resíduos de tela (pixeis perdidos);

Trim: elimina o excedente de objetos até o limite de corte definido por outros objetos;

Zoom: são várias as opções deste comando, usando-se mais **Zoom all** e **Zoom Window**, que apresentam o desenho todo na tela e em uma janela respectivamente.

É óbvio que estes comandos ficam ativos com os objetos devidamente selecionados.

No desenvolvimento deste trabalho, usou-se o recurso de personalizar uma barra de ferramentas com os comandos mais utilizados, como na Figura 7.13, o que implicou em ganho de tempo.

FIGURA 7.13 Barra de ferramentas personalizada.

Uma observação importante deve ser feita no que diz respeito à organização do trabalho. Uma carta na escala 1:10000 é um documento repleto de detalhes. Ao ser digitalizado, sugere-se a adoção de métodos para que todos estes detalhes sejam

registrados. Para exemplificar: efetuar a captura de dados sempre obedecendo uma ordem predefinida; na edição, mudar a cor dos dados já editados; no ajuste de nós clicar duas vezes sobre o ponto para certificar se realmente é um só ponto. São minúcias que, ao serem consideradas, certamente refletirão em resultados de melhor qualidade.

7.4.2 A digitalização no Estudo de Caso

O processo empregado na digitalização dos dados do Estudo de Caso compõe-se de quatro etapas básicas:

- 1) Digitalização de pontos na mesa A4, visando avaliar a componente elementar do processo, ou seja, avaliando a qualidade pontual dos dados digitalizados;
- 2) Digitalização dos pontos na mesa A0, propondo uma comparação com os dados obtidos na mesa A4;
- 3) Digitalização e Edição de quatro quadrículas na mesa A4, com o objetivo de analisar a qualidade das feições e os tipos de erros oriundos da edição;
- 4) Digitalização, Edição e importação de arquivos gerados para os arquivos obtidos pelo item 3).

7.4.2.1 Digitalização na mesa A4

A digitalização dos pontos na mesa A4, quando se tem como base cartográfica um documento de dimensões A0, como é a carta 1:10000, é um processo trabalhoso e exaustivo. Neste formato, é permitida a digitalização de no máximo quatro quadrículas por vez. Assim exigiu-se sucessivas mudanças da carta e calibragens da mesa.

A área total dos pontos a serem digitalizados foi dividida como na Figura 7.14.

FIGURA 7.14 Divisão da área dos pontos digitalizados

Outra variável observada, foi a experiência do operador, sendo feitas leituras dos pontos com o operador A (familiarizado com processo) e o operador B (sem experiência alguma).

O número efetuado de leituras de cada ponto foi cinco, visando a eliminação dos possíveis erros grosseiros.

Os comandos do AutoCAD utilizados nesse processo foram os descritos nos itens 7.3.1.2 e 7.3.1.3

Após digitalizados, os dados foram transformados para o formato DXF e obteve-se assim as coordenadas dos pontos que receberam a denominação de E_A e N_A representando as coordenadas a serem avaliadas.

Na Tabela 7.2 vê-se um quadro resumo das leituras.

Tabela 7.2 As coordenadas obtidas na mesa A4

PONTO	OPERADOR A		OPERADOR B	
	E ^A	N ^A	E ^A	N ^A
PQ02	198848,606	7563727,852	198844,914	7563730,677
PQ03	199487,188	7563481,220	199489,556	7563480,747
PQ04	201434,530	7563789,958	201437,274	7563785,022
PQ05A	202859,561	7563880,047	202858,903	7563881,033
PQ06	202790,781	7563136,806	202794,423	7563139,489
PQ09	199704,161	7562490,447	199708,126	7562489,201
PQ10	200774,859	7562562,703	200779,055	7562559,872
PQ11	201264,849	7562776,640	201269,281	7562775,012
PQ11A	201089,314	7562047,015	201095,715	7562051,157
PQ12	202597,189	7562516,150	202601,473	7562525,111
PQ15	199618,571	7561404,004	199617,854	7561402,690
PQ16	200419,294	7561212,683	200425,356	7561214,242
PQ17	201442,534	7561193,563	201444,130	7561193,904
PQ17A	201955,061	7561044,463	201959,005	7561043,267
PQ18	201221,772	7561788,119	202222,430	7561786,799
PQ18A	202205,069	7561683,953	202207,556	7561685,391
PQ18B	202342,477	7561399,592	202345,535	7561396,236
PQ18C	202891,502	7561102,993	202889,312	7561097,600
PQ21	199492,194	7560227,676	199492,573	7560227,313
PQ22	200659,970	7560548,546	200660,310	7560545,752
PQ23	201259,062	7560532,202	201257,751	7560533,254
PQ24	202697,678	7560589,153	202698,269	7560586,212
PQCORNER	200813,930	7563591,365	200816,311	7563584,301

7.4.2.2 Digitalização dos pontos com mesa A0

Ao contrário da mesa A4, notou-se aqui uma situação de extremo conforto para o operador sem as mudanças da carta e a necessidade de várias calibrações.

Com uma única calibragem, efetuou-se as cinco leituras pelos dois operadores A e B. E as coordenadas obtidas se encontram na Tabela 7.3.

TABELA 7.3 Coordenadas obtidas na digitalização com a mesa A0

PONTO	OPERADOR A		OPERADOR B	
	E ^A	N ^A	E ^A	N ^A
PQ02	198852,674	7563731,726	198845,317	7563731,550
PQ03	199489,573	7563481,277	199489,610	7563480,545
PQ05	201434,957	7563786,660	201435,323	7563785,740
PQ05A	202862,212	7563875,403	202856,950	7563876,403
PQ06	202794,979	7563134,901	202794,719	7563135,384
PQ09	199706,330	7562490,316	199704,352	7562489,367
PQ10	200770,813	7562560,165	200770,339	7562558,415
PQ11	201267,736	7562771,577	201267,928	7562773,039
PQ11A	201090,038	7562047,008	201090,621	7562046,624
PQ12	202597,812	7562511,575	201599,172	7562512,718
PQ15	199616,142	7561399,775	199616,022	7561400,259
PQ16	200420,363	7561212,382	200420,758	7561212,584
PQ17	201445,206	7561187,995	201444,696	7561189,461
PQ17A	201953,765	7561036,591	201952,069	7561039,524
PQ18	202223,664	7561784,016	202223,613	7561784,311
PQ18A	202206,756	7561682,474	202205,840	7561682,002
PQ18B	202342,429	7561392,114	202342,741	7561392,263
PQ18C	202890,630	7561094,605	202890,679	7561093,540
PQ21	199490,578	7560226,813	199490,775	7560226,146
PQ22	200657,421	7560546,860	200656,831	7560547,477
PQ23	201255,777	7560530,655	201255,565	7560531,347
PQ24	202693,789	7560582,640	202695,838	7560583,617
PQCORNER	200813,862	7563591,377	200813,774	7563590,509

7.4.2.3 Digitalização e edição na mesa A4

Neste procedimento, verificou-se a influência exercida pelo processo de digitalização e edição de feições, e também a relação entre a área digitalizada e o número de pontos de controle, explicadas a seguir.

Durante o desenvolvimento das atividades relacionadas ao processo de digitalização, questionou-se que o usuário de cartas digitalizadas pode utilizar um produto que abranja uma área de dimensões menores do que a abrangida pela área de estudo de caso. Partindo-se do princípio que a área do estudo de caso é da ordem de 24000 m^2 , com 24 quadrículas de 1000 m^2 e segundo MERCHANT (1982) esta área deve conter 20 pontos de controle, concluiu-se que, se existisse ao menos um ponto por quadrícula (1000 m^2 na escala 1:10000), esta área estaria devidamente controlada.

Fazendo uma analogia, o que se pretendeu foi investigar se com uma área digitalizada de 5000 m^2 (5 quadrículas na escala 1:10000) por exemplo, contendo pelo menos um ponto de controle a cada 1000 m^2 , a aplicação de testes concernentes a análise de qualidade dos dados seria viável. Selecionou-se, então, a área delimitada pelas coordenadas: (201000,7562000); (201000,7564000); (203000,7564000); (203000,7562000) aplicando-se os testes.

Após digitalizada a área selecionada, com os comandos relacionados no item 7.3.1.2, passou-se à edição da mesma. Na Figura 7.15 mostra-se a área digitalizada e editada.

FIGURA 7.15 Área digitalizada e editada (Escala 1:15000)

Vale ressaltar que utilizou-se somente um operador e que, depois dos processos de digitalização e edição, os pontos foram lidos diretamente na tela uma só vez pois, após serem submetidos a estes processos, a cada ponto associa-se uma única coordenada, testando-se depois a qualidade dos dados. A Tabela 7.4 mostra as coordenadas encontradas.

TABELA 7.4 Coordenadas da área digitalizada e editada

PONTOS	E ^A	N ^A
PQ05	201436,031	7563785,599
PQ10	200770,529	7562561,410
PQ11	201263,813	7562771,055
PQ11A	201087,663	7562051,554
PQCORNER	200813,854	7563587,185

7.4.2.4 Digitalização e importação de arquivos

Devido ao fato de no máximo quatro quadrículas poderem ser digitalizadas com uma calibragem de mesa A4, é inevitável a junção de partes digitalizadas em sessões distintas.

A junção no AutoCAD significa a conversão do arquivo para o formato DXF através do comando **DXFout** e a importação pelo comando **Import** deste para o arquivo que se deseja anexar.

Em outras palavras, tem-se um arquivo com quatro quadrículas. Quer-se anexar ao mesmo, um outro arquivo com duas quadrículas adjacentes. O que se pretende examinar é o erro envolvido no processo de importação de arquivos e se eles exercem influência nas coordenadas dos pontos. Na Figura 7.16, visualiza-se uma área nos limites das quadrículas anexadas e no detalhe, a distância entre dois pontos que deveriam ser coincidentes. Observa-se aqui, o erro proveniente da importação de arquivos na área de junção, antes do processo de edição.

FIGURA 7.16 Detalhe da janela do AutoCAD com a área de junção dos arquivos.

Após a junção, foi realizada a edição dos dados, que constituiu-se basicamente de ajustes de nós na área de junção de arquivos. Chamou-se a atenção para este problema com o propósito de avaliar a redução da qualidade dos dados após o processo. Na Figura 7.17 mostra-se as áreas anexadas neste caso e a Tabela 7.5 apresenta as coordenadas dos pontos.

TABELA 7.5 Coordenadas de dados digitalizados, editados e importados

PONTOS	E ^A	N ^A
PQ05	201436,031	7563785,599
PQ05A	202855,009	7563879,227
PQ06	202792,873	7563132,839
PQ10	200770,529	7562561,410
PQ11	201263,813	7562771,055
PQ11A	201087,663	7562051,554
PQ12	202600,430	7562515,421
PQCORNER	200813,854	7563587,185

FIGURA 7.17 Áreas digitalizadas, editadas e importadas (1:15000)

7.5 Análise da qualidade dos dados digitalizados

As análises das discrepâncias entre as coordenadas foram conduzidas conforme os procedimentos apresentados no item 4.4.2. Recordando, são dois os testes a serem aplicados nesta análise: a Análise de tendência e a Análise de precisão.

7.5.1 Análise de tendência

Estão envolvidos nesta análise os seguintes procedimentos, observando que a variável X assume valores tanto para a coordenadas E como para N :

- 1) Cálculo das discrepâncias $\Delta X_i = X_i^r - X_i$
- 2) Cálculo das médias amostrais $\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i$
- 3) Cálculo dos desvios-padrão amostrais $S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2$
- 4) Análises das hipóteses $H_0 : \overline{\Delta X} = 0$ e $H_1 : \overline{\Delta X} \neq 0$
- 5) Cálculo de t_E e t_N $t_X = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} n^{1/2}$
- 6) Obtenção do valor tabelado $t_{(n,\alpha)}$ da tabela t de Student
- 7) Análise da desigualdade $|t_X| < t_{(n-1,\alpha/2)}$

Observando sempre que o n é o número de pontos avaliados. Nos casos da verificação de qualidade pontual, n=23. Já nos casos de digitalização e edição e digitalização, edição e importação de arquivos n=5 e n=8 respectivamente.

Segue-se as Tabelas (7.6 a 7.9) referentes aos cálculos das discrepâncias e análise de tendência nas mesas A4 e A0.

TABELA 7.6 Cálculo das discrepâncias para dados obtidos na mesa A4

PONTO	OPERADOR A		OPERADOR B	
	ΔE^A (m)	ΔN^A (m)	ΔE^A (m)	ΔN^A (m)
PQ02	-14,469	0,467	-10,777	-2,358
PQ03	-4,798	0,303	-7,166	0,776
PQ05	1,555	5,855	-1,189	10,791
PQ05A	0,630	-3,478	1,288	-4,464
PQ06	-2,124	-1,867	-5,767	-4,549
PQ09	0,294	-7,305	-4,258	-6,059
PQ10	2,350	3,106	-1,845	5,938
PQ11	-0,184	-0,519	-4,616	1,109
PQ11A	0,310	1,705	-6,091	-2,437
PQ12	2,414	1,921	-1,870	-7,040
PQ15	-3,714	2,923	-2,997	4,238
PQ16	5,781	-6,477	-0,281	-8,036
PQ17	-6,864	-7,783	-8,460	-8,124
PQ17A	-6,067	0,692	-10,011	1,887
PQ18	-3,331	2,747	-3,990	4,067
PQ18A	-2,027	4,852	-4,514	3,415
PQ18B	-4,753	2,717	-7,811	6,072
PQ18C	-1,707	-5,270	0,483	0,123
PQ21	-7,791	7,144	-8,170	7,506
PQ22	-5,072	0,237	-5,413	3,031
PQ23	-8,054	2,862	-6,743	1,811
PQ24	-5,266	-4,650	-5,857	-1,709
PQCORNER	-5,701	6,612	-8,083	13,675
Σ	-69,177	6,791	-114,138	19,662

TABELA 7.7 Análise de tendência (Mesa A4)

Análise de tendência		OPERADOR A	OPERADOR B
Médias Amostras	$\Delta E(m)$	-3,008	-4,962
	$\Delta N(m)$	0,295	0,855
Desvios-padrão	$S_E (m)$	4,403	3,306
	$S_N (m)$	4,372	5,843
t-amostrai	t_E	-3,276	-7,200
	t_N	0,324	0,702
t-Student: $t_{22, 0.90}$		1,321	1,321

TABELA 7.8 Cálculo das discrepâncias (Mesa A0)

PONTO	OPERADOR A		OPERADOR B	
	ΔE^A (m)	ΔN^A (m)	ΔE^A (m)	ΔN^A (m)
PQ02	-18,537	-3,407	-11,180	-3,231
PQ03	-7,183	0,247	-7,220	0,978
PQ05	1,127	9,153	0,761	10,073
PQ05A	-2,021	1,165	3,241	0,166
PQ06	-6,322	0,039	-6,062	-0,444
PQ09	-2,463	-7,174	-0,485	-6,225
PQ10	6,397	5,644	6,871	7,394
PQ11	-3,072	4,544	-3,263	3,082
PQ11A	-0,414	1,712	-0,997	2,096
PQ12	1,791	6,495	0,431	5,353
PQ15	-1,285	7,152	-1,164	6,668
PQ16	4,712	-6,176	4,316	-6,378
PQ17	-9,536	-2,215	-9,026	-3,681
PQ17A	-4,771	8,563	-3,074	5,630
PQ18	-5,224	6,850	-5,172	6,555
PQ18A	-3,714	6,331	-2,798	6,803
PQ18B	-4,705	10,195	-5,017	10,045
PQ18C	-0,835	3,117	-0,885	4,183
PQ21	-6,175	8,006	-6,372	8,674
PQ22	-2,523	1,923	-1,933	1,306
PQ23	-4,769	4,409	-4,557	3,717
PQ24	-1,377	1,863	-3,426	0,886
PQCORNER	-5,634	6,600	-5,546	7,467
Σ	-76,532	75,034	-62,559	71,117

TABELA 7.9 Análise de tendência (Mesa A0)

Análise de tendência		OPERADOR A	OPERADOR B
Médias Amostras	ΔE (m)	-3,327	-2,720
	ΔN (m)	3,262	3,092
Desvios-padrão	S_E (m)	4,991	4,227
	S_N (m)	4,784	4,836
t-amostrai	t_E	-3,197	-3,086
	t_N	3,270	3,066
t-Student: $t_{22, 0.90}$		1,321	1,321

Além de investigar a qualidade dos dados após o processo de edição, aqui também verificou-se se a análise era exequível para uma área de menores dimensões, porém mantendo o número de pontos a cada 1000m², como na área usada para a avaliação da qualidade pontual dos dados. Para tanto, comparou-se as coordenadas obtidas dos primeiro e segundo processos. Apresenta-se nas Tabelas 7.10 a 7.15 as discrepâncias e as análises de tendência das coordenadas dos pontos obtidos na digitalização e digitalização e edição dos dados.

TABELA 7.10 Cálculo das discrepâncias (Digitalizados - Mesa A4)

PONTO	Discrepâncias	
	ΔE (m)	ΔN (m)
PQ05	1,554	5,855
PQ10	2,350	3,106
PQ11	-0,184	-0,519
PQ11A	0,310	1,705
PQCORNER	-5,701	6,612
Σ	-1,671	16,759

TABELA 7.11 Cálculo das discrepâncias (Digitalizados e editados - Mesa A4)

PONTO	Discrepâncias	
	ΔE (m)	ΔN (m)
PQ05	0,054	10,214
PQ10	6,680	4,400
PQ11	0,852	5,066
PQ11A	1,961	-2,834
PQCORNER	-5,626	10,792
Σ	3,921	27,637

TABELA 7.12 Análise de tendência (Digitalizados - Mesa A4)

Análise de tendência		
Médias Amostras	ΔE (m)	-0,334
	ΔN (m)	3,352
Desvios-padrão	S_E (m)	3,163
	S_N (m)	2,943
t-amstral	t_E	-0,236
	t_N	2,547
t-Student: $t_{4, 0.90}$		1,533

TABELA 7.13 Análise de tendência (Digitalizados e editados - Mesa A4)

Análise de tendência		
Médias Amostras	ΔE (m)	0,784
	ΔN (m)	5,527
Desvios-padrão	S_E (m)	4,409
	S_N (m)	5,502
t-amostal	t_E	0,398
	t_N	2,246
t-Student: $t_{4, 0.90}$		1,533

7.5.1.4 Análise de tendência para dados digitalizados, editados e importados

Neste caso, usou-se uma amostra de 8 pontos pertencentes às duas áreas que foram anexadas.

TABELA 7.14 Cálculo das discrepâncias (Digitalizados, editados e importados-Mesa A4)

PONTO	Discrepâncias	
	ΔE (m)	ΔN (m)
PQ05	0,054	10,214
PQ05A	5,182	-2,658
PQ06	-4,216	2,101
PQ10	6,680	4,400
PQ11	0,852	5,066
PQ11A	1,961	-2,835
PQ12	-0,827	2,649
PQCORNER	-5,626	10,792
Σ	4,06	29,729

TABELA 7.15 Análise de tendência (Digitalizados, editados e importados - Mesa A4)

Análise de tendência		
Médias Amostrais	ΔE (m)	0,507
	ΔN (m)	3,716
Desvios-padrão	S_E (m)	4,211
	S_N (m)	5,097
t-amostal	t_E	0,341
	t_N	2,062
t-Student: $t_{7, 0.90}$		1,415

7.5.2 Análise da precisão

As etapas desta análise compreendem:

- 1) Obtenção do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfico) e do EP (Erro Padrão) na Tabela 4.1
- 2) Cálculo dos desvios padrão $\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}}$
- 3) Análise das hipóteses $H_0 : S_X^2 = \sigma_X^2$ e $H_1 : S_X^2 > \sigma_X^2$
- 4) Cálculo do valor amostral para o teste Qui quadrado $\chi_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2}$
- 5) Obtenção do valor tabelado para o teste Qui quadrado $\chi_{(n-1, \alpha)}^2$
- 6) Análise da desigualdade $\chi_X^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2$

Atentando-se para o fato da variável X assumir valores para as coordenadas E e N.

Já que os itens 1) e 2) são comuns à todas as análises, tem-se os valores determinados a partir do Decreto 89.817/84 transcrito no item 4.3.2.

A seguir são mostradas as Tabelas (7.16 a 7.21) referentes ao PEC da escala da carta em estudo e às Análises de Precisão para os dados das mesas A4, A0, dados digitalizados e editados e dados digitalizados, editados e importados.

TABELA 7.16 PEC para a carta 1:10000

Classe	PEC(m)	EP(m)	$\sigma_E(m)$	$\sigma_N(m)$
A	5	3	2,121	2,121
B	8	5	3,535	3,535
C	10	6	4,243	4,243

TABELA 7.17 Análise da precisão dos dados da mesa A4 (23 pontos)

Análise de precisão		OPERADOR A		OPERADOR B	
Classe	$\chi^2_{(n-1,\alpha)}$	χ^2_E	χ^2_N	χ^2_E	χ^2_N
A	30,81	94,797	93,436	53,420	166,904
B	30,81	34,127	33,637	19,231	60,085
C	30,81	23,700	23,359	13,355	41,726

TABELA 7.18 Análise da precisão dos dados da mesa A0

Análise de precisão		OPERADOR A		OPERADOR B	
Classe	$\chi^2_{(n-1,\alpha)}$	χ^2_E	χ^2_N	χ^2_E	χ^2_N
A	30,81	121,780	111,897	87,361	114,337
B	30,81	43,841	40,283	31,450	41,161
C	30,81	30,445	27,974	21,840	28,584

TABELA 7.19 Análise da precisão dos dados digitalizados – mesa A4 (5 pontos)

Análise de precisão			
Classe	$\chi^2_{(n-1,\alpha)}$	χ^2_E	χ^2_N
A	7,78	8,892	7,699
B	7,78	3,201	2,772
C	7,78	2,223	1,925

TABELA 7.20 Análise da precisão dos dados digitalizados e editados

Análise de precisão			
Classe	$\chi^2_{(n-1,\alpha)}$	χ^2_E	χ^2_N
A	7,78	17,283	26,907
B	7,78	6,222	9,686
C	7,78	4,321	6,727

TABELA 7.21 Análise da precisão dos dados digitalizados, editados e importados

Análise de precisão			
Classe	$\chi^2_{(n-1,\alpha)}$	χ^2_E	χ^2_N
A	12,02	27,578	40,412
B	12,02	9,928	14,548
C	12,02	6,894	10,103

7.6 Conclusões Gerais das análises

Analisando as Tabelas 7.6, 7.8, 7.10 e 7.11, pode-se concluir que os pontos de incidência de maiores discrepâncias são justamente os pontos que de alguma maneira (na carta ou no terreno), não estavam precisamente definidos. Como exemplo toma-se o ponto PQ02, bem definido no terreno, mas indefinido na carta

(com a quadra representada por linhas tracejadas na carta, indicando que se tratam de ruas não pavimentadas).

Quanto a Análise de tendência, observa-se na **Tabela 7.7**, que tanto para o operador A quanto para o operador B tem-se que $t_E > t_{22, 0.90}$, existindo portanto, uma tendência na direção E e $t_N < t_{22, 0.90}$ estando livre de tendências nesta direção. Na **Tabela 7.9**, para o operador A e para o operador B tem-se $t_E > t_{22, 0.90}$, e $t_N > t_{22, 0.90}$ apresentando tendência em ambas as direções.

Antes da comparação entre os dados obtidos na mesa A4 com os da mesa A0, supunha-se que os resultados dos dados seriam melhores nos dados da mesa A0, pela própria configuração da mesa e por não existir a necessidade de várias calibrações para as leituras. Com a análise de tendência, constatou-se o contrário, pois nos dados da mesa A0 verificou-se tendências em ambas as direções, o que não aconteceu com os dados da mesa A4.

No que diz respeito aos dados digitalizados e editados, na **Tabela 7.13**, nota-se que $t_E < t_{4, 0.90}$, e $t_N > t_{4, 0.90}$, concluindo-se que há tendência somente na direção N.

A **Tabela 7.15** relativa aos dados digitalizados, editados e importados mostra $t_E < t_{7, 0.90}$, e $t_N > t_{7, 0.90}$ com tendência na direção N. Assim, se comparados aos valores da **Tabela 7.13**, observa-se que a tendência foi mantida, mostrando que aí, o processo de junção de arquivos não influenciou nas coordenadas dos pontos.

Vale lembrar que a ausência de tendência em alguma direção indica que não existem discrepâncias entre as coordenadas GPS e as coordenadas digitalizadas, aceitando-se a hipótese nula com 90% de confiabilidade.

GALO & CAMARGO (1994), argumentam que muitas podem ser as causas da ocorrência de tendências e recomendam que esta tendência pode ser eliminada subtraindo-se o valor da discrepância média nesta direção. MAILING (1989) explica que este erro sistemático (tendência) é determinado pela discrepância média dos pontos da amostra $\Delta E/n$ e $\Delta N/n$, podendo determinar-se a exatidão do mapa a partir da subtração deste valor dos desvios-padrão das coordenadas de cada ponto.

Fazendo a Análise da precisão tem-se da **Tabela 7.17** que a desigualdade $\chi^2_X \leq \chi^2_{(n-1, \alpha)}$ é satisfeita tanto para as coordenadas E e N somente para a classe C, para o operador A. Para o operador B, a desigualdade não é satisfeita em nenhuma das classes.

Analisando agora a **Tabela 7.18** verifica-se que, com relação ao operador A, os resultados obtidos pela amostra estão enquadrados nos padrões da Classe C de uma carta em ambas as coordenadas E e N. Nos dados do operador B encontrou-se que a desigualdade foi satisfeita para coordenadas E e N e classificou-se esses dados como pertencentes à Classe C. Deduziu-se que a experiência do operador é um parâmetro de difícil avaliação, mas que deve ser considerado.

Quanto à **Tabela 7.20**, verificou-se a veracidade da desigualdade para as coordenadas E e N na classe C da carta, fazendo-se uma ressalva em relação aos dados da coordenada E, que também satisfazem a desigualdade para uma carta de classe B. Comparando-se estes valores com os encontrados na **Tabela 7.19**, conclui-se que a digitalização pontual obteve dados melhores quanto à precisão, donde pode-se concluir que neste caso, a edição dos dados interferiu nos resultados.

Constata-se, na **Tabela 7.21**, que os dados digitalizados podem ser classificados como pertencentes aos padrões de uma carta de Classe C com relação às coordenadas E e N. Mas, os dados da coordenada E se enquadram também nos padrões de uma carta de classe B. Se comparados aos dados digitalizados e editados na **Tabela 7.20** verifica-se que não existem diferenças significativas, o que implica na não interferência do processo de importação de arquivos destes dados.

Um resumo das análises descritas acima pode ser visto na **Tabela 7.22**, concluindo-se que os procedimentos empregados na análise de qualidade de dados georreferenciados retratam de maneira transparente o tipo de dados que se tem em mãos e indicam onde deve ser dispensada atenção especial para melhorar esta qualidade.

TABELA 7.22 Resumo das análises de tendência e de precisão

	Análise de tendência		Análise de precisão	
	Op. A	Tend. E	Op. A	Classe C
Mesa A4	Op. B	Tend. E	Op. B	-
	Op. A	Tend. E, N	Op. A	Classe C
Mesa A0	Op. B	Tend. E, N	Op. B	Classe C
Dados Dig.		Tend. N		Classe B
Dados Dig. e Ed		Tend. N		Classe C
Dados Dig., Ed. e Imp.		Tend. N		Classe C

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Face aos objetivos almejados no capítulo 1 desta dissertação, constatou-se que foram plenamente alcançados.

Foram expostas noções básicas de Cartografia para usuários de cartas ; estudo-se as transformações de coordenadas e datum; pesquisou-se os critérios para a análise da qualidade de dados georreferenciados; apresentou-se os SIGs como gerenciadores destes dados georreferenciados; mostrou-se a o sistema GPS como um meio de aquisição de dados georreferenciados de precisão.

Os conhecimentos teóricos foram consolidados no Estudo de Caso desenvolvido junto ao Laboratório de Mensuração do Departamento de Transportes da EESC-USP. Este estudo teve como propostas, a partir da definição da área abrangida pela carta SÃO CARLOS I de escala 1:10000, a determinação de pontos de controle por levantamento de campo pelo GPS, a obtenção dos pontos homólogos na carta a partir do processo de digitalização e a análise da qualidade destes dados quando comparados àqueles, relativa somente às coordenadas planimétricas. Recomenda-se portanto, uma análise da componentes altimétricas dos dados concernentes ao levantamento de campo.

Dois aspectos foram avaliados nesta análise: a ocorrência de erros sistemáticos, pela Análise de tendência e a determinação da precisão dos dados em relação aos padrões adotados (PEC e EP) , através da Análise de precisão.

Comprovou-se ser a tecnologia GPS um meio adequado a obtenção de coordenadas de pontos de controle utilizadas neste tipo de análise, atentando-se aqui para o fato de que os pontos a serem avaliados devem estar claramente definidos no terreno e na carta, caso contrário, devem ser descartados.

A precisão exigida dos métodos e equipamentos usados para este tipo de análise era de 1m. Seguramente, resultados de maior precisão podem ser alcançados a partir de determinações GPS. Aqui sugere-se que, como estes dados encontram-se disponíveis no Departamento de Transportes no formato RINEX, seja efetuado um tratamento dos mesmos, inclusive através do processamento em outros softwares, visando futuras aplicações que requeiram dados mais precisos.

No que diz respeito ao processo de digitalização, foram reproduzidas situações que ocorrem no dia-a-dia, tais como o emprego de cartas em cópias heliográficas, mesa de dimensões inferiores às da carta, diferentes operadores, procurando-se distanciar de ocasiões “ideais”. Foram aplicadas contudo, regras fundamentais afim de minimizar os possíveis erros acarretados ao se assumir esta conduta. O emprego de outros software destinados ao georreferenciamento, o uso de cartas em papel de maior estabilidade, bem como a digitalização realizada por outros métodos (via scanner, por exemplo), são procedimentos que certamente trariam subsídios para estudos futuros neste assunto.

Apesar da consciência das possíveis fontes de erros envolvidas no processo, dos resultados obtidos concluiu-se que podem ser adquiridos dados de qualidade satisfatória em relação aos padrões estabelecidos.

Assim, nas análises de tendência, verificou-se uma constância, ou melhor, constatou-se tendências nas mesmas direções quando considerou-se os operadores e os processos de digitalização, o que não ocorreu com os processos de edição e importação de arquivos.

De todas as análises de precisão feitas, incluindo as variações com diferentes operadores, diferentes mesas digitalizadoras, número reduzido de pontos de controle e diferentes procedimentos no processo de digitalização, foram unânicos quanto à classificação dos dados avaliados, como pertencentes aos padrões de uma carta de Classe C em ambas as direções E e N. Deve ser ressaltado que foram registradas situações em que os dados atendiam aos padrões das cartas de Classe A e Classe B em apenas uma das direções. Tal fato é digno de atenção e alvo de pesquisas futuras.

Propõe-se ainda que, a partir dos dados oriundos do levantamento GPS e do processo de digitalização, sejam determinados parâmetros que possibilitem o

georreferenciamento de dados obtidos pelo processo de digitalização, utilizando-se por exemplo, uma transformação de coordenadas como a transformação Afim ou de Helmert em pesquisa futura.

Finalizadas as análises, o planejador tem consciência da qualidade dos dados de entrada que possui, cabendo a ele verificar se os dados satisfazem ou não às exigências do projeto que se deseja executar e a decisão de empregá-los ou não.

ANEXO A

Articulação Sistemática

ESCALA DO MAPEAMENTO	SUBDIVISÃO	LONGITUDE	LATITUDE
1:1.000.000	<div>SF 23</div>	6°	4°
1:500.000	<div><div>VX</div><div>YZ</div></div>	3°	2°
1:250.000	<div><div>AB</div><div>CD</div></div>	1° 30'	1°
1:100.000	<div><div>IV</div><div>IIIII</div><div>VI</div></div>	30'	30'
1:50.000	<div><div>12</div><div>34</div></div>	15'	15'
1:25.000	<div><div>NO</div><div>NE</div><div>SO</div><div>SE</div></div>	7' 30"	7' 30"
1:10.000	<div><div>AB</div><div>CD</div><div>EF</div></div>	3' 45"	3' 45"

ANEXO B
Relatórios de Ocupação

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 06/01/98

Projeto: DISSER

Identificação: PQ02

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP para a Rua Miguel Petroni, no sentido centro-bairro, cruza-se a Avenida Trabalhador Sancarlense. São contadas 9 quadras em relação ao lado esquerdo da Rua Miguel Petroni, então, converte-se à esquerda, na Rua Aberto Lanzoni, onde tem-se como referência a Igreja Santa Rita de Cássia. A partir da quadra da igreja inclusive, são percorridas 8 quadras, convertendo-se à direita em seguida. Percorre-se esta quadra até a próxima esquina à direita pertencente ao cruzamento das Ruas Sebastião Moraes e Silva César onde está localizado o ponto PQ02.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 06/01/98

Projeto: DISSER

Identificação: PQ03

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP para a Rua Miguel Petroni, no sentido centro-bairro, cruza-se a Avenida Trabalhador Sancarlense. São contadas 9 quadras em relação ao lado esquerdo da Rua Miguel Petroni, então, converte-se à esquerda, na Rua Aberto Lanzoni, onde tem-se como referência a Igreja Santa Rita de Cássia. A partir da quadra da igreja inclusive, são percorridas 8 quadras, convertendo-se à esquerda em seguida. A partir da quadra em que foi realizada a conversão, são contadas 3 quadras, então converte-se à esquerda, percorre-se uma quadra e, na próxima quadra à esquerda, no cruzamento das Rua Dr. Nestor de Campos com Noêmia S. de Souza encontra-se o ponto PQ03.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 29/10/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ05

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP para a Avenida Trabalhador Sancarlenense no sentido da Avenida São Carlos. Uma quadra antes de chegar nesta Avenida, converte-se à direita, entrando na Rua Episcopal. Percorre-se uma quadra e à esquerda, no cruzamento das Ruas Episcopal com César Ricone localiza-se o ponto PQ05.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 06/01/98

Projeto: DISSER

Identificação: PQ05A

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo-se da EESC-USP com destino à Avenida São Carlos, percorre-se a mesma no sentido Rodovia Washington Luiz até a Rua Antonio Blanco onde é realizada uma conversão à direita. Nesta rua, a partir da conversão são percorridas 14 quadras, convertendo-se então à direita e encontra-se a Rua Durvalino G. da Silva. Percorre-se uma quadra e na quadra seguinte, à direita no cruzamento das Ruas Durvalino G. da Silva com Caetano Moruzzi encontra-se o ponto PQ5A

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 29/10/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ06

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP, com destino à Avenida Dr. Carlos Botelho. Esta rua é percorrida no sentido da Avenida São Carlos. Cruza-se esta última avenida e percorre-se a Avenida Dr. Carlos Botelho por 11 quadras, onde localiza-se o cruzamento desta avenida com a Rua Maria I. D. Botelho. O ponto PQ06 está situado na quadra seguinte do lado direito.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 01/12/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ09

Município: SÃO CARLOS	Estado: SÃO PAULO
-----------------------	-------------------

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino ao Shopping Iguatemi. Chegando à Rotatória que dá acesso ao Shopping, faz-se o contorno da mesma e dirige-se à Avenida José Gonçalves Carneiro, percorrendo-a por uma quadra. Então converte-se à direita e percorre-se uma quadra encontrando-se o cruzamento das Ruas Orlando Picchi com Urano Martins. O ponto PQ09 está localizado na esquina à direita.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 01/12/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ10

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Rua Sete de Setembro, passando pela Avenida Dr. Carlos Botelho, convertendo à direita na Rua Riachuelo, percorrendo-a até a Rua Sete de Setembro, onde converte-se à direita e segue-se até a última esquina antes da área pertencente ao Asilo Maria Jacinto. O ponto PQ 10 é encontrado nesta esquina ou, no cruzamento das Ruas Sete de Setembro com Marechal Deodoro.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 16/12/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ11

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Rua José Bonifácio, passando pela Avenida Dr. Carlos Botelho, convertendo à direita na Rua José Bonifácio até o cruzamento da Rua Padre Teixeira. O ponto PQ11 localiza-se na esquina da quadra seguinte à direita.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 07/01/98

Projeto: DISSER

Identificação: PQ11A

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Rua Riachuelo, passando pela Avenida Dr. Carlos Botelho, convertendo à direita na Rua Riachuelo e percorrendo-a por dez quadras até o cruzamento desta rua com a Rua Geminiano Costa. O ponto PQ11A encontra-se nesta última quadra à direita.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 16/12/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ12

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Rua Major José Inácio, passando pela Avenida Dr. Carlos Botelho, dirigindo-se à Avenida São Carlos e percorrendo-a no sentido bairro-centro, até a Rua Major José Inácio onde é realizada uma conversão à esquerda. Percorre-se esta rua por 9 quadras a partir da conversão, encontrando o cruzamento das Ruas Major José Inácio com Major Manoel Antônio de Mattos onde o ponto PQ12 está localizado.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 25/11/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ15

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Vila Prado, passando pela Avenida Francisco Pereira, que serve de acesso ao Shopping Iguatemi. Segue-se esta avenida no sentido da Vila Prado, chegando à Avenida Botafogo, converte-se à direita e a partir desta conversão são contadas 3 quadras e então, uma nova conversão é efetuada à esquerda, rua Joaquim R. de Medeiros. Percorre-se uma quadra nesta rua e na esquina à esquerda, que faz parte do cruzamento entre as Ruas Joaquim R. Medeiros e Rafael Sampaio, fica o ponto PQ15

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 16/12/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ16

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Vila Prado, passando pela Avenida Francisco Pereira que dá acesso ao Shopping Iguatemi. Encaminha-se no sentido da Vila Prado, cruza-se a Avenida Botafogo e segue-se pela Rua Henrique Gregori por 7 quadras onde converge-se à esquerda, adentrando a Rua Ananias Evangelista de Toledo. Nesta rua percorre-se 5 quadras e converge-se à esquerda, encontrando a Rua Quintino Bocaiuva, a partir de onde é percorrida uma quadra. Na esquina da próxima quadra à esquerda, que pertence ao cruzamento das Ruas Antônio A Leite e Quintino Bocaiuva, está situado o ponto PQ16.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 16/12/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ17

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Rua Julian Favel, passando pela Avenida Dr. Carlos Botelho e convertendo-se na Rua Episcopal, que é percorrida em toda a sua extensão, até a Rua Julian Favel, onde converge-se à direita percorrendo-se uma quadra. O ponto PQ17, encontra-se no cruzamento desta com a Rua Francisco Marmorato à esquerda.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 07/01/98

Projeto: DISSER

Identificação: PQ17A

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Rua Machado de Assis, passando pela Avenida São Carlos, convertendo-se à esquerda na Rua Machado de Assis, que tem como referência a Indústria Toalhas São Carlos. Nesta rua são percorridas 2 quadras e na esquina à esquerda do cruzamento das Ruas Machado de Assis e Amadeu Amaral, encontra-se o ponto PQ17A

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 01/12/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ18

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC- USP com destino à Rua Santa Cruz, passando pela Avenida Dr. Carlos Botelho e pela Avenida São Carlos. Chegando ao cruzamento da Avenida São Carlos com a Rua Santa Cruz, converte-se à esquerda indo até a Rua Campos Salles. O ponto PQ18 está localizado no cruzamento das Ruas Campos Salles com a Santa Cruz.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 16/12/97	
Projeto: DISSER	
Identificação: PQ18A	
Município: SÃO CARLOS	Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC- USP com destino à Rua Santa Cruz, passando pela Avenida Dr. Carlos Botelho e pela Avenida São Carlos. Chegando ao cruzamento da Avenida São Carlos com a Rua Santa Cruz, converte-se à esquerda indo até a Rua Campos Salles. Percorre-se então, uma quadra e na quadra seguinte, na esquina à esquerda, que pertence ao cruzamento das Ruas Belarmino I. de Souza com Campos Salles, encontra-se o ponto PQ18A

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe:

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 08/01/98

Projeto: DISSER

Identificação: PQ18B

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC- USP com destino à Rua Santa Cruz, passando pela Avenida Dr. Carlos Botelho e pela Avenida São Carlos. Chegando ao cruzamento da Avenida São Carlos com a Rua Santa Cruz, converte-se à esquerda indo até a Rua Campos Salles. Segue-se esta rua até a Rua Luiz Roher convertendo-se à esquerda e percorrendo uma quadra até encontrar a Rua Antônio Cajado. N esquina à esquerda deste cruzamento localiza-se o ponto PQ18B.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 08/01/98

Projeto: DISSER

Identificação: PQ18C

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP, com destino à Rua Manoel P. Dias, passando pela Avenida São Carlos, convertendo-se na Rua Raimundo Correia, onde são percorridas 11 quadras, convertendo-se então à esquerda, na Rua Vicente D'Aquino, onde é percorrida uma quadra e encontra-se o ponto PQ18C, na esquina à esquerda do cruzamento entre as Ruas Vicente D'Aquino e Manoel P. Dias.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 25/11/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ21

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Vila Prado, passando pela Avenida Francisco Pereira que dá acesso ao Shopping Iguatemi. Encaminha-se no sentido da Vila Prado, cruza-se a Avenida Botafogo e segue-se pela Rua Henrique Gregori, convertendo-se à direita na Rua Geronimo da Costa Terra, seguindo-a até encontrar a Rua Joaquim Gonçalves Ledo. Na esquina à direita da quadra seguinte a este cruzamento, situa-se o ponto PQ21.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe:

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 25/11/98

Projeto: DISSER

Identificação: PQ22

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Vila Prado, passando pela Avenida Francisco Pereira que dá acesso ao Shopping Iguatemi. Encaminha-se no sentido da Vila Prado, cruza-se a Avenida Botafogo e segue-se pela Rua Henrique Gregori e encontra-se a Avenida Grécia, onde são percorridas 3 quadras, converte-se à esquerda, atravessa-se a área verde e encontra-se a Rua P. J. Nettu. No cruzamento desta rua com a Rua Cidade de Milão, encontra-se o ponto PQ22.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 27/11/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ23

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP com destino à Vila Prado, passando pela Avenida Francisco Pereira que dá acesso ao Shopping Iguatemi. Encaminha-se no sentido da Vila Prado, cruza-se a Avenida Botafogo e segue-se pela Rua Henrique Gregori e encontra-se a Avenida Grécia seguindo-a até a Rua Coronel Leopoldo Prado após converter à esquerda. Esta rua é percorrida até que seja encontrada a Rua Bernardino de Campos. Converte-se à esquerda, segue-se por uma quadra e na esquina seguinte à esquerda, encontra-se o ponto PQ23, que pertence ao cruzamento das Ruas Miguel Dahma e Bernardino de Campos.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 27/11/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQ24

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

Partindo da EESC-USP, com destino à Rua Monsenhor Alcindo, passando pela Avenida São Carlos e Avenida Getúlio Vargas, onde são percorridas 6 quadras então é feita a conversão à direita encontrando-se a Rua Monsenhor Alcindo. O ponto PQ24 encontra-se na Segunda quadra após a Avenida Getúlio Vargas, à esquerda, no cruzamento das Ruas Monsenhor Alcindo com Artur Rodrigues de Castro.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe: Eliana

ESTAÇÃO GPS - RELATÓRIO DE OCUPAÇÃO

Data: 23/11/97

Projeto: DISSER

Identificação: PQCORNER

Município: SÃO CARLOS

Estado: SÃO PAULO

DESCRIÇÃO DE ACESSO

O ponto PQCORNER, está localizado em um dos cantos do campo de futebol da EESC-USP. O acesso a este ponto se dá adentrando-se o campo pelo portão ao lado do prédio da Engenharia Elétrica. O ponto PQCORNER está situado na extremidade à esquerda do campo.

DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

Equipe:

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONOFF, S. (1989). *Geographic Information System: a Management Perspective*. Ottawa, WDL Publications.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1961). *Projeto de normas de convenções cartográficas PNB-63/1961*. Rio de Janeiro, ABNT.

BAKKER, M.P.R. (1965). *Cartografia Noções Básicas*. Rio de Janeiro, DHN/Ministério da Marinha.

BLITZKOW, D. (1995). NAVSTAR/GPS - Um desafio tornado realidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, III., São Paulo, 1995. *Anais*. São Paulo, p.429-62.

BONHAM-CARTER, G.F. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Ottawa, Pergamon.

BOSSLER, J. D. (1991). Status of the GPS/GIS Multi-State Mapping Project. In: ASCE SPECIALTY ON TRANSPORTATION APPLICATION OF GPS POSITIONING STRATEGY, Sacramento, 1991. California.

- BRANDALIZE, A.A. (1993). Formatos de arquivos: chega de quebrar a cabeça. *FATOR GIS - A Revista do Geoprocessamento*, n.2, p.7-11, jul./ago./set.
- BRUNETTI, M. (1994). *Cartografia*. Curitiba, Sagres.
- CÂMARA, G. et al. (1996). *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas, IMECC-UNICAMP.
- CHAVES, J.C. (1997). *TransCoor*. Programa para transformação de coordenadas. FORTRAN 90.
- CINTRA, J.P. (1989). *Sistema UTM - Noções de geodésia e cartografia*. São Paulo, EPUSP-PTR.
- CINTRA, J.P.; SANTIAGO, L.A. (1995). Informatização da carta de base do IGC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XVII., Salvador, 1995. *Anais*. Salvador, SBC. p.1262-68.
- CRISTOFANI, A. (1996). The Earth in Balance Maintaining Brazil's Biodiversity. *GPS WORLD*, June, p.20-30.
- DANA, P.H. (1995). *The Geographer's Craft Project*. Department of Geography, The University of Texas at Austin. <http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html> .(6 jan. 98).
- DANTAS, A.S.; TACO, P.W.G.; YAMASHITA, Y. (1996). Sistemas de Informação Geográfica em Transportes: o estudo do estado da arte. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, X., Brasília, 1996. *Anais*. Brasília, ANPET, v.1, p.213-222.
- DAVIS, C.A.; FONSECA, F.T. (1994). Geração de dados em CAD para uso em GIS: precauções. In: *GIS BRASIL 94*, Curitiba, 1994. *Anais*. Curitiba, Sagres, p.43-47.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO (1959). *Coordenadas planas sistema UTM*. Rio de Janeiro, DSG.

FORTES, L.P. et al. (1989). Determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas NWL-10D, NSWC-9Z2, WGS-84 e o SAD-69. In: ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XIV, Gramado, 1989. *Anais*. Gramado, SBC. p.157-165.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1983). Resolução - PR n.22, de 21 de julho de 1983. Boletim de Serviço (Suplemento) 1602. *Diretoria de Geociências, Departamento de Geodésia*, Rio de Janeiro, RJ, 01 ago., IBGE.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1992). Especificações e normas gerais para levantamentos GPS (preliminares). *Diretoria de Geociências, Departamento de Geodésia*, Rio de Janeiro, RJ, 01 dez., IBGE.

GALO, M.; CAMARGO, P.O. (1994). Utilização do GPS no controle de qualidade de carta, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, I., Florianópolis, 1994. *Anais*. Florianópolis, COBRAC.

GEMAEL, C. (1994). *Introdução ao ajustamento de observações*. Curitiba, UFPR.

GOODCHILD, M.; GOPAL, S., eds. (1989). *The accuracy of spatial databases*. London, New York, Philadelphia, Taylor & Francis.

GREENFELD, J.S. (1996). Weighty Least Squares Coordinate Transformation Without Matrices and its Applications. In: ANUAL CONVENTION & EXHIBITION, Baltimore, Maryland, 1996. *Technical Papers*. Baltimore, Maryland, ASPRS/ACSM. v.III, p.64-70.

- GUIMARÃES FILHO, H.A.; CRÓSTA, A.P. (1993). Digitalização de mapas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VII., 1993. *Anais*. SBSR. p.351-358.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. (1994). *Global positioning system: theory and practice*. 3.rev. ed. New York, Sprienger-Verlag Wien.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY (1998). *Geodetic Reference System 1980 (H. Moritz)*. <http://www.gfy.ku.dk/~iag/handbook/sum.htm> (15 jan.), IAG.
- INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC ASSOCIATION (1973). *Multilingual dictionary of technical terms in cartography*. Visbarden: STEINER VERLAG., ICA.
-
- JOLY, F. (1990). *A cartografia*. Trad. por Tânia Pellegrini. Campinas, Papirus.
- JOOS, G. (1997). *Quality aspects of geo-informations*. <http://wwwsgi.ursus.maine.edu:otbin/webserve50> (30 jul.).
- KAEHLER, M.R.; TAUCH, R. (1992). Integration of GIS and methods for digital image map production. In: INTERNATIONAL ARCHIEVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, Washington, D.C., 1992. *Proceedings*. Washington, D.C., v.XXIX, p.B4, c.IV, p.688-695.
- KENNIE, T.J.M.; PETRIE, G. eds. (1990). *Engineering surveying technology*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- LACHAPELLE, M. E. et al.(1996). GIS/GPS facilitates precision farming. *GIS World*., p.54-56, July.
- LEICA AG (1997) *GPS - System 300 SKI Documentation and RT-SKI User Manual Version 3.40*. Heerbrugg (Switzerland).

- LEICK, A. (1991). La interrelación GPS/GIS. *Revista Cartográfica do Instituto Panamericano de Geografía e História*, n.59, p.89-92.
- LEICK, A. (1995). *GPS satellite surveying*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons.
- LOPES, S.C. (1996). *GPS e o Perfil Vertical de Rodovias*. 110p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LOS ANGELES AIR FORCE BASE. (1997a). *Joint Program Office (JPO)*. <http://www.laafb.af.mil/SMC/CZ/homepage/jpo/index.html> (7 jul.), LAAFB.
- LOS ANGELES AIR FORCE BASE. (1997b). *GPS Description*. <http://www.laafb.af.mil/SMC/CZ/homepage/gps/index.html> (7 jul.), LAAFB.
- LOTTI, C.P. (1997). *Um método expedito de representação da geometria de uma rodovia na forma em que foi efetivamente construída*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LUGNANI, J.B (1987). *Introdução à Fototriangulação*. Curitiba, UFPR.
- MAILING, D.H. (1989). *Measurements from maps Principles and Methods of Cartometry*. Oxford, Pergamon Press.
- MARQUES A.P. (1997). *Análise de parâmetros geométricos de curvas horizontais de vias à luz do sistema de posicionamento global - GPS*. São Carlos. 150p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MARQUES, A.L. et al. (1996). Utilização de receptores GPS para o cadastramento de redes de distribuição de energia elétrica urbana e rural. In: GIS BRASIL 96, 1996. *Anais*. Curitiba, Sagres, p.167-173.

- MELLO, H. M. C. F.; CINTRA, J. P. (1993). Erros associados à digitalização de mapas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, II., São Paulo, 1993. *Anais*. São Paulo, P.30-46.
- MENEGUETTE, A.A.C. (1994). *Introdução à cartografia*. UNESP. Presidente Prudente.
- MERCHANT, D.C. (1982). Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. In: AMERICAN CONGRESS ON SURVEYING AND MAPPING, 1982. *Technical Papers*. ACSM, v.1, p.222-31.
- MONICO, J.F.G. (1996). *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS Descrição, Fundamentos e Aplicações*. Notas de aula, Departamento de Cartografia, UNESP, Presidente Prudente.
- NUGENT, J.L. (1995). Quality Control Techniques for a GIS Database Development Project. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v.61, n.5, May, p.523-27.
- OLIVEIRA, M.T.; PEREZ, L.O.; SAMPAIO, A.C.F. (1997). Ampliação e Interpolação de Curvas de Nível: Um Estudo de Caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XVII, Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. Rio de Janeiro, SBC, p.1139-146.
- PILOUK, M. (1996). Systems for integrated geoinformation: stages of evolution. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, Vienna, 1996. *Proceedings*. Vienna, v.XXXI, p.B2, p.294-99.
- PORTUGAL, J.L.; SÁ, L.A.C.M.; CARNEIRO, A.F.T. (1995). Dispositivos de aquisição de dados e edição de informações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XVII., Salvador, 1995. *Anais*. Salvador, SBC. p.1067-75.

- QUINTANILHA, J.A. (1995). Entrada e conversão de dados: processos de construção de bases digitais de dados espaciais. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, III., São Paulo, 1995. *Anais*. São Paulo, p.29-58.
- ROMÃO, V.M.C. (1996). Definição de uma referência espacial única através do GPS para o cadastro técnico multifinalitário (CTM) e os sistemas de geo-informações (GIS) no Estado de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, VII., Salvador, 1996. *Anais*. Salvador. <http://150.161.200/geodesia-online/arquivo/conea7/>.
- SANTOS, M.C. (1993). O sistema de posicionamento global GPS e sua utilização no gerenciamento urbano, rural e oceânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XVI., Rio de Janeiro, 1993. *Anais*. Rio de Janeiro, SBC. p.208-15.
- SCARIM, J.L.; TEIXEIRA, A. (1994). Digitalização e conversão Raster/Vector de mapas. *FATOR GIS*, n.6, p.16-21, jul./ago./set.
- SEGANTINE, P.C.L. (1995). *Estabelecimento e ajuste de uma rede geodésica no Estado de São Paulo, com o sistema de posicionamento NAVSTAR/GPS*. São Carlos. 225p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SEGANTINE, P.C.L. (1997). *Curso de atualização em topografia e GPS (segundo a norma NBR 13.133)*. Apostila não publicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 164p.
- SILVA, A.N.R.; LIMA, R.S.; RAIA Jr., A.A. (1995). Utilizando um sistema de informação geográfica para estimar viagens em uma cidade de porte médio. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, IX., São Carlos, 1995. *Anais*. São Carlos, ANPET. v.3, p.1173-83.

- SILVA, A.N.R.; MOTTA, S.H.S. (1995). Avaliação do desempenho de um sistema de transporte público urbano com o auxílio de um software para sistemas de informação geográfica. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, IX., São Carlos, 1995. *Anais*. São Carlos, ANPET. v.3, p.1154-60.
- SILVA, R.M. (1997). *Processos de vetorização para uso em SIG (Sistemas de Informações Geográficas)*. Viçosa: Setor de Engenharia de Agrimensura, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.
- SLONECKER, E.T.; CARTER, J.A. (1990). GIS applications of Global Positioning System technology. *GPS WORLD*, May/June, p.50-55.
- STEVENSON, P.J. (1994). *Scanning for Automated Data Conversion of Cartographic Documents*. Columbus, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University (Report n.426) and The Ohio State University Center for Mapping (Report n.CFM-R-94-101).
- TAVARES, P. (1993). Qualidade da base de dados gráfica para o geoprocessamento. *FATOR GIS - A Revista do Geoprocessamento*, n.3, p.40-41, out./nov./dez.
- TEIXEIRA, A.; MORETTI, E.; CRISTOFOLETTI, A. (1992). *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*. Edição de Autor.
- THAPA, K.; BURTCH, R.C. (1991). Primary and Secondary Methods of Data Collection in GIS/LIS. *Surveying and Land information systems*, v.51, n.3, p.162-70.
- TOMMASELLI, A.M.G.; MONICO, J.F.G.; CAMARGO, P.O. (1988). Análise da Exatidão Cartográfica da Carta Imagem "São Paulo", In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, V., Natal, 1988. *Anais*. Natal, SBSR. p.253-57.
- TORGE, W. (1991). *Geodesy*. 2.ed. Berlin, Walter de Gruyter.

UNITED STATES COAST GUARD (1997). *Radionavigation Policy Notes*.
<http://www.navcen.uscg.mil/> (7 jul.), USCG.

UNITED STATES NAVAL OBSERVATORY (1997)., *NAVSTAR GPS Operations*
NAVSTAR Global Positioning System. <http://tycho.usno.navy.mil/gpsinfo.html> (7 jul.),
USNO.

VERONEZ, M.R. (1998). *Proposta de parâmetros de transformação entre os sistemas WGS-84 e o SAD-69 para a região de São Carlos-SP*. 113p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

VIVIANI, E.; SÓRIA, M.H.A. (1995). Aplicação de um SIG no desenvolvimento de sistema de gerência de vias não-pavimentadas. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, IX., São Carlos, 1995. *Anais*. São Carlos, ANPET. v.3, p.1148-53.