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

**ESTUDO DO SINERGISMO ENTRE OS SISTEMAS
DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E O DE
POSICIONAMENTO GLOBAL**

Paulo César Lima Segantine

Texto apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para
obtenção do título de Livre-Docente em concurso realizado pelo
Departamento de Transportes.

**SÃO CARLOS -SP
2001**

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

**ESTUDO DO SINERGISMO ENTRE OS SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E O DE
POSICIONAMENTO GLOBAL**

Paulo César Lima Segantine

Texto apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Livre-Docente em concurso realizado pelo Departamento de Transportes.

SÃO CARLOS - SP
2001

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e a graça alcançada por mais uma etapa em minha profissional.

À minha amada esposa Carmem e meus filhos Filipe e Matheus por estarem sempre ao meu lado com total dedicação, paciência e entendendo, com muito amor, os momentos que não pude estar totalmente presente como marido e como pai, por dedicar-me ao trabalho;

Aos meus pais e meu irmão por todo apoio na feliz convivência de família;

Ao Prof Alfred Leick da Universidade de Maine – EUA - por seu incentivo e presteza de sua atenção quando do desenvolvimento do programa de pós-doutoramento no Spatial Information Science and Engineering Department, daquela universidade;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – pelo apoio financeiro para o estágio no exterior para o desenvolvimento de parte deste trabalho;

Ao Departamento de Transportes da EESC/USP pela oportunidade de mais uma vez realizar um estágio no exterior para o aprimoramento de conhecimentos científicos. Em especial, agradeço ao Prof. Titular José Bernardes Felex pelo constante incentivo no sentido de buscar esta posição na carreira docente;

A todos os meus orientados, Artur, Maurício, Eliana, Ana Paula, Uchôa, Tule, José Maria, César, Mauro e João Chaves que contribuíram de forma significativa nos temas propostos para as pesquisas realizadas;

Aos funcionários do Departamento de Transportes da EESC/USP que me auxiliam, com muito carinho e consideração, em minhas tarefas de ensino e pesquisa. Todos vocês são muito especiais para mim.

Peço desculpas por não citar nominalmente mais algumas pessoas, mas tenham a certeza que vocês têm seus nomes gravados em meu coração. Deus os abençoe.

OFERECIMENTO

A Deus Pai, Deus Filho e Deus Espírito Santo que em todos os momentos sinto sua presença em minha vida, tomando-me em seus braços e combatendo o bom combate à minha frente. Nos momentos de aflição sinto sua presença a me consolar e com seu amor a me envolver, levando todo o desespero para longe de minh'alma. Não posso furtar a oportunidade de agradecer a intercessão constante de Maria, Nossa Mãe Santíssima, junto a Deus Trino por minha vida e de minha família.

*“O Senhor se tornou o meu apoio,
libertou-me da angústia e me salvou
porque me ama”.*

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
OFERECIMENTO	ii
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo geral	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Benefícios esperados	4
1.4 Apresentação do texto	4
2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – HISTÓRICO E CONCEITOS.....	6
2.1 História dos SIGs.....	7
2.2 O que é um SIG?	11
2.3 O que não é um SIG?.....	15
2.4 Definição de um SIG	16
2.4.1 Componentes básicos de uma informação geográfica.....	20
2.4.2 Dados gráficos e não-gráficos	25
2.4.3 Níveis de medições	27
2.5 Entendendo SIG.....	28
2.6 Diferenças entre CADD, AM/FM e SIG	30
2.6.1 CADD.....	30
2.6.2 Sistema AM/FM	32
2.6.3 SIG.....	33
2.7 Formato de dados de um SIG	35
2.7.1 Representações matriciais (raster)	36
2.7.2 Representações vetoriais	38
2.8 A formatação dos dados	39
2.8.1 Tri-Service Spatial Data Standard (TSSDS)	40
2.8.2 Spatial Data Transfer Standard (SDTS)	40
2.8.3 Open Geodata Interoperability Specification (OGIS)	40
3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – FONTE DE DADOS	43
3.1 Generalidades	44
3.2 Técnicas utilizadas para coleta de dados espaciais.....	45
3.2.1 Coleta de dados através de técnicas de levantamento topográfico.....	46
3.2.2 Coleta de dados através do Sistema de Posicionamento Global (GPS)	48
3.2.3 Coleta de dados através da Fotogrametria.....	49
3.2.4 Coleta de dados através da técnica de Sensoriamento Remoto	53
3.2.5 Obtenção de base de dados através da conversão de dados já existentes.....	61
3.2.5.1 Digitalização manual, via mesa digitalizadora.....	62
3.2.5.2 Digitalização automática	63
3.2.5.3 Técnicas de conversões matricial e vetorial	64
3.2.5.4 Medidas para assegurar a qualidade dos dados.....	66

3.3	Entrada de dados espaciais no sistema	67
3.4	Coleta de atributos	67
3.5	Integração de dados GPS/SIG	67
4	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - APLICAÇÕES.....	69
4.1	Generalidades	70
4.2	Por que usar um SIG?	73
4.3	Implantação de um SIG	74
4.4	Aplicações do Sistema de Informação Geográfica.....	79
4.4.1	Monitoramento e levantamento (topográfico e levantamento de campo)	81
4.4.2	Hidrologia, Levantamento Marinho e Glacial.....	81
4.4.3	Levantamento de Solos.....	82
4.4.4	Levantamentos geológicos	82
4.4.5	Levantamentos do meio ambiente	83
4.4.6	Levantamentos demográfico e sócio-econômico	84
4.4.7	Arqueologia e história de localidades.....	85
4.4.8	Aplicações municipais.....	85
4.4.9	Agricultura e planejamento do uso do solo	87
4.4.10	Floresta e gerenciamento do mundo animal selvagem.....	90
4.4.11	Engenharia urbana	91
4.4.12	Cadastro	92
4.4.13	Transportes	93
4.4.14	Localização de entidades	94
4.4.15	Saúde	94
4.4.16	Telecomunicações	95
4.4.17	Segurança pública.....	96
4.4.18	Eventos	96
4.5	Vantagens dos SIGs em relação aos métodos tradicionais de levantamento e gerenciamento do solo	97
4.6	O futuro dos SIGs	98
5	SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL POR SATÉLITES.....	103
5.1	Generalidades	104
5.2	Os Sistema de Posicionamentos Globais através de satélites artificiais.....	104
5.2.1	Sistema TRANSIT.....	104
5.2.2	Sistema GPS	105
5.2.3	Sistema GLONASS	120
5.2.4	Sistema GNSS	125
5.2.5	Sistema GALILEO	126
5.3	Limitações do GNSS	127
5.4	Dados observados com o GNSS.....	128
5.5	Métodos de posicionamento	130
5.5.1	Método absoluto (instantâneo) ou por pontos simples	131
5.5.2	Método estático	132
5.5.3	Método cinemático	133
5.5.4	Método diferencial (DGPS).....	135
5.5.5	Método “Wide Area” DGPS.....	139
5.5.6	Método WAAS	140
5.5.7	Método LAAS	140
5.5.8	Método “Precise Point Positioning” (PPP).....	140

6 SISTEMA DE REFERÊNCIA	144
6.1 Generalidades	145
6.2 Sistema de coordenadas	146
6.3 Sistema de referência temporal.....	152
6.4 Sistema de referência de atributos	152
6.5 Sistema de referência espacial.....	153
6.6 Transformação de coordenadas	158
6.6.1 Transformação de coordenadas polares em coordenadas plano-retangulares	158
6.6.2 Transformação de coordenadas entre sistemas de coordenadas plano-retangulares. ...	159
6.6.3 Transformação de Coordenadas Geográficas Geodésicas em Coordenadas Cartesianas Espaciais e vice-versa.....	160
6.7 Sistema de coordenadas do GNSS.....	164
6.8 Sistema de referências no Brasil.....	169
7 APLICAÇÕES DE DADOS DO GNSS EM SIG	175
7.1 Generalidades	176
7.2 Obtenção de dados para um SIG com receptores GPS.....	178
7.3 A organização dos atributos dos dados.....	181
7.4 Considerações na aquisição de dados para um SIG	183
7.5 Exportando dados GPS para um SIG	184
7.6 Aplicações de dados GPS em SIG.....	185
7.6.1 Agricultura.....	186
7.6.2 Levantamento Cadastral	188
7.6.3 Operação de socorro	191
7.6.4 Meio ambiente	191
7.6.5 Monitoramento de veículos	191
8 INFORMAÇÕES DO GNSS APLICADAS AO SIG.....	194
8.1 Generalidades	195
8.2 Ionosfera	195
8.3 Refração ionosférica.....	196
8.4 Atraso de valores devido à variação ionosférica	203
9 PESQUISAS REALIZADAS	209
9.1 Projetos futuros.....	214
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	216
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	219
ANEXO	224

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: O significado do termo SIG.	12
Figura 2.2: Composição de um SIG.	13
Figura 2.3: Funções de um SIG.	19
Figura 2.4: Os principais componentes de um computador necessários para um sistema de informação geográfica.	21
Figura 2.5: A informação é essencial para a elaboração de um SIG.	21
Figura 2.6: Os principais componentes de um sistema de programas de um SIG.	22
Figura 2.7: Entrada de dados.	22
Figura 2.8: Os componentes de um banco de dados geográfico.	23
Figura 2.9: Saída e apresentação dos dados.	23
Figura 2.10: Transformação de dados.	24
Figura 2.11: Aspectos organizacionais de um sistema de informação geográfica.	24
Figura 2.12: Componentes básicos de um SIG.	25
Figura 2.13: Um SIG é, em essência, uma rotina de planilha espacial acoplada a bancos de dados gráficos e/ou não-gráficos.	26
Figura 2.14: Ícones previamente estabelecidos e outros símbolos definidos para as várias camadas de um SIG. Isto permite aos usuários agrupar uma certa quantidade de informações alfanuméricas convenientemente dentro do computador.	27
Figura 2.15: (1) observações e medições do mundo real; (2) representação conceitual da realidade; (3) análise do modelo conceitual; (4) representação digital do modelo conceitual.	28
Figura 2.16: Arquitetura de um SIG.	29
Figura 2.17: Elementos básicos de um CADD.	31
Figura 2.18: (a) Geometria primitiva pode ser categorizada como ponto, linha área, superfície e volume; (b) Topologia primitiva.	34
Figura 2.19: Tipos de dados de um SIG: modelos vetorial e matricial.	36
Figura 2.20: Ilustrações de representação de dados matriciais (raster).	37
Figura 3.1: Coleta de dados espaciais.	46
Figura 3.2: Teodolito eletrônico TM5005.	47
Figura 3.4: Estação Total modelo TCR702.	48
Figura 3.5: (a) Operadora com o sistema GS50 GPS/GIS executando coleta de dados; (b) Sensor e coletora do sistema GS50 GPS/GIS.	49
Figura 3.6: Foto aérea do Campus da Escola de Engenharia de São Carlos da USP (EESC/USP), obtida em 1998.	51
Figura 3.7: Restituídor digital SOCET SET da LH-Systems. O software deste sistema pode ser utilizado em plataforma Windows NT ou em plataforma UNIX.	52
Figura 3.8: Imagem LANDSAT TM da banda 3 da cidade de São Carlos (SP).	54
Figura 3.9: Extrato da imagem monocromática do LANDSAT 7 de Brasília (DF).	55
Figura 3.10: Imagem do sistema SPOT do Município de Hiaras (SP).	56
Figura 3.11: Extrato imagem SPOT 4 mod PAN, 10 m de resolução, tomada em 03/04/97, da cidade de Guarulhos-SP.	57
Figura 3.12: Imagem adquirida em 4/3/2000 quando da passagem do satélite IKONOS II sobre o território brasileiro. Apresenta-se nesta imagem a região da Marina da Glória, Aterro do Flamengo e Aeroporto Santos Dumont na cidade do Rio de Janeiro (RJ).	58
Figura 3.13: Extrato de cena do IKONOS II Modo PAN, da Avenida Paulista, São Paulo (SP), com 1 metro de resolução, adquirida em 04-04-2000.	59

Figura 4.1: A árvore do SIG. As raízes representam as ciências básicas fundamentais do SIG. Os galhos representam as aplicações e os resultados realimentam as raízes. A chuva que cai são a origem dos dados nas quais as aplicações individuais são dependentes.....	71
Figura 4.2: Exemplos de algumas aplicações da tecnologia SIG.....	81
Figura 4.3: Máquina colheitadeira equipada com receptor GPS e um SIG para realização da colheita agrícola.	88
Figura 4.4: Avião equipado com receptor GPS e SIG para a aplicação de insumos agrícolas na plantação.....	89
Figura 4.5: Organizações federais, estaduais, municipais e privadas que são usuários potenciais dos SIGs na engenharia urbana.	91
Figura 4.6: Conceito de dados em comum de um SIG.....	98
Figura 4.7: Tecnologias de Geoprocessamento.....	102
Figura 5.1: Ilustração do histórico do sistema GPS.	106
Figura 5.2: Precisão do posicionamento absoluto de pontos, sob e após a exclusão do efeito SA.	109
Figura 5.3: Segmentos do sistema GPS.....	110
Figura 5.4: Ilustração da configuração final da constelação de satélites do sistema GPS.	111
Figura 5.5: Ilustração do segmento de controle do sistema GPS.	115
Figura 5.6: Ilustração da distribuição geográfica das estações de monitoramento.	115
Figura 5.7: Estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, do IBGE.....	117
Figura 5.8: Rede Brasileira do INCRA.	118
Figura 5.9: Ilustração dos diferentes tipos de aplicações do sistema GPS.....	119
Figura 5.10: (a) Precisão do sistema GLONASS; (b) Comparação na precisão do posicionamento entre os sistemas GPS e GLONASS.....	122
Figura 5.11: Ilustração dos planos orbitais do sistema GLONASS.	123
Figura 5.12: Pseudodistâncias para cinco satélites.....	129
Figura 5.13: (a) Repetibilidade da estação BASE-STT, pelo método de posicionamento absoluto; (b) antena sobre o STT/EESC/USP.	131
Figura 5.14: Método de posicionamento estático.....	133
Figura 5.15: Método de posicionamento cinemático.	134
Figura 5.16: Ilustração do funcionamento do método de posicionamento DGPS.....	135
Figura 5.17: Estações DGPS nas áreas costeiras dos continentes.	137
Figura 5.18: Ilustração do funcionamento do sistema WADGPS.....	139
Figura 5.19: Repetibilidade da posição da estação CMP9, considerando 1 hora de observação. ...	142
Figura 5.19: Repetibilidade da posição da estação CMP9, considerando 24 horas de observação.	143
Figura 6.1: Sistema de coordenadas geográficas geodésicas.	148
Figura 6.2: O Sistema de Coordenadas Cartesiano Espacial.....	149
Figura 6.3: Sistema de Coordenadas Retangulares.	150
Figura 6.4: Sistema de Coordenadas Planas Retangulares usado na Geomática, no Brasil.....	150
Figura 6.5: Sistema de Coordenadas Plano Retangular usado na Projeção UTM.....	151
Figura 6.6: Sistema de Coordenadas Polares.	152
Figura 6.7: (a) Sistemas de coordenadas Cartesiano, no plano (2D); (b) Sistema de Coordenadas Cartesiano, no espaço (3D); (c) Sistema de Coordenadas Polar; (d) Sistema de Coordenadas e Polar Geodésico (Geográficas).	154
Figura 6.8: Coordenadas Cartesianas num sistema de referência geodésico.	155
Figura 6.9: Representação das coordenadas geográficas geodésicas de um ponto.	156
Figura 6.10: Coordenadas geográficas: Cartesianas X, Y, Z e geodésicas (ϕ, λ, h)	158
Figura 6.11: Rotação de um plano.....	159
Figura 6.12: Relação entre coordenadas geodésicas e cartesianas.	161
Figura 6.13: Ilustração da transformação de coordenadas entre os sistemas SGS85 e WGS84.	166
Figura 6.14: Relação entre sistema sistemas cartesianos.	169
Figura 7.1: Estrutura de um SIG para a Agricultura de Precisão.	187
Figura 7.2: Princípios básicos da agricultura de precisão.	187

Figura 7.3: GPSVan.....	189
Figura 7.4: Aplicação do método cinemático de coletado de dados com o sistema GPS no campo de futebol da UMaine, EUA.....	190
Figura 8.1: As camadas e a densidade eletrônica da ionosfera.	196
Figure 8.2: GPS derivados de valores TEC além do continente dos EUA.....	202
Figura 8.3: Estações CORS	202
Figura 8.4: Variação TEC na estação CORS_ORO_ localizada em Orono, ME.....	204
Figura 8.5: Variação TEC na estação CORS_SKH1 localizada em Sand Hook 1, NJ.	204
Figura 8.6: Variação TEC na estação CORS_GAIT localizada em Gaithersburg, MD.....	204
Figura 8.7: Variação TEC na estação CORS_ATL1 localizada em Atlanta, GA.	205
Figura 8.8: Variação TEC na estação CORS_MIA3 localizada em, FL.	205
Figura 8.9: Variação TEC na estação CORS_PUR3 localizada em Isabela, Porto Rico.	205
Figura 8.10: Variação média TEC para as estações CORS ORO_, SHK1, GAIT, ATL1, MIA3 e PUR3 para DIA152, DIA153 e DIA154, 1999.....	206
Figura 8.11: Variação do TEC para as estações CORS_ORNO, SHK1, GAIT, ATL1, MIA3 e PUR3 para DOY152, DOY153 e DOY154, 1999.....	207
Figura 8.12: Variação do TEC para as estações da rede geodésica do estado de São Paulo para os dados relativos as campanhas realizadas em 1994.	207

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Resumo das vantagens e desvantagens dos formatos matricial e vetorial:.....	39
Tabela 3.1: Vantagens e desvantagens do uso do sistema GPS.	49
Tabela 3.2: Bandas e Faixa espectral do sensor TM do LANDSAT-5.	54
Tabela 3.3: Características dos principais sistemas orbitais que disponibilizam dados para o Brasil:	60
Tabela 3.4: Técnicas de coleta de dados para SIG.	66
Tabela 5.1: Características dos sistemas GPS e do TRANSIT.	107
Tabela 5.2: Componentes dos sinais emitidos pelos satélites.	113
Tabela 5.3: O novo programa de desenvolvimento do sistema GPS.	114
Tabela 5.4: “Status” da constelação GLONASS (válido para o dia 06/07/2001).	121
Tabela 5.5: Acurácia e disponibilidade aproximada dos produtos IGS	141
Tabela 6.1: Exemplos de Coordenadas Geográficas Geodésicas de dois pontos na cidade de São Carlos (SP), referentes ao elipsóide WGS84.	148
Tabela 6.2: Exemplos de Coordenadas Cartesiano Espaciais de dois pontos na cidade de São Carlos (SP), referentes ao elipsóide WGS84.	149
Tabela 6.3: Conteúdo de informações de um sistema de referência de atributos.....	152
Tabela 6.4: Parâmetros físicos e geométricos do sistema WGS84.....	165
Tabela 6.5: Organização do IERS.	167
Tabela 6.6: Parâmetros de transformação entre o ITRF92 e ITRF94 e ITRF93 e ITRF94.....	169
Tabela 6.7: Elementos definidores do elipsóide terrestre.....	171
Tabela 7.1: Níveis de acurácia de receptores GPS	177
Tabela 7.2: Sugestão para modo de processamento de dados GPS para aplicações em SIG.....	178
Tabela 7.3: Resumo da classificação de receptores.....	180
Tabela 8.1: Coordenadas Geodésicas de estações CORS, relativas ao ITRF97.....	203
Tabela 8.2: Código numérico para identificação dos marcos geodésicos da rede geodésica GPS do estado de São Paulo e a cidade de sua localização.	208

RESUMO

Apresenta-se neste texto, de forma abreviada, um histórico, conceitos e as principais características dos Sistemas de Informação Geográfica e os de Posicionamento Global por satélites artificiais. As aplicações do Sistema de Informação Geográfica (SIG) têm demonstrado sua utilidade em análises e tomadas de decisões e o Sistema de Posicionamento Global (GPS) vem consolidando a sua importância na definição de coordenadas de pontos sobre a superfície terrestre. O sinergismo entre estas tecnologias vem demonstrando, através de suas aplicações, ser uma poderosa ferramenta para os profissionais da área de Mensuração e outros que necessitem deste recurso em suas atividades. São também apresentados os sistemas de referências mais comuns utilizados pela cartografia nacional e as transformações de coordenadas entre estes sistemas. Finalmente são apresentados as pesquisas realizadas pelo autor, ou sob sua orientação, ao longo de sua vida acadêmica e alguns projetos futuros explorando as tecnologias SIG e GPS, de forma a consolidá-los como instrumento de trabalho nas geotecnologias.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, SIG, Sistema de Posicionamento Global, GPS, sinergismo, sistemas de referências, coordenadas geográficas.

ABSTRACT

This text reviews, in a condensed way, a historical, the concepts and the main characteristics of the Geographic Information and Global Positioning Systems. The Geographic Information System (GIS) applications have shown its utility in decisions and analysis and the Global Positioning System have solidified its importance to define point's coordinates over the earth surface or nearby it. The synergism between those technologies have shown, through theirs applications, that is a powerful tool for professionals of Surveying area and others that need this resource in their activities. There are also presented the most common references systems used by national cartography and the coordinates transformation among those systems. At the end, there are presented the researches developed by the author, or under his advisory, during his academic life and some future projects using the GIS and GPS technologies as an instrument of work in geotechnologies.

Keywords: Geographic Information System, GIS, Global Positioning System, GPS, synergism, references systems, geographics coordinates.

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo fornecer uma visão panorâmica deste volume, bem como a estrutura do presente texto, com a motivação que levou o autor a produzi-lo, e a apresentação dos objetivos e benefícios esperados.

***“Foram minhas pesquisas que
me levaram a Deus”.***
*(Antoine Henri Becquerel, 1852-1908.
Prêmio Nobel de Física de 1903)*

1.1 Apresentação

O presente texto tem por objetivo apresentar parte da obra do autor, ao longo de sua vida acadêmica, no campo de conhecimento *Mensuração*. Particular atenção tem sido dada nos últimos anos ao estudo e pesquisas nas áreas de Cartografia, Sistema de Informação Geográfica e ao Sistema de Posicionamento Global, com suas aplicações nas diversas áreas, em especial ao Transporte. Neste sentido, o texto apresentado não tem caráter de originalidade, mas constitui um texto que sintetiza as contribuições das citadas áreas e apresenta os resultados dos trabalhos realizados e orientados pelo autor, retratando o seu envolvimento no projeto do estudo da integração e a interdisciplinaridade entre diversas áreas do conhecimento da Mensuração.

O reflexo direto da realidade tecnológica em que vivemos têm levado prefeituras, concessionárias de serviços públicos (energia, saneamento e telecomunicações) a valorizar a informação correta, atualizada, precisa, de fácil acesso e apresentada de forma conveniente nos momentos de tomada de decisão. A disponibilidade de informação com estas características é um fator de aproximação entre os prestadores de serviço e a população usuária. Os órgãos públicos e as prestadoras de serviço têm, nos últimos anos, aprimorado o atendimento e buscando manter seus clientes informados sobre suas ações, para que seja possível obter desses clientes uma avaliação positiva.

A maioria das informações relativas ao meio ambiente (urbano, rural, marinho etc) tem associada de alguma forma a referência geográfica, como por exemplo, o endereço, bairro, CEP, nome da rodovia, etc. Assim, o Sistema de Informação Geográfica – SIG - passa a desempenhar o papel de uma poderosa ferramenta de trabalho para realizar a integração de bancos de dados. Desta forma, os SIGs tornam-se recursos tecnológicos que permitem organizar e acessar a informação, com base em conceitos muito próximos da população em geral.

O termo Geographic(al) Information System tem sido traduzido no meio técnico nacional de algumas maneiras que têm causado controvérsias. Alguns traduzem com Sistema Geográfico de Informação (SGI) ou como Sistema de Informação Geográfica (SIG). Este último, no entanto, tornou-se quase consenso na comunidade de usuários e no meio acadêmico e será o termo usado neste trabalho.

A tecnologia do Sistema de Informação Geográfica não é um mero auxílio à produção cartográfica. É uma tecnologia que oferece ferramental operacional que auxilia e agiliza os procedimentos de planejamento, gerenciamento e de tomadas de decisões e que por isso vem sendo utilizada de forma cada vez mais promissora nas mais diferentes áreas de conhecimento. Uma das áreas com grande potencial para se servir desta tecnologia é a Engenharia de Transportes, que vem a cada dia ampliando o seu uso em suas atividades. Como exemplos de aplicação na área de transportes, pode-se apresentar os SIGs destinados ao tratamento de dados georreferenciados para desempenhar um papel importante no desenvolvimento de um sistema de práticas de gerência para conservação de vias pavimentadas e não-pavimentadas; no controle e roteirização da coleta de lixo; no planejamento e controle de tráfego, etc.

Um SIG tem por característica a velocidade na manipulação dos dados e a sua capacidade de associação do posicionamento geográfico com informações, permitindo integração, cruzamento e consulta utilizando recursos visuais e de armazenamento. Mas, o ponto chave destes sistemas é quanto a aquisição de dados. Um SIG precisa de uma base geométrica que pode ser fornecida por diversas tecnologias e seus métodos, como por exemplo, os dados de coordenadas de um ponto, que podem ser coletados pela tecnologia do Sistema de Posicionamento Global por satélites artificiais (GNSS) através do método estático.

O sistema GNSS é um sistema de multi-propósitos, que permite ao usuário determinar sua posição expressa em latitude, longitude e altura geométrica (elipsoidal); em função de coordenadas geográficas cartesianas X,Y e Z em relação ao centro geométrico de um elipsóide coincidente com o centro de massa da terra. É um sistema de navegação e de posicionamento que oferece uma alta precisão com muita rapidez. Por isso, pode ser usado em qualquer aplicação que exija informações sobre posicionamento, como por exemplo, a navegação de frotas de aviões, caminhões, ônibus, trens, policiamento motorizado, etc.

A grande vantagem do sistema GNSS é a sua capacidade de integração com outros sistemas. Aliado a um sistema de coordenadas e informações geográficas produz mapas; aliado a mapas facilita a navegação; aliado a mapas digitais ou a um SIG e a um sistema de comunicação, produz um sistema de controle.

Após pesquisas realizadas nos últimos anos, percebe-se a necessidade de um estudo mais apurado relativo a uma melhor adequação do nível de informação que pode ser extraído dos sistemas de posicionamentos globais. Estes sistemas são capazes de gerar um grande volume de informações, que em muitos casos não estão sendo usados em toda a sua potencialidade. Neste sentido, têm-se apresentado um crescente número de pesquisas buscando mostrar a viabilidade do sinergismo entre as tecnologias SIG e GNSS com as demais áreas de conhecimento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O texto tem como objetivo geral a apresentação da viabilidade do uso de informações obtidas a partir do uso da tecnologia de posicionamento de pontos, através de sinais emitidos por satélites artificiais, em Sistemas de Informação Geográfica.

1.2.2 Objetivos específicos

- ❖ Apresentar um texto contendo o histórico, definições correntes, características principais, as aplicações e a potencialidade de uso dos Sistemas de Informação Geográfica e de Posicionamento Global;
- ❖ Apresentar a viabilidade do uso da tecnologia de Posicionamento Global como fonte de dados de entrada para Sistemas de Informação Geográfica;
- ❖ Apresentar os conceitos que devem ser levados em consideração no entendimento da informação para fazer parte dos bancos de dados de Sistemas de Informação Geográfica;
- ❖ Apresentar os diferentes tipos de tecnologias bem como os métodos a elas associados como fontes de captação de dados que geram informações para a criação de bancos de dados a serem usados em Sistemas de Informação Geográfica;
- ❖ Apresentar um exemplo específico de informação que pode ser retirada dos dados coletados pela tecnologia do Sistema de Posicionamento Global por satélites artificiais (GNSS) e serem inseridos num SIG;

1.3 Benefícios esperados

O autor pretende com este texto demonstrar a viabilidade do uso de diferentes tecnologias para geração de informações que sirvam de base para tomada de decisão. Nos últimos anos, pesquisadores têm buscado apresentar soluções de problemas aplicando o sinergismo entre diferentes tecnologias. Pretende-se demonstrar que informações geradas a partir do Sistema de Posicionamento Global podem e devem ser amplamente utilizadas, com segurança, como fonte de dado para o Sistema de Informação Geográfica. Além disso, pretende-se que este texto venha servir de texto básico para aqueles que estejam iniciando o aprendizado destas tecnologias.

1.4 Apresentação do texto

Com o intuito de tornar este texto acadêmico e didático, ele é dividido em dez capítulos, onde a Introdução corresponde ao primeiro capítulo. Em todos os capítulos, o autor utiliza, com muita frequência, notas explicativas de rodapé de páginas, definindo ou explicando o significado ou terminologias comuns à área de Mensuração. Apresenta-se a seguir, um breve relato do que é tratado em cada capítulo.

O segundo, terceiro e o quarto capítulos tratam a respeito da tecnologia do Sistema de Informação Geográfica. O segundo capítulo apresenta uma visão geral desta tecnologia. O capítulo foi elaborado de modo a relatar o contexto histórico e as principais definições e conceitos. Apresenta-se a diferença conceitual entre este sistema e outros sistemas que também realizam a tarefa de representação gráfica a partir de bancos de dados. Além disso, apresentam-se também as justificativas que levam os mais diversos tipos de empresas privadas e públicas a lançarem mão desta tecnologia. O capítulo também aborda os tipos de formato dos dados e contém uma discussão quanto à formatação dos dados para a sua utilização em diferentes tipos de sistemas.

O terceiro capítulo aborda as relações dos Sistemas de Informações Geográficas e as diversas áreas do conhecimento, quais são as justificativas quanto ao uso e quais são as principais considerações levadas em conta na implantação desta tecnologia.

No quarto capítulo apresentam-se diversos tipos de aplicações possíveis para estes sistemas. Fica clara a potencialidade e a diversificação de aplicações deste sistema e a riqueza de informações que podem ser obtidas quando o mesmo é aplicado de forma correta.

No quinto capítulo, tratamos a respeito dos sistemas de posicionamentos globais, com suas características, métodos para coleta de dados e determinação das coordenadas de pontos, tipos de dados coletados e limitações destes sistemas.

No sexto capítulo, apresentamos de forma sucinta os principais sistemas de referências utilizados pelos sistemas de posicionamento globais e pela Mensuração. Ademais, apresentam-se os sistemas referenciais utilizados em nosso país.

O sétimo capítulo tem por objetivo apresentar uma discussão a respeito da precisão dos dados coletados por receptores do sistema de posicionamento global, como se realizam as transferências de dados e as principais aplicações destes dados em SIGs.

O oitavo capítulo relata uma aplicação particular de um tipo de informação que pode ser obtida a partir dos dados da tecnologia GNSS e inserida num SIG. O estudo de caso, ora analisado, é a obtenção da variação do conteúdo total de elétrons da ionosfera. Apresenta-se também um breve relato da ionosfera e sua influência na precisão das coordenadas obtidas por posicionamento global.

O nono capítulo apresenta uma resenha das pesquisas orientadas, ao nível de mestrado e doutorado, e os projetos em andamento que fazem parte da linha de pesquisa do relator.

INTRODUÇÃO

O décimo capítulo apresenta algumas considerações finais com algumas conclusões e sugestões para trabalhos a serem desenvolvidos em futuro próximo, dentro os quais se inclui a produção de material didático para ensino a curta e longa distância relativa a Geodésia Celeste e Sistema de Informação Geográfica. O último capítulo apresenta as referências bibliográficas que serviram de base para o desenvolvimento do texto apresentado.

2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – Histórico e Conceitos

Este capítulo tem por objetivo apresentar o contexto histórico do surgimento da tecnologia de Sistema de Informação Geográfica, bem como o que são estes sistemas, quais as definições e conceitos de uso mais freqüente, quais as tecnologias que foram precursoras, o desenvolvimento e formato dos dados que podem ser utilizados em suas análises.

*“Quanto mais acredito na ciência, mais
acredito em Deus. O universo é
inexplicável sem Deus”.
(Albert Einstein 1879-1955.
Prêmio Nobel de Física de 1921)*

2.1 História dos SIGs

Um breve resumo da história dos SIGs envolve o relato da proliferação de tecnologias de equipamentos e sistemas computacionais. A difusão desta tecnologia tem alterado várias funções rotineiras de trabalho, bem como tem levado a sociedade a trabalhar de forma diferente no seu dia a dia e a fazer uso de suas funcionalidades.

Historicamente, o homem desde as primeiras civilizações sempre se preocupou com o processamento de informações geográficas para seu posicionamento. A necessidade da existência de um sistema de coordenadas que melhor atendesse as especificidades de seu uso foi sendo percebida ao longo dos anos. Em civilizações mais antigas, a obtenção e a geração de informações geográficas era muito limitada, provavelmente devido às dificuldades da coleta de *dados*¹, da representação gráfica e de transmissão da *informação*². As primeiras representações gráficas foram realizadas em placas de argila, em rocha e mais tardiamente em papel.

As diversas decisões que envolvem conceitos tais como os de distância, direção, adjacência, localização relativa e tantos outros conceitos espaciais mais complexos são tomadas regularmente pelo homem, mas de modo geral, de maneira intuitiva. Dessa forma, o homem se viu obrigado ao longo dos séculos a desenvolver uma forma eficiente de armazenar informações e suas complexas relações espaciais. Daí surgiu o mecanismo analógico de armazenamento de *dados espaciais*³ conhecido como *mapa*⁴.

Documentos históricos comprovam a existência de mapas desde as primeiras civilizações. Um mapa consiste num conjunto de símbolos relacionados espacialmente entre si, onde a posição dos símbolos faz parte integral da informação que se deseja representar. Uma das técnicas mais antigas usadas na representação de informações geográficas é o mapa. Os mapas são resultados de uma tecnologia implantada ao longo de civilizações, sendo uma boa maneira de se representar e controlar temporalmente as feições, ou seja, as informações geográficas. Ressalta-se que os primeiros mapas apresentavam um grau de detalhamento muito baixo, em face da qualidade das informações (dados) usadas na elaboração do mesmo. Basicamente, os mapas apresentam a mesma forma de representação ao longo dos anos.

Os mapas eram elaborados para uma certa época do tempo e a sua atualização era prejudicada pelo alto custo de operação. O caráter estático do mapa gerava uma limitação de seu uso quanto a sua flexibilidade. Além disso, pode-se considerar que os mapas são estruturas de representações complexas e muitas vezes requerem a presença de um especialista para extrair ou inferir informações numa determinada área de interesse. A criação de mapas exige o levantamento de dados, medições de seus valores e localização, padronização, armazenamento e finalmente apresentação.

¹ É comum o emprego dos termos “dado” e “informação” como sinônimos, mas é importante dizer que estes termos não têm o mesmo significado, existindo entre eles uma diferença semântica. Define-se *dados* como o conjunto de valores, numéricos ou não, sem significado próprio.

² É o significado que o ser humano atribui aos dados. Pode-se dizer também que é o conjunto de dados que possuem significado para determinado uso ou aplicação. Em outras palavras, é o resultado obtido da coleta de dados ou da organização de dados por um determinado processo.

³ Denota quaisquer tipos de dados que descrevam fenômenos aos quais esteja associada uma dimensão espacial, ou seja, são aqueles que incluem informações sobre posicionamento, topologia e atributos de objetos registrados.

⁴ Os mapas têm sido um meio útil para armazenar informações, conceber idéias, analisar conceitos, prever acontecimentos, tomar decisões sobre geografia e, finalmente, possibilitar a comunicação entre os seres humanos. Originariamente, os mapas eram usados para descrever lugares longínquos, como auxílio para a navegação e estratégias militares, mas a medida que avançaram os estudos científicos sobre a superfície terrestre, houve a necessidade da criação de diferentes tipos de mapas.

Antes do advento da tecnologia *Sistema*⁵ de Informação *Geográfica*⁶ estar disponível, os sistemas tradicionais de informação utilizavam o processo de localização de um dado relacionado-o com relatórios em forma de tabelas, gráficos ou mapas. Estes relatórios tinham importância quando possuíam um mapa ou um conjunto de mapas como referência.

Uma das grandes barreiras para o progresso dos SIGs foi e ainda podemos dizer que tem sido a tendência de apegar-se aos mapas plotados como um modelo de desenvolvimento digital. Nos dias atuais, os modernos SIGs têm substituído os mapas por *bancos de dados*⁷ acessados por sistemas computacionais. Com o desenvolvimento das diferentes áreas do conhecimento, os mapas passaram a ser uma forma eficaz de “guardar informações”. A sobreposição de mapas em folhas transparentes permite a análise da existência de correlação entre os dados. Assim, surgiram os *mapas temáticos*⁸, que contêm informações relativas a um ou mais temas. O mapa temático pode ser qualitativo, como um mapa do uso do solo, ou quantitativo, como mapas de curvas de níveis. É importante frisar que a obtenção de mapas temáticos desta forma é um processo lento e oneroso.

Quando se fala, no contexto histórico, a respeito do desenvolvimento tecnológico, não se pode esquecer a menção da grande contribuição histórica da Revolução Industrial em vários campos das ciências e das artes. Quando se fala a respeito da tecnologia do SIG, os conceitos diferem um pouco, pois não se refere apenas aos equipamentos computacionais, ou seja o *hardware*⁹, mas sim aos sistemas computacionais (programas), a engenharia envolvida e mais recentemente as diversas aplicações dada a esta tecnologia. BATTY (1999) afirma “... a tecnologia SIG envolve claramente os programas computacionais, mas também inclui os dados, diversos tipos de aplicações e os diferentes tipos de organizações que utilizam esta tecnologia. Os equipamentos, os sistemas computacionais, os dados e a organização destes elementos encerram esta tecnologia. Como as informações digitais, estão surgindo para dominar diversas atividades em nosso dia a dia e, por conseguinte os SIGs estão, cada vez mais, sendo inseridos na infra-estrutura de nossa sociedade ...”. Com isso, a informatização dos dados passou a ser justificada pela possibilidade da realização de serviços de forma integrada, manipulando-se dados complexos, agilizando-se o processo quando da realização de tarefas de difícil execução manual. Do exposto, BURROUGH (1989) ressalta que os diferentes aspectos da superfície terrestre não funcionam de formas independentes e sim de forma integrada e multidisciplinar.

O desenvolvimento do primeiro computador eletrônico, na década de 40, marcou o início da era da computação, revolucionando as Geociências e várias áreas de conhecimento. As primeiras

⁵ É um conjunto de elementos, objetos ou idéias, caracterizadas por um número de atributos, para os quais se possa encontrar ou definir um relacionamento entre eles e entre seus atributos. Então, sistema representa a disposição das partes ou dos elementos de um todo, coordenados entre si, e que funcionam como estrutura organizada (HALL & FAGEN *apud* PAREDES, 1999). Segundo TEIXEIRA (1992), é definido como um conjunto de entidades (elementos ou coisas) relacionadas ou conectadas, de forma a constituírem uma unidade ou um todo, possuindo características próprias, subordinadas a processos de transformação conhecidos.

⁶ Sistema de Informação Geográfica – SIG – advém da tradução do termo da língua inglesa Geographic (ou Geographical) Information System. É comum em textos de língua portuguesa o uso corrente da sigla “SIG” e algumas variações deste termo. Pode-se encontrar as seguintes denominações: Sistema de Informação Geográfica, Sistema de Informações Geográficas e Sistema Geográfico de Informações. Cada uma dessas denominações é usada com argumentos convincentes por seus adeptos. O autor não quer, no momento discutir qual o termo é o correto, uma vez que a terminologia a ser usada não interfere no resultado do uso da tecnologia.

⁷ É um sistema cujo objetivo é registrar e manter a informação.

⁸ São mapas que mostram uma região geográfica particionada em elementos gráficos semelhantes, por exemplo polígonos, segundo valores relativos a um único tema (por exemplo, as curvas de níveis de uma região). Os valores dos dados são em geral inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens.

⁹ Coletivo para todos os equipamentos fisicamente associados a um sistema de computadores.

tentativas de automatizar o processamento de *dados georreferenciados*¹⁰ (ou dados geográficos) ocorreram nos EUA (para análise de tráfego na cidade de Chicago) e na Inglaterra (para análise em botânica) na década de 50, como um meio de sobrepor e combinar diversos tipos de dados e com o objetivo de reduzir os custos de produção e atualização de mapas. O SIG foi originariamente idealizado no início da década de 60 por pesquisadores de diversas universidades e agentes governamentais dos EUA, Canadá e alguns países europeus. O governo canadense investiu esforços num plano estratégico para criar um inventário automatizado de recursos naturais e uso do solo, que resultou no Canadian Geographic Information System - CGIS, em 1964. Em 1967, a agência US Bureau of Census dos EUA coordenou o processamento de dados geográficos elaborando o programa Geographic Base File/Dual Independent Map Encoding – **GBF/DIME**¹¹ e no mesmo ano surgiu o New York Landuse and Natural Resource Information; e, em 1969, o Minnesota Land Management Information System.

Nos anos 70, foram desenvolvidos os fundamentos matemáticos voltados para a Cartografia, surgindo aí a **Topologia**¹² Aplicada que permite análises espaciais entre os elementos cartográficos. É importante citar que devido ao alto custo de implantação, por alguns anos, o uso do SIG ficou restrito apenas às agências governamentais americanas e canadenses. Atualmente, os SIGs passam por uma fase de confirmação. O meio técnico, que antes tinha dificuldades em compreender exatamente o que era um SIG, atualmente conhece suas vantagens e dificuldades. Passou a fase de euforia e estamos na fase da maturidade. Os sistemas em implantação são mais bem estruturados e com maiores possibilidades de atendimento aos seus objetivos e à realidade para a qual eles foram implantados.

Também na década de 70 houve um grande impulso no processamento de imagens e Sensoriamento Remoto, que contribui para uma maior disponibilidade de dados de alimentação de sistemas. Continuaram também os avanços no tocante a memórias e velocidade de processamento dos equipamentos, além de uma maior capacidade de interação e redução de preço dos sistemas, fazendo com que órgãos governamentais, universidades e empresas privadas pudessem arcar com os custos de aquisição. Este período foi marcado pela grande difusão dos SIGs.

O uso do Sistema de **Informação Geográfica**¹³ passou a ser, nos últimos anos, mais difundido com a redução dos custos das estações de trabalho, computadores pessoais e a captação e elaboração dos dados. O objetivo primário do uso de um SIG visava representar a geografia terrestre usando dados gráficos e não-gráficos em computadores, tanto na sua apresentação em monitores quanto na plotagem em papel.

Ao longo das últimas décadas, um significativo número e variedade de indústrias têm se dedicado ao desenvolvimento e marketing de SIGs. Após o advento desta tecnologia, tem sido apresentada uma grande variedade de aplicações, como por exemplo, no manuseio e gerenciamento ao planejamento de cidades, distribuição e cobrança de tributos e outros tipos de facilidades (serviços).

¹⁰ O termo denota dados que descrevem fatos, objetos e fenômenos do globo terrestre associado à sua localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período de tempo.

¹¹ Este programa serviu durante muito tempo como método padrão para codificar os dados dos censos e posterior geração de mapas experimentais. Esse programa foi a base para os SIGs urbanos.

¹² É a estrutura de relacionamento de dados espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que se pode estabelecer entre objetos geográficos. Em outras palavras, é a maneira de representação de características de pontos, linhas, áreas em mapas. As estruturas topológicas são apenas um dos recursos utilizados para materializar os relacionamentos espaciais entre objetos mantidos por bancos de dados geográficos.

¹³ É um conjunto de dados (físicos e sociais) cujo significado contém uma associação ou relação com uma localização específica, KUBO (1985) *apud* PAREDES (1999).

Várias áreas de conhecimentos, tais como a Cartografia Digital, Fotogrametria Digital, Sistema de Posicionamento Global, Sensoriamento Remoto, etc. têm convergido idéias no sentido de ampliar e criar uma interdisciplinaridade entre e com os diversos tipos de SIGs. Cada uma destas áreas tem alcançado uma alta taxa de desenvolvimento e isso tem exigido um grande esforço no sentido de uma perfeita integração entre elas. Os SIGs apresentam como uma grande característica a possibilidade de *integração de dados*¹⁴ de diferentes fontes de informações, explorando os avanços das tecnologias afins envolvidas.

Os primeiros SIGs eram baseados em informações vetoriais e isso representava uma limitação para o armazenamento de informações advindas de imagens de satélites. Estes tipos de informações são resultantes de inferências computacionais e são classificadas num tipo de formato denominado de *raster*¹⁵ que é uma forma de representação de um dado espacial. Os SIGs atuais podem integrar informações raster com outros tipos de formatos.

COPPOCK & RHIND (1991)¹⁶ apresentam que o processo evolutivo dos SIGs passou por vários estágios até atingirem o nível de sofisticação que temos em nossos dias. Os autores apresentam o processo evolutivo dividido em quatro fases:

1. **Primeira fase (1960 – 1975):** Este período é considerado como “pioneiro” quando os destaques do desenvolvimento da tecnologia ocorreram por esforços pessoais;
2. **Segunda fase (1975 – até início da década de 1980):** O grande destaque desta fase foi a regularização das experiências práticas e o surgimento de órgãos oficiais nacionais que se comprometeram com o desenvolvimento da tecnologia;
3. **Terceira fase (até o final da década de 1980):** Caracterizou-se pela competição no setor comercial, reforçando a dinamização do desenvolvimento da tecnologia;
4. **Quarta fase (década de 1990):** Foi um período em que os usuários começaram a ter conhecimento do potencial dos SIGs, surgindo uma competição acirrada entre as empresas fornecedoras de software. Um fato que marcou este período foi a necessidade de uma padronização no formato dos dados para que diferentes softwares fossem capazes de ler dados de diferentes fontes e formatos. Também é importante citar que houve melhorias consideráveis na capacitação técnica dos usuários e dos equipamentos computacionais.

TEIXEIRA (1995) apresenta sucintamente o desenvolvimento dos SIGs no Brasil:

1. **Primeira fase (1960 – 1971):** As primeiras experiências ocorreram a partir da década de 60 no desenvolvimento da tecnologia do Sensoriamento Remoto e na aquisição de dados sobre recursos naturais, aplicando vários tipos de sistemas sensores, atendendo as necessidades do projeto RADAM, desenvolvido na região amazônica;
2. **Segunda fase (1971 – 1985):** com a experiência da região amazônica, o projeto RADAM passou a cobrir todo o território nacional onde passou a receber o nome de Projeto RADAMBRASIL. Um fato marcante foi o surgimento do primeiro sistema de processamento digital de imagens desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. Este sistema ficou conhecido como *SITIM-110*¹⁷;

¹⁴ Pode ser realizada através de quatro principais formas: via caderneta de campo, via digitalização, via digitalização ótica ou pela leitura de dados na forma digital, incluindo, ainda, a importação de dados em outros formatos.

¹⁵ O formato raster é uma forma de representação dos dados de um SIG. Maiores informações serão apresentadas ao longo do desenvolvimento deste texto ou podem ser localizadas na bibliografia, apresentada no final deste texto.

¹⁶ *Apud* FREITAS (1997, pág. 6)

¹⁷ Sistema Interativo de Tratamento de IMagens. Este sistema foi precursor do sistema SPRING (Sistema para PRocessamento de INformações Geográficas).

3. **Terceira fase (até o final da década de 1980):** Ficou marcada pela disponibilidade de tecnologias de alto grau de integração do processamento digital de imagens de satélites, que possibilitaram a geração de versões complementares e conseqüentemente o desenvolvimento de um SIG. O *INPE*¹⁸ apresenta uma grande contribuição: o SITIM-150, resultando do aperfeiçoamento do SITIM-110. A partir daí, são desenvolvidos o sistema de processamento de imagem digital SRE/SITM e o sistema de informação geográfica SGI. A partir daí foram criadas outras versões do SITIM, como, por exemplo, a versão SITIM-340, até chegarmos aos nossos dias e termos a versão do atual SPRING versão 3.5;
4. **Quarta fase (década de 1990):** Os órgãos de pesquisas, universidades, empresas privadas e públicas partiram para a aplicação dos SIGs em suas atividades. Ocorreu ao longo da década uma grande difusão desta tecnologia nas mais diferenciadas áreas de conhecimento.

Do exposto, conclui-se que o estágio de desenvolvimento do SIG é o resultado de mais de quatro décadas de esforços realizados na área científica. Rápidas inovações têm aumentado o seu índice de utilização após anos de crescimento lento. Sem sombra de dúvidas alguns fatores têm contribuído para o grande desenvolvimento desta tecnologia, como por exemplo:

- ◆ O grande número de sistemas que foram instalados em várias partes do mundo por diferentes tipos de usuários;
- ◆ A grande investida por parte das empresas produtoras de sistemas massificando a presença de vendedores, a divulgação de propagandas nos diferentes tipos de mídia;
- ◆ O grande número de congressos, encontros e “Work-shops”, regionais, nacionais e internacionais divulgando o uso da tecnologia;
- ◆ O crescente número de veículos publicadores de artigos relevantes ao desenvolvimento e aplicações da tecnologia;
- ◆ A introdução de disciplinas de SIG nos mais variados cursos de formação profissional tais como Engenharia Civil, Arquitetura, Geografia, Cartografia e mais recentemente em alguns cursos de Administração de Empresas;
- ◆ O grande investimento por parte das agências governamentais no conhecimento e no aprimoramento da tecnologia SIG.

2.2 O que é um SIG?

O Sistema de Informação Geográfica – SIG – é uma inovação tecnológica das últimas décadas. Pode-se afirmar, sem cometer nenhum engano, que a tecnologia SIG é de extrema utilidade em nossos dias, permitindo aos usuários a organização de tarefas, a resolução e a tomada de decisões de vários tipos de problemas, de uma forma inovadora.

É comum em textos o uso da sigla SIG para designar o termo Sistema de Informação Geográfica. Esta sigla tem por objetivo designar sistemas que manipulam informações geográficas, também conhecidas como informações espaciais. Estes termos são muito amplos e requerem uma definição mais abrangente.

Segundo PAREDES (1999), o termo sistema de informação tem sido muito usado como sinônimo de “sistema de base de dados” ou “sistema de processamento de dados”. Essencialmente, ele refere-se a um sistema, embora nem sempre computadorizado, desenhado para entrada, armazenamento, processamento e saída de informações.

¹⁸ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, localizado em São José dos Campos-SP.

Assim como há diferença entre dado e informação, há também diferença entre bancos de dados e sistema de informação. PAREDES (1999) acentua que um banco de dados é simplesmente uma coleção de dados e como tal é somente parte de um sistema de informação, enquanto que um sistema de informação é um arranjo de entidades que propicia relação entre eles e relação entre o sistema e seu ambiente.

O Sistema de Informação Geográfica tem a origem de seu nome no fato de ser derivado do conceito de duas categorias básicas: ele não é apenas um conjunto de informações listado num Atlas geográfico e não é apenas um sistema de informações espaciais, vide Figura 2.1, mas é também composto pelos sistemas computacionais e pela localização geográfica da informação.

Figura 2.1: O significado do termo SIG.

Um SIG deve oferecer a possibilidade de gerar documentos de diversas formas, para permitir a distribuição das informações recuperadas e calculadas neles. Em primeiro lugar esses sistemas devem oferecer recursos flexíveis para geração de relatórios, de maneira a permitir apresentar as diversas informações que podem ser recuperadas. As diferentes etapas de trabalho produzem alterações nos dados armazenados. Todo o processo, desde a coleta e a entrada de dados, até as operações de manipulação e saída podem gerar erros que alteram a qualidade dos dados e fazem com que a confiabilidade das informações obtidas seja afetada, ALVES (1990).

Apesar dos milhares e milhares de usuários de SIGs, apenas uma pequena porção destes profissionais são conhecedores das ciências geográficas. Sob o ponto de vista teórico, os SIGs têm o propósito de oferecer uma maneira simples de investigar e analisar fenômenos geográficos e não geográficos. Os engenheiros Civis, Engenheiros de Transportes, Engenheiros Florestais, Cartógrafos, Arquitetos, Cientistas Sociais, Planejadores e Consultores de Marketing e vários outros profissionais usam os SIGs em seu dia a dia sem o conhecimento preciso do termo “geográfico”.

O Sistema de Informação Geográfica está inserido em um contexto técnico-científico de grande potencialidade a aplicações relativas a pesquisas e interpretação da organização espacial de informações através da relação de um dado fenômeno com sua localização espacial.

O SIG é uma tecnologia que tem apresentado um enorme impacto em todos os campos do conhecimento que manipulam e analisam dados distribuídos espacialmente; estes sistemas auxiliam a investigação de fenômenos de diversas áreas tais como a Engenharia Urbana, o Meio Ambiente, a Geologia, a Pedologia, a Hidrologia, etc.

O mundo não fica parado é um ente dinâmico. Isto significa dizer que os SIGs devem ser capazes de representar estes fenômenos dinâmicos no espaço e no tempo. Os SIGs são capazes de auxiliar nas tomadas de decisões, na complementação e na representação de informações numa forma mais aproximada de representação humana no espaço geográfico. Quando se pretende representar eventos passados, normalmente a tendência humana é realizar a supressão de informações julgadas, erroneamente, desnecessárias.

Os Sistemas de Informações Geográficas podem ser considerados, de uma maneira simples, como um mapa de alta tecnologia. Um mapa contém muitas informações que podem ser usadas por diferentes tipos de usuários. Os mapas são usados em diferentes tipos de aplicações, como por exemplo, na localização de hotéis numa cidade, localização de lugares turísticos, praças, otimização de tráfego, planejamento urbano, distribuição de postos de saúde, controle de epidemias, postos de gasolina, postos de vendas de gás liquefeito de petróleo, localização da distribuição de tubulação de gás e distribuição de energia elétrica, administração de recursos naturais, apresentação de área de devastação de florestas e mangues, gerenciamento de serviços e de utilidade pública, etc.

Os SIGs oferecem a facilidade de extrair diferentes tipos de informações de um mapa (rodovias, rede de drenagem, rede fluvial, assentamentos, vegetação, área de queimadas, etc.) e usá-las de acordo com a necessidade do projeto. Em adição, os SIGs propiciam grande flexibilidade, permitindo a obtenção de mapas temáticos de maneira rápida, de acordo com a necessidade do usuário. Conceitualmente, um SIG pode ser considerado como um mapeador automatizado ou um sistema de mapeamento temático. O uso de técnicas automatizadas impõe também, por necessidade, uniformidade tanto no formato de armazenamento quanto nos métodos para a manipulação de dados.

O principal objetivo de um sistema de informação é manter um conjunto de informações espaciais, de tal forma que elas possam ser usadas em tomadas de decisões em diferentes situações e por diferentes organizações. De uma maneira geral, os SIGs são compostos por dois grandes conjuntos de informações, vide Figura 2.2:

1. Bancos de dados Espaciais ou Geográficos;
2. Bancos de dados de Atributos.

Figura 2.2: Composição de um SIG.
Adaptado de CALLJURI & RÖHM (1995).

Os Bancos de Dados Espaciais descrevem as características geográficas da superfície levantada (forma e posição) em relação a um sistema padrão de coordenadas que podem ser relacionada a um sistema puramente local, a um sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude) ou um sistema de projeção cartográfica. A organização destes bancos de dados pode ser feita segundo a sua classificação em *geométricos* e *não-geométricos*. As estruturas geométricas descrevem os diversos atributos gráficos de um elemento (posição, vizinhança, contigüidade), ou seja, sua topologia. As estruturas não-geométricas utilizam dados que incluem atributos alfanuméricos (nome, posição e renda, etc). Os atributos alfanuméricos são associados com os elementos gráficos, fornecendo informações descritivas sobre eles. Os dados alfanuméricos e os dados gráficos são armazenados em bases separadas. Os Bancos de Dados de Atributos descrevem as qualidades das características levantadas.

Uma vez que os dados tenham sido inseridos em um SIG, estes proporcionam a visualização de um modelo acessível e realístico do *mundo real*¹⁹, permitindo ao usuário a identificação de objetos e a sua localização espacial de forma georreferenciada. Estas possibilidades tornam os SIGs uma poderosa ferramenta de trabalho de análise que deve ser sempre levada em consideração nos processos de decisão. Desta forma, pode-se afirmar que os SIGs promovem a otimização na manipulação dos dados de entrada, gerando um aumento de produtividade na capacidade de análise e uma redução de recursos financeiros quanto ao gerenciamento e auxílio na tomada de decisões.

Os programas para Sistemas de Informações Geográficas são projetados de modo a permitirem exames de rotina em ambas as bases gráficas e alfanuméricas, simultaneamente. O usuário é capaz de procurar informações e associá-las às entidades gráficas e vice-versa. Perguntas do tipo ‘Quais lotes da parte leste da cidade são maiores que um hectare e destinados ao uso industrial?’ podem ser solucionadas pelo sistema. A resposta pode ser dada através da listagem dos números dos lotes ou da identificação dos lotes na planta da cidade, por exemplo.

Por ser um sistema de aplicações tão amplas, os Sistemas de Informações Geográficas acabam sendo multidisciplinares. Dependendo da aplicação, pode variar o tipo de profissional engajado. Entretanto, o profissional da área de *Geomática*²⁰ é sempre necessário. Qualquer que seja a aplicação projetada para o sistema, ele necessitará sempre da coleta e da manipulação espacial primária dos dados para adequá-los à base de dados a ser estabelecida.

Os SIGs têm sido usados pelos mais diferentes tipos de usuários, destacando-se as empresas públicas, as empresas privadas e os centros educacionais. Os dados alimentadores destes sistemas podem advir de levantamentos topográficos e geodésicos, plantas, cartas e mapas existentes, fotos aéreas, imagens de satélites, dados estatísticos e tabulares e outros. Com isso, pode-se afirmar que os SIGs utilizam informações espaciais do meio natural onde atuam uma série de operadores espaciais (conjunto de operações algébricas, booleanas e geométricas). As informações podem ser classificadas de acordo com o interesse de análise e distribuídas em “layers” ou camadas de informações. É importante citar que os dados apresentados num SIG devem ser georreferenciados a um sistema único de coordenadas.

Do exposto, pode-se dizer que os dados em um SIG podem ser originados a partir de diferentes fontes, que podem ser classificadas, de uma forma geral, em primárias e secundárias. As

¹⁹ Consiste de todos os objetos geográficos da superfície ou subsuperfície da terra e do meio, cuja representação pode ser feita numérica ou graficamente, armazenada em formatos analógicos ou digitais e de forma agregada (mapas) ou desagregada (camadas – “layers”). É considerada a fonte de informação de um SIG, PAREDES (1999).

²⁰ É a área do conhecimento humano que engloba as várias ciências e técnicas da Mensuração associadas a sua organização em banco de dados apropriados e do seu gerenciamento para a utilização em programas aplicativos de projetos geométricos e de informações geográficas, SILVA et al (2001).

fontes primárias são relativas àquelas de levantamentos realizados diretamente no campo ou sobre produtos do Sensoriamento Remoto. As fontes secundárias utilizam mapas existentes e censos, originários das fontes primárias.

A finalidade de um SIG é permitir o gerenciamento de informações temáticas e georreferenciadas de uma determinada zona e ser capaz de oferecer, ao usuário, a capacidade de manipular os dados referentes a essa zona. Para tanto, um SIG permite que o usuário tenha:

- ❑ Disponibilidade constante de informações variadas, passíveis de serem atualizadas periodicamente;
- ❑ Melhoria substancial das possibilidades de planificação devido à integração de uma multiplicidade de dados;
- ❑ Concepção assistida por computador;
- ❑ Facilidade para a aplicação em modelos complexos e análises de variantes;
- ❑ Subsídios para as tomadas de decisões, baseadas sobre uma descrição completa do território;
- ❑ Elaboração simplificada de representações cartográficas e relatórios dos resultados dos trabalhos.

É muito importante que um SIG, mantenha ao longo do tempo as suas características de modo a preservar os dados espaciais. A seguir, apresentam-se algumas características essenciais para um SIG apontados por PAREDES (1999).

- ◇ *Eficiência*: para otimizar o uso dos recursos computacionais, evitando desperdícios;
- ◇ *Eficácia*: para produzir resultados em um intervalo de tempo razoável;
- ◇ *Segurança*: para prover um serviço regular e confiável;
- ◇ *Precisão*: estabelecida para atender às necessidades de todos os usuários;
- ◇ *Resolução*: para atender aos interesses dos usuários;
- ◇ *Integração*: que possibilite a utilização de bancos de dados de outros sistemas existentes;
- ◇ *Atualidade*: para que o sistema seja mantido atualizado em intervalos de tempos estabelecidos;
- ◇ *Compatibilidade*: que permita ao sistema comunicar-se com outros já existentes;
- ◇ *Flexibilidade*: que possibilite mudanças na lógica e na configuração do sistema;
- ◇ *Robustez*: que permita adaptação da performance do sistema de acordo com a carga de trabalho;
- ◇ *Portabilidade*: que permita o aproveitamento dos arquivos entre as diversas plataformas e sistemas operacionais;
- ◇ *Aceitação*: que satisfaça as expectativas dos usuários;
- ◇ *Economia*: que permita custos menores tanto na aquisição quanto na operação.

2.3 O que não é um SIG?

PAREDES (1999) apresenta algumas características que permitem identificar se um sistema pode ser considerado um SIG ou não.

1. Um SIG não é simplesmente um sistema computacional para fazer mapas, embora ele possa criar mapas em diferentes escalas, em diferentes sistemas de projeções e com diferentes cores. Um SIG é uma ferramenta de análise. Uma das grandes vantagens de um SIG é que ele permite identificar a relação espacial entre as entidades dos mapas;

2. Um SIG não armazena um mapa em qualquer sentido convencional; ele não armazena imagens ou cenas particulares de uma área geográfica. Pelo contrário, um SIG armazena os dados, de tal forma que estes podem ser criados, editados e analisados para o fim desejado, e são desenhados para ajustar-se a propósitos específicos.

Do exposto, pode-se concluir que um SIG une dados espaciais com informações geográficas em torno de uma entidade particular do mapa. A informação geográfica é armazenada como uma entidade de um objeto geograficamente representado. Por exemplo, a área de uma bacia hidrográfica pode ser representada por linhas centrais ao leito dos rios; nestes casos a representação visual não oferece muita informação a respeito desta bacia. Para obter maiores informações a respeito da bacia hidrográfica, tais como a largura dos rios, a temperatura da água, o grau de poluição, etc., deve-se extraí-las da base de dados, de modo a criar uma representação simbólica de acordo com o tipo de informação que se deseja mostrar.

Um SIG não possui apenas mapas ou fotografias – ele possui uma Base de Dados. O conceito de Base de Dados é fundamental para um SIG e é a principal diferença entre um SIG e um simples instrumento de desenho ou sistema de mapeamento automatizado, com o qual pode-se somente produzir representação gráfica dos objetos.

2.4 Definição de um SIG

Existem na literatura várias definições para o termo Sistema de Informação Geográfica – SIG. Cada uma destas definições, foi desenvolvida para diferentes tipos de aplicações. Numa tentativa de minimizar as diferenças de definições até aquele momento, em 1988 a Federal Interagency Coordinating Committee, dos EUA, definiu o SIG da seguinte maneira, apud LOGSDON (1995):

Sistema de Informação Geográfica – SIG – é um sistema composto por equipamentos, programas e procedimentos computacionais designados para auxiliar na coleta, gerenciamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados²¹ para resolver problemas complexos de gerenciamento e planejamento.

Conforme afirmação anterior, cada área de conhecimento apresenta uma definição de SIG, de acordo com a sua visão e resultado de suas aplicações. As definições mais abrangentes, resultado do consenso de especialistas, são as seguintes:

“Um Sistema de Informação Geográfica é o resultado do desejo e da necessidade de exercer controle sobre os processos ambientais, econômicos e sociais. A complexidade desses processos no mundo real e no ambiente humano requer sua modelagem em certos níveis de relação, simplificação, generalização e abstração” (PAREDES, 1999).

“Um Sistema de Informação Geográfica é, em essência, uma rotina de planilha espacial acoplada a bancos de dados gráficos. O computador é capacitado para manipular imagens e informações não-gráficas de

²¹ Georreferenciamento refere-se à localização de uma camada de informação no espaço por um sistema de coordenadas.

maneira amigável. Técnicas de manipulação gráficas bem estruturadas permitem aos usuários uma ampla possibilidade de unir, combinar, deletar e sobrepor informações dos bancos de dados enquanto podem ser adicionadas novas informações ou alterar as informações” (JONES, 1997).

“Sistema de Informação Geográfica é uma coleção organizada de hardware, software, dados geográficos e pessoais envolvidos no trabalho, projetado para, eficientemente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar todas as formas de informações referenciadas geograficamente” (CALIJURI & RÖHM, 1995).

“Sistema de Informação Geográfica – SIG – é um conjunto de procedimentos que permitem analisar, processar, inter-relacionar e mapear qualquer conjunto de características que cumpram com a condição de ser referenciáveis e georreferenciáveis e que sejam elementos geográficos – comumente representados por pontos, linhas e áreas” (BRAVO & CERDA, 1995 apud DUTRA, 1998).

“Sistema de Informação Geográfica – SIG – é um conjunto de programas, equipamentos, metodologia, dados e usuários, perfeitamente integrados, aptos a coletar, armazenar, processar e efetuar análises de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação” (TEIXEIRA et al., 1995 apud SOUZA, 2000).

“Sistema de Informação Geográfica – SIG – é um sistema baseado em computadores para a entrada, armazenamento, manipulação e saída de informações geograficamente georreferenciados” (GOODCHILD, 1993).

Sistema de Informação Geográfica – SIG – é uma tecnologia de informação que armazena, analisa e mostra dados espaciais e/ou não espaciais. Entendendo-se por tecnologia, o conjunto de métodos e materiais usados para alcançar objetivos, e por sistema, o conjunto de componentes que interagem para alcançar um objetivo comum” (GOODCHILD, MAGUIRE e RHIND, 1991 apud PAREDES, 1999).

“Sistema de Informação Geográfica – SIG – é um sistema que contém como funções específicas de entrada e armazenamento dos dados, manipulação de informações e a representação dos dados de modo a obter mapas temáticos” (MARBLE, 1989 apud FREITAS, 1997).

“Sistema de Informação Geográfica – SIG – é um sistema composto por equipamentos, programas, conjunto de dados, pessoas, indústrias e instituições governamentais envolvidos na coleta, armazenamento, análise e distribuição de informações de áreas da superfície terrestre” (DUEKER e KJERNE, 1989).

“Sistemas de Informação Geográfica – SIG – são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la” (ARONOFF, 1989).

“Sistema de Informação Geográfica – SIG – é um sistema de suporte de decisões que envolvem a integração de dados referenciados espacialmente num contexto de problema-solução” (COWEN, 1988 apud FREITAS, 1997).

“Sistema de Informação Geográfica – SIG – é um poderoso conjunto de ferramentas que coleta, estoca, recupera, transforma e apresenta dados espaciais do mundo real” (BURROUGH, 1986).

“Sistema de Informação Geográfica – SIG – que pode ser entendido como um caso especial de informação, onde os bancos de dados são compostos por observações (medições) sobre feições espacialmente distribuídas e atividades, que são definidas no espaço como pontos, linhas e áreas, para manipular e recuperar dados para pesquisas e análises independentes” (DUEKER, 1979 apud FREITAS).

“Sistema de Informação Geográfica – SIG – é um conjunto de ferramentas computacionais composto de equipamentos e programas que por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização, a partir de dados georreferenciados, de informação produzida por meio das aplicações disponíveis, visando maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão relativas ao espaço geográfico” (Fonte: http://fatorgis.com.br/geoproc/define_tecn.shtml).

As definições de SIGs refletem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A partir destes conceitos, é possível indicar duas importantes características dos SIGs. A primeira delas é que tais sistemas possibilitam a integração, numa única base de dados, de informações geográficas provenientes de fonte diversas, tais como dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélites e modelos numéricos. A segunda é que os SIGs oferecem mecanismos para recuperar, manipular e visualizar estes dados, através de algoritmos de manipulação e análise, CÂMARA et al. (1996).

Das definições apresentadas, pode-se concluir que os SIGs devem apresentar como principais características as seguintes funções:

- ✧ Ser capaz de integrar, numa única base de dados, as informações oriundas de dados cartográficos, de censo e cadastro rural e urbano e outras fontes de informações;
- ✧ Ser capaz de realizar combinações dos vários tipos de informações para gerar diferentes formas de representação;
- ✧ Ser capaz de possibilitar aos usuários as funções de consultas, recuperação e a visualização dos bancos de dados.

Resumidamente, um SIG é designado para coletar, armazenar e analisar objetos e fenômenos aonde a locação geográfica é uma importante característica de análise. Vide Figura 2.3.

Segundo EGENHOGGER & FRANK (1990), o custo relativo, no decorrer do ciclo de vida de um SIG, entre o hardware, software e a captação de dados apresenta a seguinte relação 1:10:100.

Figura 2.3: Funções de um SIG.

De uma forma simplista, pode-se considerar que um SIG seja uma planilha eletrônica acoplada a uma poderosa ferramenta de manipulação gráfica e com capacidade de diferentes tipos de representação de dados. Os três elementos mais importantes numa estrutura de um SIG podem ser resumidamente apresentados da seguinte forma:

- ◇ **Capacidade cartográfica:** Permite o computador produzir desenhos e mapas precisos com resolução de acordo com o interesse do usuário;
- ◇ **Capacidade de gerenciar dados:** Permite aos usuários armazenar e manipular informações relativas a mapas em formatos convenientes (gráficos e não-gráficos).
- ◇ **Capacidade de análise:** Associados com os SIG atuais. Permite treinar usuários para processar e interpretar dados espaciais, tabulares e gráficos em diferentes tipos de aplicações. Eles podem, por exemplo, medir a distância entre dois pontos ou determinar a área de figuras na tela do monitor. A capacidade de análise também auxilia os usuários a planejar, projetar e gerenciar importantes tipos de objetos, tais como construções civis (rodovias, construções residenciais, pontes, etc.), com o máximo de eficiência.

A maneira mais comum de entender o que vem a ser um SIG é entendê-lo como uma ferramenta de trabalho. Entretanto, tratá-lo como uma ferramenta de trabalho não é uma atitude simples. As ferramentas de trabalho são normalmente desenvolvidas dentro de um contexto social e histórico para servir a alguma alteração do meio. Um SIG pode ser designado para ser uma efetiva e eficiente forma de análise para uma grande quantidade de aplicações.

O advento dos SIGs criou uma grande oportunidade de integração de diversas áreas de conhecimento que se interagem na coleta, armazenamento, manipulação, extração e aplicação de dados do meio ambiente e do espaço físico-econômico-social.

Enfatizando uma vez mais, as facilidades geradas a partir do uso de um SIG aumentaram a eficiência de vários tipos de atividades, tais como o planejamento de cidades, gerenciamento de recursos naturais, a distribuição de gás, da rede elétrica, da água, do esgoto, de telefone, etc. Governos municipais e estaduais de países desenvolvidos usam a tecnologia SIG para o desenvolvimento de mapas temáticos (rodoviários, turísticos, industriais, geológicos, etc.), simulação de rotas de ônibus escolares, manutenção de rodovias, imposto de renda, controle de doenças, etc.

Sistemas de Informações que armazenam dados topográficos de propósitos gerais com dados administrativos de limites de propriedades são freqüentemente referidos na bibliografia como Sistema de Informações da Terra - SIT (*Land Information Systems*²² - LIS).

Existem alguns debates a respeito da diferença entre SIG e SIT. DALE (1990) sugere que um SIT combina recursos humanos e institucionais com a tecnologia caracterizada pelo SIG e que o termo SIT é de uso mais comum que SIG na maior parte do mundo, exceto nos EUA e no Reino Unido. Existe uma pequena dúvida de que a maioria das funções associada a um SIT é equivalente às encontradas nos SIGs.

2.4.1 Componentes básicos de uma informação geográfica

O SIG é um sistema que subsidia o processo de observação do mundo real e atividades de definição, mensuração, classificação, enumeração. Subsidiar, também, a atuação em atividades de análise, operação, manutenção, gerenciamento, construção, etc. sobre o mundo real.

Muitas pessoas quando falam em SIG referem-se, especificamente, ao software e não à tecnologia. Percebem-se, freqüentemente, dificuldades de comunicação entre profissionais que utilizam a mesma nomenclatura para se referir a conceitos diferentes. Assim, para um entendimento mais completo, é necessário explicar os principais componentes de um SIG, do qual o software é apenas um desses componentes. Os outros elementos a serem definidos são: *hardware*, *dados*, *usuários* e as *metodologias de análise*.

Um SIG é composto por quatro importantes componentes:

- ◇ **Componentes computacionais:** é o conjunto de equipamentos necessários para que o software possa desempenhar as funções descritas. O computador ou a unidade de processador central (CPU) é conectado a uma unidade de disco rígido que detém o espaço necessário para o armazenamento dos dados e dos programas. De forma sucinta, inclui o computador e periféricos, como impressora, plotter, scanner, mesa digitalizadora, unidades de armazenamento (unidades de disco flexível, disco rígido, CD-ROM, fitas magnéticas e ZIP Drivers). Uma mesa digitalizadora é um outro componente usado na transferência e conversão dos dados de um mapa e/ou outros tipos de documentos para uma forma digital e posterior envio ao computador. O plotter é um componente usado para apresentar os resultados dos dados de processamento de forma impressa e o “tape drive” ou “zip-drive” pode ser usado para o armazenamento dos dados ou programas numa forma magnética, ou para comunicação com outros sistemas. Vide ilustração da Figura 2.4.

²² LIS também tem sido tratado por alguns autores da língua portuguesa como sendo Sistemas de Informações do Território, do Meio Ambiente, da Propriedade. O seu conceito de aplicação está mais voltado para o cadastro, daí ele ser apresentado em alguns trabalhos como Sistema de Informação Cadastral.

Figura 2.4: Os principais componentes de um computador necessários para um sistema de informação geográfica.

- ◇ **Bancos de dados** é componente principal de um SIG. Os bancos de dados são compostos por mapas ou coleções de mapas e de informações associadas a arquivos analógicos ou digitais. A *informação* é o coração de um SIG. Vide ilustração da Figura 2.5.

Figura 2.5: A informação é essencial para a elaboração de um SIG.

- ◇ **Software aplicativos:** é formado por um conjunto de programas (gerenciados por um determinado Sistema Operacional), cuja finalidade básica é coletar, armazenar, processar e analisar dados geográficos, tirando partido do aumento da velocidade, facilidade de uso e segurança no manuseio destas informações, apontando para uma perspectiva multi, intra e interdisciplinar de sua utilização. O software contempla basicamente cinco módulos (vide Figura 2.6):

1. Coleta, Padronização, Entrada e Validação de Dados;
2. Armazenamento e Recuperação de Dados;
3. Transformação ou Processamento de Dados;
4. Análise e Geração de Informação;
5. Saída e Apresentação de Resultados.

Figura 2.6: Os principais componentes de um sistema de programas de um SIG.

Quanto aos sistemas operacionais, no caso dos micros e mini computadores a tendência aponta para o uso das diferentes versões do Windows e do Unix. As Workstations utilizam sistemas operacionais compatíveis com Unix; os mainframes operam sob sistemas VMS, UVS e Unix, entre outros.

- (a) **Entrada de dados e verificações:** abrangem todos os aspectos de transformação de dados adquiridos através de mapas existentes, observações de campo, através de sensores (incluindo as *fotografias aéreas*²³, imagens de satélites), etc., para uma forma digital compatível. Vide Figura 2.7.

Figura 2.7: Entrada de dados.

²³ As fotografias aéreas são obtidas, em geral, a partir de um avião e nos SIGs têm duas funções principais: como *componente gráfico* (servindo como fundo sobre o qual outras informações são apresentadas) e como *fonte de dados* (atualizando ou criando novos arquivos em escala grande ou servindo para controle de qualidade de dados já armazenados).

- (b) **Armazenamento de dados e gerenciamento de bancos de dados:** preocupam-se com a maneira com a qual os dados de posição, a topologia e os atributos dos elementos geográficos (pontos, linhas e áreas representativas da superfície terrestre) são estruturados e organizados com respeito a maneira com a qual devam ser trabalhados no computador, bem como com relação a forma como eles devem ser entendidos pelos usuários. Vide Figura 2.8.

Figura 2.8: Os componentes de um banco de dados geográfico.

- (c) **Saída dos dados e apresentação:** preocupa-se com a maneira com a qual os dados são apresentados e como os resultados das análises serão reportados aos usuários. Os dados podem ser apresentados na forma de mapas, tabelas e figuras (gráficos e gravuras) nas mais variadas formas, desde uma imagem gerada por tubos de raios catódicos ou através de informações gravadas em forma digital. Vide Figura 2.9

Figura 2.9: Saída e apresentação dos dados.

- (d) **Transformação dos dados:** abrange duas classes de operação denominadas de: (a) transformações necessárias para remover erros dos dados ou atualizá-los para outros conjuntos de dados, e (b) um grande número de métodos de análises pode ser

aplicado nos dados com o intuito de alcançar respostas para as questões de um SIG. As transformações podem operar tanto em aspectos espaciais ou não-espaciais dos dados, sejam combinados ou em separado. Várias destas transformações, tais como aquelas associadas com a mudança de escala, ajuste de dados para uma nova projeção e cálculos de áreas e perímetros, são algumas das transformações de natureza geral que podem vir a ser realizadas na conversão de um SIG para outro. Vide Figura 2.10.

Figura 2.10: Transformação de dados.

- ◇ **Aspectos organizacionais:** Com o intuito de ser utilizado efetivamente, o SIG necessita ser colocado de maneira apropriada no contexto organizacional. Assim como todo o tipo de organização que se ocupa com produtos complexos, novas tecnologias só podem ser utilizadas efetivamente se elas estiverem perfeitamente integradas dentro de todo o processo de trabalho. Para se fazer isso de maneira conveniente, é necessário além de investimento em equipamentos e ‘software’, do treinamento de mão-de-obra (incluindo os chefes de serviço) para que a nova tecnologia seja utilizada de maneira eficaz no contexto organizacional. Vide Figura 2.11.

Figura 2.11: Aspectos organizacionais de um sistema de informação geográfica.

A Figura 2.12 apresenta, de forma resumida, os componentes básicos de um SIG, ora apresentados.

Figura 2.12: Componentes básicos de um SIG.

As informações geográficas (bancos de dados) são comumente interpretadas da seguinte forma:

- ★ **Espaço:** é um componente essencial da informação geográfica e merece uma cuidadosa definição. Em algumas áreas de conhecimento, como por exemplo, a Geofísica, a Terra é considerada como um corpo sólido, mas para a maioria das aplicações geográficas a Terra pode ser considerada envolvida por uma fina camada em torno da superfície. Para finalidades de mapeamento, considera-se a posição de pontos sob o ponto de vista bidimensional.
- ★ **Tempo:** existe sempre alguma forma implícita ou explícita de um referencial temporal em um mapa. Os mapas mais comuns estão na forma instantânea, ou seja, ele é válido para uma determinada época no tempo. Algumas vezes faz sentido tratar o tempo de forma cíclica, tais como alguns fenômenos astronômicos e climáticos que se repetem. Nestes casos, o sentido de ciclos advém da conexão entre o domínio espacial e o temporal, não devido a repetição do tempo.
- ★ **Atributos:** é a extensão ou o raio de ação de valores possíveis de uma feição. Um valor de um atributo é um valor específico num dado instante de uma característica associada com uma feição geográfica. Utilizados para estabelecer a qualidade não-espacial de *entidades*²⁴ referenciadas espacialmente. Podem ser também entendidos como códigos descritivos que indicam o que a entidade representa.

2.4.2 Dados gráficos e não-gráficos

Os bancos de dados típicos de um SIG armazenam e gerenciam dois tipos básicos de informações digitais, LOGSDON (1995):

²⁴ Refere-se a um conjunto específico de dados com atributos comuns, como por exemplo a Topografia. Em outras palavras, são os elementos ou objetos tomados como unidades básicas para a coleta de dados.

- ❖ **Elementos gráficos (ou geométricos):** envolve caracterizações de feições de mapas e seus ícones associados, que podem ser apresentados no monitor de vídeo. Pares de coordenadas, critérios de construção gráfica e símbolos definem e elucidam imagens cartográficas e podem ser considerados como elementos gráficos. Os dados gráficos podem descrever as seguintes propriedades: *posicionais* (caracterizam a posição de um objeto); *topológicas* (caracterizam relacionamentos de vizinhança ou de conexão entre os objetos) e *amostrais* (caracterizam valores de grandezas físicas ou de outras propriedades de um ponto ou de uma região). Em vários casos as anotações alfanuméricas são usadas para evidenciar alguns aspectos do desenho tais como: superfície de contorno, tipos de solos, limites de propriedades, cidades, rios, lagos, etc.
- ❖ **Elementos não-gráficos:** consistem primariamente em características, qualidades e relações que ligam feições gráficas do mapa com suas propriedades de locação espacial. Em outras palavras, os dados não-gráficos são atributos de objetos ou informações auxiliares que descrevem características não geométricas. A maioria dos elementos não-gráficos é armazenado em formato alfanumérico nos arquivos tradicional de dados.

A Figura 2.13 resume algumas feições e os métodos de armazenamento associados com os vários elementos gráficos e não-gráficos contidos em bancos de dados representativos de um SIG. O uso de computadores facilita a manipulação de imagens e informações não-gráficas de maneira agradável. Técnicas de manipulação gráficas bem estruturadas permitem aos usuários uma ampla possibilidade de unir, combinar, deletar e sobrepor informações dos bancos de dados enquanto podem ser adicionadas novas informações ou alterar as informações.

Figura 2.13: Um SIG é, em essência, uma rotina de planilha espacial acoplada a bancos de dados gráficos e/ou não-gráficos.

Na prática, os bancos de dados de um SIG predefinem um conjunto de símbolos que devem ser usados para representar os elementos gráficos e não-gráficos apresentados no monitor (vide Figura 2.14).

É importante afirmar que os atributos de um SIG devem, sempre que possível, ser símbolos compactos geocodificados por um simples par de coordenadas, tais como a coordenadas cartesianas X, Y, latitude e longitude, coordenadas planas UTM (N, E), etc. O sistema de coordenadas cartesianas é o mais utilizado como ferramenta para medir localizações espaciais e analisar suas várias propriedades, como por exemplo distâncias.

Figura 2.14: Ícones previamente estabelecidos e outros símbolos definidos para as várias camadas de um SIG. Isto permite aos usuários agrupar uma certa quantidade de informações alfanuméricas convenientemente dentro do computador.
Adaptado de LOGSDON (1995).

2.4.3 Níveis de medições

STEVENS (1946) propôs um esquema para medições o qual adota uma filosofia para uma lista de representação. Este esquema define as medições como sendo “*atribuição de um número para objetos de acordo com um sistema definido*”. O esquema de Stevens vem ser a base de um método científico social e a estrutura para a Cartografia e o SIG. Algumas revisões e extensões devem ser consideradas para conciliar às informações geográficas:

- ❖ **Nominal:** é baseada num conjunto de teorias, totalmente envolvida com conceitos simples da Matemática. O uso da palavra escala²⁵ para uma medição nominal, pode invocar o tradicional número de linhas, mas não existe necessariamente uma implicância de ordem.
- ❖ **Ordinal:** este nível introduz o conceito de uma ordem. A escala ordinal aumenta quando um objeto é classificado aos pares para algum tipo de comparação.
- ❖ **Intervalo:** um intervalo de escala coloca um objeto num número de linha com um ponto arbitrário ‘zero’ com um intervalo também arbitrário. Então, o intervalo dos dados pode ser alterado em torno de um número de linha sem que haja mudanças significativas nas medições.
- ❖ **Razão:** na teoria de Mensuração, o nível de razão merece uma atenção especial. A razão tem um valor verdadeiro para a origem (valor zero) e um intervalo arbitrário. Esta propriedade sustenta todas as operações aritméticas de adição, subtração, multiplicação e divisão. Numa escala de razão, se um valor é duas vezes o valor de outro, então isto representa que é o dobro de uma quantidade.

²⁵ Escala: um sistema usado para codificar os resultados de medições. Tipicamente pode ser dado pelo número de linhas, mas de uma forma geral representando uma lista de categorias.

2.5 Entendendo SIG

Devido a sua natureza, o homem não tem uma visão total de tudo que o cerca em sua realidade, apresentando apenas uma visão parcial da mesma. O desenvolvimento tecnológico na área instrumental o permite realizar medições do espaço geográfico e com isso o aproxima da realidade. Devido as suas limitações, ele cria um modelo do mundo real no qual os elementos e suas características transformam-se num modelo conceitual. Neste processo de representação ele se torna o elemento principal, pois é a partir da captação dos dados que é possível a realização das transformações posteriores. CÂMARA et al. (1997) *apud* DUTRA (1998), se refere à modelagem de dados como sendo o processo de abstração dos fenômenos do mundo real para a criação da organização lógica dos bancos de dados, vide Figura 2.15.

Figura 2.15: (1) observações e medições do mundo real; (2) representação conceitual da realidade; (3) análise do modelo conceitual; (4) representação digital do modelo conceitual.

Fonte: Adaptação de ANTUNES (2001).

As entidades e relações representadas passam para o ambiente computacional através de procedimentos técnicos, codificação da informação e a geocodificação das entidades gráficas resultam no modelo digital. A transformação do mundo real num mundo digital permite a realização de operações a partir da informação gráfica. A popularização dos computadores, permitiu ao homem a utilização, com maior frequência, de técnicas do **Geoprocessamento**²⁶ para auxiliar na modelagem do meio em que vive e de seu entorno.

A tecnologia do Geoprocessamento pode ser aplicada no processo de elaboração dos bancos de dados, no entanto, a manipulação, organização e atualização das informações, são realizadas por um SIG. Esta tecnologia associada às técnicas de mapeamento (topografia clássica, utilização de fotos aéreas, imagens de satélites, sistema GPS, imagens de vídeo e outras formas de aquisição de dados), torna possível a obtenção de mapas temáticos e a quantificação de áreas, como por exemplo; áreas de agricultura, pastagens, reflorestamento/florestamento, florestas nativas (consideradas de preservação permanente), fruticultura, afloramento rochoso, áreas de inundação, açudes, barragens, áreas erodidas ou em processo, comprimento de estradas e cercas, áreas de

²⁶ É um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais. As áreas que se servem desta tecnologia têm, em comum, o interesse por entes de expressão espacial, sua localização, ou distribuição, ou ainda a distribuição espacial de seus atributos, RODRIGUES (1990).

congestionamentos contínuos, áreas de estacionamento, áreas degradadas, bem como outras formas de utilização.

Os SIGs têm alterado drasticamente os métodos de análises da infra-estrutura, do planejamento do espaço, controle dos recursos naturais, etc. A Figura 2.16 apresenta, em forma de esquema, os componentes funcionais de um SIG.

Figura 2.16: Arquitetura de um SIG.
Adaptado de CÂMARA (1996).

Um SIG é um sistema computacional o qual armazena virtualmente qualquer tipo de informação que pode ser colocada num mapa na forma de papel. Entretanto, um SIG pode ser muito mais útil que um mapa tradicional. Estes sistemas armazenam dois tipos de dados que são encontrados em um mapa:

1. As definições geográficas das características da superfície terrestre;
2. Os atributos ou as qualidades que estas características possuem.

Os SIGs podem apresentar os mapas em monitores de computadores e podem fornecer informações detalhadas de seus aspectos, incluindo rodovias, sinais rodoviários, sinais de trânsito, semáforos, edifícios, rios, pontes, viadutos, etc. A grande vantagem destes sistemas é que o computador pode rapidamente pesquisar e analisar estes objetos nos mapas e especificar atributos de diversas maneiras que não são possíveis nos mapas na forma de papel.

Os SIGs têm sido usados para auxiliar diferentes tipos de tarefas, tais como: no manejo de florestas, nos serviços de utilidades públicas, na exploração de petróleo, na engenharia de tráfego para mapear pontos de acidentes, nas análises de Censos, etc. Organizações militares, públicas e privadas têm lançado mão destes sistemas para análises pertinentes de planejamento e adequação de recursos. No Capítulo 3 apresentam-se maiores informações quanto às aplicações dos SIGs.

Nos EUA e em vários outros países, os bancos de dados de um SIG são usados por diferentes departamentos e agências, incluindo os Serviços dos Bombeiros, Departamento de Inspeção de Emergências, o Sistema Escolar, os Partidos Políticos, os Serviços e Tratamento e Conservação de Água, etc. Estas agências têm utilizado os SIGs em conjunto com outras tecnologias a saber:

- ◆ Utilização de imagens de satélites para auxiliar os agricultores no manejo e uso do solo;
- ◆ Utilização do Sistema de *Posicionamento*²⁷ Global por Satélites - *GNSS*²⁸ - dados emitidos pelos satélites para auxiliar a localização de veículos, ambulâncias, etc;
- ◆ Utilização de dados sísmicos para localizar o epicentro de um terremoto;
- ◆ Utilização de dados da Batimetria para mapear o fundo de rios, mares, lagos e oceanos, etc.

Mesmo para pequenas aplicações, os SIGs têm um significativo risco para utilização e por esta razão demandam um planejamento cuidadoso. A solução de um SIG oferece orientações para uma eficiente e organizada implementação desta tecnologia. Deve-se sistematizar todos os passos a serem seguidos, sua programação e as pessoas responsáveis por seu acompanhamento. Um cuidadoso projeto de planejamento e execução é a melhor maneira de minimizar riscos e obter bons resultados. Um planejamento de um SIG deve reportar todos ou alguns dos tópicos a seguir, (KORTE, 1997):

- ◆ Introdução e conhecimento prévio a respeito do SIG;
- ◆ Relatórios resumidos de operações existentes;
- ◆ Relatórios resumidos de necessidades e problemas de casos semelhantes;
- ◆ Descrições gerais a respeito de um SIG;
- ◆ Relato a respeito dos bancos de dados do SIG;
- ◆ Relato a respeito da manutenção dos bancos de dados do SIG;
- ◆ Possibilidade de comunicação entre os dados;
- ◆ Organização e definição do pessoal responsável pela implantação do SIG;
- ◆ Treinamento de pessoal;
- ◆ Relato da implementação das diversas fases do projeto e organograma;
- ◆ Descrição com análise financeira para implementação do projeto.

Além disso, uns dos problemas enfrentados pelos usuários de SIG são os diferentes tipos de formatos em que os dados coletados são armazenados. Este fato pode dificultar a união de dados adquiridos por diferentes origens ou dificultar o uso de certos softwares de SIG que não conseguem ler dados de outros programas ou de diferentes fontes geradoras. Este assunto é tratado com maiores informações na seção 2.9 deste capítulo.

2.6 Diferenças entre CADD, AM/FM e SIG

2.6.1 CADD

As técnicas de computação gráfica surgiram como ferramenta de auxílio ao desenvolvimento de projetos de desenho geométrico, mais precisamente em projetos de aeronaves, principalmente no início da corrida espacial na década de 60. No início, denominado genericamente

²⁷ O termo posicionamento foi neste texto considerado mais apropriado que o termo “navegação” como sugere a sigla GNSS.

²⁸ Sistema de Posicionamento Global por Satélites – GNSS – é um sistema de multi-propósitos, que permite aos usuários determinar, com expressiva precisão, a posição de um ponto em função de suas coordenadas Cartesianas X, Y, e Z ou expressa em função de suas coordenadas geográficas geodésicas latitude, longitude e altitude geométrica. Maiores informações podem ser adquiridas no Capítulo 6 e na bibliografia.

de computer *graphics*, com o tempo receberam nomes como CAD (Computer Aided Design) e CADD (Computer-Aided Design and Drafting). Na Cartografia foi criado o sistema CAC (Computer Aided Cartography) que automatiza determinadas etapas da produção de mapas, principalmente restituição e elaboração do produto final.

Os sistemas CADD e CAC são muito empregados na produção de bases cartográficas, mas são limitados na manipulação do mapa digital. Uma das maiores restrições é a impossibilidade de gerenciamento de grande volume de dados, o que torna, em muitos casos, a base de dados descontínua. Outra limitação é a interface com os bancos de dados, apenas sobre sub-arquivos gráficos, o que impede a análise conjunta de toda a base cartográfica. As limitações na forma de modelagem das feições gráficas não permitem análises espaciais.

A tecnologia CADD pode ser usada na produção de mapas, sendo uma forma efetiva de substituição dos processos tradicionais cartográficos. Os elementos básicos de um CADD são todos aqueles recursos gráficos necessários para se desenhar um mapa, tais como linhas, linhas configuradas (poli-linhas), *arcos*²⁹ e círculos, textos e símbolos. Vide Figura 2.17.

Figura 2.17: Elementos básicos de um CADD.
Adaptado de KORTE (1997).

O sistema CADD organiza os dados em camadas (níveis de informação) que são conceitualmente registrados na forma de camadas sobrepostas. As camadas podem ser usadas para organizar feições dos mapas em temas, tais como ruas versus semáforos. Estes sistemas reduzem o tempo de produção dos mapas e conseqüentemente ocorre uma economia de recursos financeiros, quando comparado com os processos clássicos cartográficos.

A desvantagem do sistema CADD é que ele não é apropriado para analisar dados de mapas, isto porque os dados dos mapas são associados por temas, usando camadas, e estas feições são todas referenciadas a um sistema comum de coordenadas geográficas, isto é, ele não armazena relações espaciais entre as feições. Por esta razão, este sistema não é bem ajustado para responder algumas questões em face das relações espaciais não serem definidas na estrutura dos dados. Apesar desta desvantagem, é perfeitamente possível o uso de dados CADD num SIG. Para isto, é

²⁹ Arcos: é uma cadeia (string) contínua de pares de coordenadas (X, Y nos vértices) iniciando em uma localização e finalizando em outra (localização); tem comprimento mas não tem área. Um arco é a fronteira entre dois polígonos. Um arco é uma linha digital. Um arco pode ser parte de um caminho que liga dois outros arcos. Um arco pode ser usado para representar ruas e caminhos que passam por eles.

necessário realizar a “*tradução*” dos dados CADD para o formato SIG (forma topológica). Para se obter sucesso no uso de dados CADD no SIG, os estes dados devem primeiramente ser estruturados de acordo com as convenções dos dados topológicos. Caso contrário, os dados produzirão erros no processamento do SIG e devem ser corrigidos após a sua tradução para o formato SIG. Estas considerações não são aplicadas na tradução inversa dos dados, ou seja do SIG para o sistema CADD. Os elementos dos dados topológicos serão eliminados no processo de tradução dos dados SIG para o formato CADD.

O uso de dados vetoriais num SIG é bem mais sofisticado do que num CADD, pois em geral um SIG envolve volumes de dados bem maiores e conta com recursos para tratamento de topologia, associação de atributos alfanuméricos e indexação espacial, DAVIS (1998).

2.6.2 Sistema AM/FM

A continuidade e a proliferação do uso dos sistemas CADD e CAC na produção de documentos cartográficos propiciaram o desenvolvimento dos sistemas *Automated Mapping/ Facility Management (AM/FM)*³⁰. Sistemas Especialistas são usados para o gerenciamento mais eficiente de informações, enfatizando a manipulação de facilidades a partir da distribuição espacial, tendo como principal objetivo a análise geográfica e a representação gráfica.

Os sistemas AM/FM foram desenvolvidos para rodar inicialmente em computadores de grande porte, permitindo o gerenciamento de atividades diárias de empresas de abastecimento de água, energia elétrica, telefonia, gás, telecomunicações, etc. Atualização de pedidos de serviço, gerenciamento do banco de dados de consumidores, atualização automatizada das informações gráficas referentes às redes, análise da necessidade de manutenção e expansão das redes são algumas dessas atividades. Estes sistemas gerenciam informações gráficas e tabulares.

De uma forma geral, estes sistemas têm por princípio a solução de problemas de gerenciamento de informações de facilidades (serviços de utilidades pública), enquanto que o SIG está mais relacionado a funções de planejamento. Ambas as tecnologias apresentam vantagens e desvantagens entre si na automação de mapeamentos em suas respectivas áreas de aplicação.

Uma diferença básica entre o sistema AM/FM e o SIG é a maneira pela qual se modela o meio a ser analisado. O AM/FM utiliza lógicas de redes para modelar as relações entre as facilidades dentro do sistema. Os modelos de SIG são mais espaciais e usam células ou polígonos ao invés de relações de redes. O leitor pode adquirir mais detalhes a respeito do sistema AM/FM em SAMBORSKI (1992), KORTE (1997).

AM/FM é um sistema baseado na tecnologia CADD e usado para orientar o mapeamento e dados de atributos. Por exemplo, uma agência de eletricidade poderia utilizar o sistema para armazenar as locações e atributos de suas linhas, pólos, transformadores, etc. O sistema AM/FM utiliza os elementos de dados gráficos CADD para representar feições nos mapas. Assim como o CADD, o AM/FM é referenciado a um sistema de coordenadas e organizado em camadas (níveis) de informações, ou seja, em mapas temáticos. Entretanto, o AM/FM vai além disso, pois define as relações de utilidade entre os componentes do sistema CADD, como por exemplo através de redes. Uma rede identifica quais os componentes estão conectados entre si. Esta é a diferença básica entre os sistemas CADD e AM/FM, KORTE (1997).

³⁰ Mapeamento Automático e Gerência de Facilidades.

2.6.3 SIG

O SIG é o melhor sistema para analisar dados geográficos. Este sistema possui uma estrutura flexível de dados baseados em relações topológicas. Por causa desta estrutura topológica, podem ser realizados diversos tipos de análises de dados geográficos.

O SIG é similar ao CADD e AM/FM no que se refere ao tratamento de dados de elementos gráficos para um sistema de coordenadas X-Y, separando as informações em diferentes camadas (níveis). Além disso, o SIG também armazena atributos de dados que estão associados com dados espaciais e possibilita uma descrição detalhada a respeito dos mesmos.

Segundo BURROUGH (1986), as diferenças principais entre os SIGs e CADD estão no volume e na diversidade muito maiores dos dados de entrada no SIG e na natureza especializada dos métodos de análises utilizados. Essas diferenças são tão significativas que um sistema eficiente para CADD pode não ser adequado para SIG e vice-versa.

O SIG difere dos sistemas CADD e AM/FM nas relações espaciais entre todos os elementos as quais são definidos. O SIG define feições de um mapa através de pontos, linhas e áreas (Vide Figura 2.18). Outros termos, tais como arcos, polígonos, poligonais, superfície e volume, etc. podem ser igualmente representados.

- ⇒ **Pontos** são objetos adimensionais que representam a posição de uma feição que não tem dimensão ou uma feição que tem comprimento e largura, mas que seu perímetro não pode ser representado numa dada escala. Os pontos podem estar associados a entes (discretos), tais como postos de gasolina, escolas, postos de saúde, etc. São representados por apenas um par de coordenadas aos quais associam-se informações sobre orientação, atributo, símbolos, etc.
- ⇒ **Linhas** são objetos unidimensionais que representam uma característica linear com um ponto inicial e um ponto final. A sua geometria é descrita por uma série de par de coordenadas designadas pelos segmentos de retas que as constituem. Em adição, as linhas são codificadas com seus respectivos números de nós, inicial e final, bem como a área a sua posição esquerda e direita. Habitualmente as linhas são associadas apenas a entes tais como rodovias, rios, linhas de telefonia, redes de esgoto, etc.;
- ⇒ **Áreas (Polígonos)** são objetos bidimensionais que representam formas que têm área, ou seja, feições delineadas por linhas limítrofes (linhas de divisas). É uma característica de área topologicamente definida por uma série de arcos compreendendo seus contornos (limites). Municípios, zona urbana, zona rural são alguns exemplos de feições de áreas. Podem estar associadas a entes como propriedades, quadras, etc.

Tipo	Exemplo de representação gráfica	Representação digital
Ponto		Coordenadas: (X,Y) em 2D (X,Y,Z) em 3D
Linha		(1) Lista de coordenadas (2) Função matemática
Área		(1) Linha contínua de pontos (2) Conjunto de linhas se a área contiver vazios
Superfícies		(1) Matrix de pontos (2) Triangulação (TIN) (3) Função matemática (4) Linhas de contorno
Volume		Conjunto de superfícies

(a)

Dimensão topológica	Tipo	Descrição
0	Nó	Representa um ponto isolado ou a terminação de um arco
1	Arco	Conexão entre dois nós
	Arco direcionado	Arco com direção específica
	Anel	Circuito fechado de arcos
2	Face	Região de um ou mais circuitos fechados de arcos
3	Poliedro	Região fechada por duas faces

(b)

Figura 2.18: (a) Geometria primitiva pode ser categorizada como ponto, linha área, superfície e volume; (b) Topologia primitiva.
Adaptado de JONES (1997).

Portanto, os fenômenos geográficos podem ser apresentados por um desses três tipos de representações e uma qualificação. Por exemplo, um posto de saúde pode ser representado por um único ponto com um par de coordenadas e com a qualificação “posto de saúde”. Uma seção de rua pode ser representada por dois pares de coordenadas (um inicial e um final) e qualificado como “rua”. Da mesma forma, uma praça pode ser representada por uma área cobrindo um conjunto de coordenadas mais uma qualificação de “praça”. Em adição, o SIG define os elementos de feições de mapas tais como:

- ⇒ **Superfícies** representam entidades topológicas bidimensionais as quais são menores que a unidade de área. Num arquivo topológico, as superfícies armazenam todos os atributos de ligação com as feições para as quais a superfície foi elaborada, bem como armazenar o cálculo do centróide X-Y.
- ⇒ **Polígonos** representam linhas não-interceptáveis entre pontos, as quais são feições topológicas unidimensionais representando parte do limite de uma superfície (ou possivelmente os limites de uma área, como o caso de uma ilha) ou a posição de uma feição linear. Um arquivo topológico que contém informações de polígonos armazena o número identificador (ID) de uma superfície ou cada lado do polígono, o ID do nó de saída e de chegada do polígono gerador, e as coordenadas X-Y definidoras do polígono.
- ⇒ **Nó** representa a interseção de pontos, pontos finais de linhas e de arcos. Cada nó é numerado uma única vez e representam um par de coordenadas geográficas X-Y. Num arquivo topológico de um mapa armazenam-se informações de suas coordenadas X-Y e estão associados a todos os arcos que se juntam num nó.

Um SIG é designado para permitir os exames de rotinas de dados e atributos espaciais num dado instante. O usuário tem a possibilidade de pesquisar um dado atributo e relacioná-lo com um dado espacial e vice-versa.

Em geral, os três tipos fundamentais de análises de função de um SIG – questões de atributos de dados, questões espaciais e questões de conjunto – podem ser realizadas por todos os tipos de dados espaciais: pontos, linhas, áreas, superfícies, polígonos e nós. O resultado de uma indagação chamada “questão de conjunto” é um grupo ou elementos de feições para um dado critério de avaliação. Um SIG pode realizar vários tipos de análises sofisticadas para os diferentes tipos de questões.

Na elaboração de uma “questão”, o usuário pode definir uma complexa procura de parâmetros que envolvam expressões aritméticas e lógicas ($\leq$, $\geq$, $+$, $=$, *not* $=$, *between*, *is null*, etc.) que especifiquem o valor a ser encontrado e que pode ser combinado numa dada questão.

Um SIG pode armazenar a geometria de mapa (dados espaciais), bem como os atributos das feições do mapa. Um SIG tipicamente armazena esses atributos e feições espaciais em dois diferentes arquivos: um contendo dados espaciais e outro contendo atributos dos dados.

2.7 Formato de dados de um SIG

A tecnologia SIG pode ser muito útil se tiver a capacidade de receber e produzir informações de uma forma efetiva. No passado, a entrada dos dados num SIG tinha que ser convertida na forma digital e estruturada para a forma específica do sistema utilizado. Nos últimos anos, um conjunto digital de dados geográfico padrão tem sido mais largamente usado. Métodos automáticos de conversão de dados, tais como o “*escaneamento*”, tem sido mais utilizados no dia a dia e o uso de métodos digitais de obtenção de dados vêm crescendo de forma a obter os dados diretamente na forma digital.

O olho humano é altamente eficiente no reconhecimento de contornos e formas, porém os computadores necessitam serem instruídos, de maneira precisa, sobre a manipulação e a apresentação dos padrões espaciais. Existem, essencialmente, duas maneiras contrastantes, porém complementares, de representar dados nos computadores. Estas técnicas são conhecidas como *técnicas de geocodificação*. As formas mais comuns usadas na representação de dados de um SIG são (vide Figura 2.19):

- ◆ Formato “Raster” (matricial)
- ◆ Formato “Vector” (vetorial)

Figura 2.19: Tipos de dados de um SIG: modelos vetorial e matricial.

Da figura acima, a grade (malha) raster, ou simplesmente células, apresenta como o mundo real uma “simples malha de letras com códigos” indicando o rio (R), árvores (A) e hotéis (H). Normalmente, os demais espaços da malha podem vir preenchidos por um código único (não pode apresentar mais de um código) ou simplesmente serem apresentados vazios, conforme mostrado na figura. O computador reconhece que este conjunto de pontos representa um objeto determinado por meio de um código numérico que será equivalente a um conjunto de cores ou de níveis de cinza. O formato vetorial utiliza símbolos para representar tamanho e forma do ente. Os rios mantêm suas curvas e as áreas de florestas têm sua forma realística deformada. Algumas limitações do modelo vetorial são, por exemplo, quanto a espessura das linhas usadas nas representações e as formas das construções que podem sofrer alterações em função da escala do desenho.

2.7.1 Representações matriciais (raster)

Na representação dos dados matriciais, o espaço geográfico é tratado como se fosse uma superfície planificada. Cada célula é associada a uma parcela quadrada da superfície terrestre. Em outras palavras, a área a ser analisada é subdividida numa fina malha de células em que é registrado a condição ou o atributo da superfície do terreno naquele local. A cada célula, é atribuído um valor numérico que pode representar uma característica identificadora, um *código de atributo*³¹ qualitativo ou um valor quantitativo do atributo (vide Figura 2.20). Tem-se então um processo de generalização, onde vários elementos que podem constituir uma quadricula deixam de ser individuais. A resolução ou a escala dos dados é dada pela relação entre o tamanho da célula nos bancos de dados e o tamanho da célula no terreno.

³¹ Identificador alfanumérico de um atributo.

Figura 2.20: Ilustrações de representação de dados matriciais (raster).

Arquivos de dados matriciais consistem de uma malha de células uniformes codificadas de acordo com os valores dos dados, isto é, cada pixel representa uma área definida na superfície terrestre e é identificada com valores X, Y e Z. Eles podem ser manipulados rapidamente pelo computador, mas eles são normalmente menos detalhados que os dados vetoriais. Quando se descreve áreas adjacentes, as células matriciais aproximam-se das linhas de divisa entre as áreas. O grau de aproximação está relacionado como o tamanho da célula. A sobreposição de uma pequena malha sobre a célula, indicará a verdadeira posição da linha de divisa; entretanto, o tamanho do arquivo matricial aumentará consideravelmente. Assim como os dados vetoriais, os dados matriciais podem ter atributos de dados relacionados com células individuais. Estes dados podem incluir atributos tais como medidas, nomes, valores, datas, classes, etc.

No formato matricial, a célula é a unidade mínima de mapeamento, isto é, é a menor dimensão que pode representar qualquer ente que se deseja reportar. O tamanho e o formato real do ente não pode ser mantido pela célula raster. O rio, por exemplo, deve ser mais estreito que a célula, mas toda a célula será preenchida para codificá-lo. Observe que a forma dada pelas células matriciais varia em relação a forma dada pelo modelo vetorial. O modelo matricial é mais geométrico enquanto que o modelo vetorial é mais curvo.

Os arquivos de dados matriciais podem ser manipulados rapidamente pelo computador, mas eles normalmente são menos detalhados e podem ser visualmente menos atrativos que os dados vetoriais que se aproximam dos aspectos de um croqui de um mapa.

A vantagem dos dados matriciais é que o espaço geográfico é definido de forma uniforme, simples e com uso previsível. Deste modo, este sistema tem mais poder analítico que os dados vetoriais na análise do espaço contínuo e é adequado para o estudo de dados que variam continuamente sobre o espaço como a taxa de ocupação do solo, salinidade, áreas de erosão, etc. Outra vantagem importante destes tipos de dados é que a sua estrutura está mais próxima da arquitetura dos computadores e como isso, eles tendem a serem mais rápidos nas estimativas de problemas que venham a conter combinações matemáticas de dados. Assim, pode-se afirmar que estes sistemas são muito úteis em aplicações que envolvam análises de modelos ambientais, tais como o potencial crescimento de uma cidade ou no manejo de culturas agrícolas.

2.7.2 Representações vetoriais

CADD, AM/FM e SIG usam um modelo vetorial para representar desenhos e feições de um mapa. Mapa digital vetorial é gravado como pontos distintos, linhas ou áreas. Dados vetoriais digitais podem ser capturados como pontos, linhas (uma série de pontos coordenados) ou áreas (limitadas por uma linha). Os pontos de início e fim das linhas definem os *vetores*, que representam o objeto desejado. No modelo vetorial, informações sobre pontos, linhas e polígonos são codificadas e armazenadas como uma coleção de coordenadas X-Y, em outras palavras, os limites de uma **feição**³² são definidos por uma série de pontos codificados com um par de coordenadas (cartesianas, geodésicas ou no sistema de projeção UTM), que, quando interligados com retas, formam a representação gráfica daquela feição. Feições lineares, tais como rodovias e rios, são armazenadas como uma linha de pontos de coordenadas. Feições poligonais, tais como áreas de fazendas e lagos são armazenadas como uma poligonal fechada de coordenadas.

O modelo vetorial é eficiente para descrever feições discretas, tais como construções e menos útil para descrever feições que variam continuamente, tais como tipos de solos ou cobertura vegetal. Os dados vetoriais são mais eficientes no armazenamento de dados de mapas, porque somente armazenam os contornos e não o seu conteúdo. Os sistemas que utilizam estes tipos de dados permitem obter informações de quaisquer características, como por exemplo, a distância entre pontos ao longo de linhas, áreas de regiões definidas, etc. Esses sistemas podem produzir mapas temáticos simples de consultas ao bancos de dados, como também mostrar todas as localizações, em determinada área, que contenha uma classe de declividade especificada pelo usuário. O formato vetorial se aplica melhor nas áreas de Cartografia e Engenharia pela sua precisão na representação do mundo real, CALIJURI & RÖHM (1995).

Alguns sistemas SIG são programados para manusear formatos “*escaneados*” vetoriais e matriciais e combinar os formatos em suas sub-rotinas. Alguns sistemas usam somente um dos dois formatos realizando algumas conversões através de rotinas internas do software. A Tabela 2.1 apresenta, de forma resumida, as principais características dos dados matriciais e vetoriais.

Existem umas séries de diferenças entre os dados matriciais e vetoriais, conforme apresentado a seguir:

1. A representação vetorial requer menos números e conseqüentemente menor espaço de memória dos computadores;
2. A representação vetorial é esteticamente melhor que a matricial uma vez que os contornos são bem definidos;
3. A representação matricial possibilita mudanças mais rápidas na forma ou o tamanho do objeto. Isto pode ser realizado simplesmente pela mudança dos valores codificados por novos valores;
4. As alterações do objeto na forma vetorial requerem mudanças nos valores de coordenadas e também a reconstrução das ligações entre os pontos e os seus atributos;
5. Na estrutura vetorial, o espaço é considerado contínuo, enquanto que na estrutura matricial o espaço é quantificado;
6. Na análise de imagens, muitas vezes verifica-se que as fronteiras entre os objetos não são bem definidas. Quando se impões linhas para estas representações de modo a delimitar os entes, introduz-se um elemento interpretativo altamente preciso aos dados, o que pode levar a conclusões erradas dos entes. Nestes, casos, o formato matricial seria a melhor alternativa de representação;

³² Entidade geográfica extraída de um mapa ou pesquisada diretamente no mundo real.

7. A principal limitação no uso do formato vetorial está nas operações que necessitem de operações da álgebra booleana e sobreposição de mapas. Nessas operações que são fundamentais em estudos do ambiente, o formato matricial é mais indicado.

Tabela 2.1: Resumo das vantagens e desvantagens dos formatos matricial e vetorial:

Formato	Vantagens	Desvantagens
Matricial	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Estrutura de dados simples; ❑ Facilidade de manipulação de certos relacionamentos de vizinhança; ❑ Possibilidade de representação de dados quantitativos e qualitativos; ❑ Eficiência em análises de superposição de áreas; ❑ Boa representação da variabilidade espacial; ❑ Eficiência na manipulação de imagens digitais. ❑ Custo menor, por exigir plataformas pequenas. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Estrutura pouco compacta; ❖ Complexidade de identificar e manipular objetos individualmente e dificuldade de associar atributos a objetos; ❖ Geração de volume de dados grandes; ❖ Resolução e precisão determinadas pelas dimensões da divisão do espaço; ❖ Necessidade de conversão matricial-vetor para aquisição de mapas; ❖ Dificil representação das relações topológicas; ❖ Saídas gráficas com má delineação.
Vetorial	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Estrutura de dados compacta; ❑ Facilidade de entrada; ❑ Manipulação individual de objetos facilitada e a facilidade de associar atributos a objetos; ❑ Geração de menores volumes de dados; ❑ Precisão depende somente do procedimento de aquisição; ❑ Eficiência na representação e análise das relações topológicas; ❑ Saídas gráficas com boa definição de traços. ❑ Possui capacidade de alta resolução e precisão. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Estrutura de dados complexa; ❖ Manipulação de propriedades topológicas ou do espaço é complexa (exige armazenar topologia explicitamente ou é custosa computacionalmente). ❖ Dificil análise na superposição de áreas; ❖ Representação regular da variabilidade espacial; ❖ Dificil análise de imagens digitais.

Fonte: BRAVO & CERDA. (1995) *apud* DUTRA (1998) e ALVES (1993).

2.8 A formatação dos dados

Os SIGs são normalmente desenvolvidos por empresas comerciais os quais armazenam dados espaciais num formato particular protegido por uma lei de direitos autorais. Em geral, um produto (um programa) de uma empresa de SIG pode não ler e entender dados armazenados e formatados por um outro programa de outra empresa.

Algumas empresas que produzem sistemas de SIG têm deixado em aberto o seu formato de dados o que significa dizer que eles têm tornado público os seus formatos, possibilitando realizar alterações. Isso possibilita aos usuários e à diferentes empresas a elaboração de programas para leitura de dados e a sua posterior aplicação. Quando não é possível a leitura de um dado criado por um certo programa através de um outro programa, surge aí uma grande dificuldade na troca de informações e análises por diferentes usuários utilizando diferentes programas. Neste caso, passa a existir a necessidade do surgimento de um formato padrão que possibilite a troca de informações entre diferentes usuários que utilizem diferentes programas. A solução deste problema pode dar-se através dos seguintes passos: primeiro os dados originais são exportados pelo primeiro SIG para um formato padrão e um segundo passo um outro SIG importa dos dados exportados.

O governo federal americano investiu nos últimos anos no desenvolvimento de dois importantes tipos de padrões de dados. Não somente os usuários de SIG de agências federais têm tido interesse nesses formatos padrões de dados. Além disso, vários estados americanos, agências governamentais regionais e locais têm interesse em utilizar o formato padrão de dados para SIG. A título de exemplo, pode-se citar dois tipos de formato padrão que têm sido utilizados: o Tri-Service Spatial Data Standard (TSSDS) e o Spatial Data Transfer Standard (SDTS) com o Topological Vector Profile (TVP). Além desses, surgiu com grande força entre os usuários de SIG a tendência do uso do Open Geodata Interoperability Specification (OGIS) desenvolvido pelo Open GIS Consortium (OGC).

2.8.1 Tri-Service Spatial Data Standard (TSSDS)

Este formato padrão foi desenvolvido pelo Tri-Service CADD/GIS Technology Center de Vicksburg, MS. Este centro de pesquisa promoveu o uso das tecnologias CADD e SIG no Departamento de Defesa dos EUA.

Este formato foi cuidadosamente desenvolvido, é muito fácil de ser instalado e seu uso é bem simples. As agências governamentais regionais e locais que adotarem este formato padrão terão facilidades de troca de dados entre agências de diferentes locais.

2.8.2 Spatial Data Transfer Standard (SDTS)

O SDTS é um padrão bem variado de transferência de dados de SIG. A publicação nº 173 da Federal Information Processing Standard (FIPS) contém informações necessárias para as agências federais americanas para tornarem públicos os dados disponíveis no formato SDTS. O SDTS é idealizado para facilitar a transferência de dados espaciais entre vários SIGs, e especifica as trocas de formatos para dados vetoriais e matriciais espacialmente referenciados. Esta publicação especifica as características do sistema de codificação (incluindo milhares de códigos de feições) e incluem um modelo para definir a qualidade do SIG, um completo dicionário de atributos de dados e um anexo com uma lista de termos com suas definições.

2.8.3 Open Geodata Interoperability Specification (OGIS)

No início, o mercado internacional de geoprocessamento realizou todo o seu desenvolvimento sem a preocupação de integrar informações geográficas entre os sistemas. Os usuários que utilizaram, ou que ainda utilizam, sistemas projetados com arquiteturas específicas se vêm amarrados a estes sistemas. Uma grande dificuldade encontrada, no passado e no presente, na integração de informações geográficas é devido a incompatibilidade de formatos e estruturas de dados. Em face disso, a indústria do geoprocessamento foi forçada a se unir para estudar a questão e projetar o futuro da tecnologia.

Com a difusão do uso dos SIGs e a pressão contínua por parte dos usuários, os órgãos públicos e empresas privadas americanas se uniram e criaram o Projeto OpenGIS com o objetivo de criar e fazer propostas técnicas de um formato aberto para os softwares de geoprocessamento. A especificação original foi elaborada, em 1993, e financiada pelo U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (USACERL) dirigida para a interoperabilidade das

instalações militares americanas. Em agosto de 1994, o OpenGIS Consortium (OGC) foi formado para desenvolver uma nova aproximação para tornar mais simples o acesso aos dados e as funções de geoprocessamento em diferentes sistemas. O consórcio reconhecia na época que a evolução das tecnologias e modelos de negócios estavam intimamente relacionados e requeria um processo aberto e formal de consenso. Para isso, criaram-se especificações de estruturas computacionais e interfaces de softwares até então não implementadas.

Diferentes SIGs, diferentes formatos de dados e pouca interoperabilidade – estes desafios são familiares para as pessoas que usam computadores para coletar, gerenciar, analisar e apresentar informações. OGIS não é um outro padrão de transferência de dados. Ele representa um novo tipo de compartilhamento e processamento, isto é, permite a aplicação de dados entre diferentes tipos de formatos.

A transferência de dados é realizada de um formato para outro através de comandos específicos e isto pode ser realizado de um formato para vários tipos de formatos através de conversões tais como o SDTS.

A OpenGIS Specification é um conjunto de especificações disponíveis para fabricantes de softwares que podem criar interfaces de comunicação entre dados de diferentes formatos. A atual versão desta especificação contém alguns importantes tópicos apresentados a seguir, McKEE (1998):

- ❖ Estruturas geométricas;
- ❖ Sistemas de referências espaciais;
- ❖ Geometria local (regional) ;
- ❖ Funções de armazenamento/interpolação;
- ❖ Feições próprias do OpenGIS e coleção de feições;
- ❖ A imagem da Terra;
- ❖ Relações entre feições;
- ❖ Qualidade;
- ❖ Transferência de tecnologia;
- ❖ Metadados;
- ❖ Tipos de serviços

A Open GIS Consortium (OGC) foi criada para organizar os recursos e ajudar as indústrias no desenvolvimento do Open Geodata Interoperability Specification (OGIS). Além disso, o OGC foi criado para responder às seguintes necessidades, (Fonte: www.opengis.org):

- ✱ Os usuários precisam integrar informações geográficas de arquivos de dados heterogêneos cujos formatos incompatíveis e estrutura de dados tem interoperabilidade impossível. Essa barreira foi, e ainda é em alguns casos, um fator limitante do uso do SIG;
- ✱ A comunidade de usuários tem grande necessidade de melhor acesso a fontes de geodados públicos e privados;
- ✱ Agenciadores e produtores precisam desenvolver acesso padronizado para especificações de geoprocessamento;
- ✱ A indústria precisa incorporar geodados e recursos de geoprocessamento em projetos de infra-estruturas nacionais de informação, para que sejam encontrados e usados facilmente como qualquer outra rede de dados e recursos de processamento. Para cumprir esse nível de integração, precisam sincronizar tecnologia do geoprocessamento com os padrões de informação emergentes baseados em conceitos de sistemas abertos, processamento distribuído e estruturas de componentes compartilhadas;

- ✱ Os usuários precisam preservar o valor dos sistemas e dados enquanto incorporam novas capacidades de geoprocessamento e fonte de dados. O OGC reúne a síntese de SIG, GPS, Sensoriamento Remoto e bancos de dados espaciais com realidade virtual, multimídia, redes computacionais e aplicações em *desktop* não-espaciais. Faz parte também entre empresas que disponibilizarão aplicações geoespaciais para negócios, governo, educação e entretenimento.

O objetivo do OGC, conforme apresentado anteriormente, é tornar possível a interoperabilidade dos dados geoespaciais e recursos do Geoprocessamento e possibilitar o intercâmbio de informações entre diferentes usuários de SIG e suas organizações. Os usuários de SIG serão capazes de acessar dados espaciais de diferentes fontes através do uso redes computacionais (Internet).

A OGC tem um forte grupo ativo de usuários, incluindo agências governamentais, empresas privadas e universidades que têm interesses em manter a OpenGIS Specification de modo a atender às suas necessidades. Nos EUA, a NASA-GSFC National Space Science Data Center, o U.S. Department of Agriculture (USDA), U.S. Department of Defense (DoD), National Imagery and Mapping Agency (NIMA), U.S. Geological Survey (USGS) entre outros, são os principais membros do OGC. Várias universidades americanas também são membros associados da OGC, bem como vários países são representados por suas agências governamentais.

A OGC tem trabalhado com vários membros associados de países europeus e tem aumentado o número de novos membros com a participação efetiva das universidades. A lista dos participantes pode ser vista na página da OGC na Internet usando o endereço www.opengis.org. A Universidade Federal do Rio Grande do Sul é atualmente o único representante brasileiro neste consórcio. O consórcio está incorporado nos EUA, mas a maioria de seus membros é de outros países e sua missão é global. A tecnologia desenvolvida pela OGC envolve a especificação de interfaces entre softwares e serviços de redes que possibilitem a comunicação de diversos sistemas de Geoprocessamento. Isto se aplica para sistemas originários de diferentes fabricantes e diferentes sistemas de codificação de informações geográficas.

Atualmente toda a tecnologia desenvolvida pelo OGC já se encontra disponível e o usuário pode acessar o endereço www.opengis.org que traz uma lista de especificações disponíveis e a lista de produtos comerciais que implementam estas especificações. Os usuários interessados devem entrar em contato com os representantes locais de softwares para obter informações sobre como adquirir *upgrades* que incluem interfaces de adaptação ao Open GIS.

3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – FONTE DE DADOS

Um SIG é alimentado por informações de diversas fontes. Este capítulo tem por objetivo apresentar as principais fontes de dados alimentadoras dos bancos de dados, tão necessários, para a aplicação da tecnologia de Sistema de Informação Geográfica.

“A negação de Deus carece de toda base científica”.

*(Andrews Milikan 1868-1953.
Prêmio Nobel de Física em 1903)*

3.1 Generalidades

A aquisição de dados refere-se ao processo de obtenção de dados na forma a qual pode-se inferir em um SIG. Para um nível simples de implementação, isto poderia consistir na facilidade de interpretar o formato de um conjunto de dados digitais que foram fornecidos por uma fonte externa. A eficácia deste tipo de facilidade depende da facilidade de reconhecer a variedade de formatos de dados, tais como DLG, DXF e NTF, etc., e a “exportação de formatos” de uma grande variedade de programas tais como ARC/INFO, ArcView, IDRISI, etc. Um SIG pode ser capaz de importar imagens (fotos escaneadas), nos diferentes tipos de formatos, como por exemplo com extensão TIF e GIF. Existem várias fontes de captação de dados espaciais e algumas instituições e organizações utilizam-se destas fontes para obtenção de dados. Entretanto, freqüentemente estas instituições e organizações têm que gerar seus próprios dados digitais para análises específicas de pesquisas ou na solução de problemas.

As técnicas de levantamento podem ser utilizadas na *aquisição de dados primários* que são inerentes das áreas de estudos da Topografia, Geologia, Fotogrametria Aérea ou Espacial e Estudos Sócio-Econômicos que podem envolver entrevistas e a transcrição de documentos. A utilização de SIGs facilita a integração de dados coletados de fontes heterogêneas, de forma transparente ao usuário final.

A criação dos bancos de dados para um SIG consiste na análise dos custos das seguintes operações:

- ◇ Controle do levantamento de campo (Topografia clássica ou uso de sistemas de posicionamento por satélites);
- ◇ Fotografia aérea;
- ◇ Mapeamento topográfico digital;
- ◇ Conversão de mapas existentes em papel para arquivos digitais;
- ◇ Seleção dos dados e atributos;
- ◇ Ortofoto digital;
- ◇ Sensoriamento Remoto;
- ◇ Verificação e correção dos dados existentes;
- ◇ Verificação e correção dos dados obtidos por outras fontes.

Os bancos de dados para a alimentação de um SIG são fundamentais para o sucesso de qualquer projeto ou programa. O processo de criação destes bancos de dados, oriundo de uma fonte de dados qualquer, pode ser dividido em duas etapas. A primeira, denominada entrada de dados, é subentendida como a migração de dados de diferentes fontes para o formato digital; a segunda é a conversão de dados referente a mudança da forma de representação digital, pois quase sempre os dados devem ser submetidos a alguma forma de conversão para serem integrados aos sistemas.

É ainda importante frisar que nenhum SIG poderá realizar qualquer tarefa útil até que o conjunto básico de feições espaciais e alfanuméricas tenha sido reunido e adquirido. Sendo assim, um SIG dificilmente poderá ser concebido, planejado ou implantado sem que se tenha um prévio conhecimento das informações que deverão ser tratadas, a forma como se encontram e o uso a que servirão.

A aquisição da base de dados é a etapa mais complexa e mais onerosa na implantação de um SIG. Não há um consenso na bibliografia quanto a valores percentuais de gastos nesta etapa. Esta estimativa depende dos objetivos do projeto, da região e país onde ocorre sua implantação, e principalmente das técnicas utilizadas para obtenção da base de dados referente ao trabalho. Após consulta a vários pesquisadores e agência implementadoras de SIGs, chega-se a conclusão que a

etapa de aquisição da base de dados é responsável pelo percentual que varia de 50% a 80% dos custos e esforços em um projeto de implantação de um SIG, sendo o primeiro evento no ciclo de vida de um projeto, o qual é essencial para o sucesso da operação.

Um fato que facilitou a incorporação da tecnologia SIG em nossos dias foi que estes sistemas permitem a integração de dados coletados em tempos e escalas diferentes e também usando métodos de coletas diversos.

De acordo com sua origem, pode-se dizer que os dados podem vir de fontes primárias ou secundárias. As fontes primárias são as que envolvem os levantamentos feitos diretamente no campo (levantamentos topográficos e geodésicos), restituição fotogramétrica (terrestre e aérea) e produtos de Sensoriamento Remoto, etc.. As fontes secundárias são as que estão referenciadas aos dados captados e derivadas dos documentos e estatísticas advindas das fontes primárias, tais como gráficos, sensores, mapas, cartas, etc.

A fonte utilizada para a captação dos dados dependerá do nível de detalhamento desejado, precisão esperada, recursos disponíveis e abrangência espacial almejada. Isto significa que é necessário um planejamento do que se deseja extrair no final da implantação do sistema; por exemplo, se o trabalho estiver na área ambiental, onde a precisão de limites é mais flexível, podem-se usar técnicas mais rápidas e menos precisas de coleta de dados. Mas quando o projeto envolve uma área urbana valorizada, então a determinação de limites é essencial para se chegar a um bom resultado, dependendo então de uma técnica de coleta de dados mais sofisticada.

3.2 Técnicas utilizadas para coleta de dados espaciais

A tarefa de se coletar dados pode ser efetivamente realizada através de uma grande variedade de técnicas e equipamentos de acordo com a aplicação que se deseja. Após a coleta dos dados, estes podem estar sujeitos a algum tipo de *tratamento*³³ antes de sua efetiva utilização. A adequada utilização dos dados pode demandar o desenvolvimento de estruturas convenientes de, por exemplo, inserção, eliminação, modificação e recuperação de registros. Assim, o tratamento de dados é constituído por grande variedade de técnicas em permanente evolução, RODRIGUES (1990).

Conforme afirmação anterior, a *coleta de dados*³⁴ espaciais (georreferenciados) pode ser efetuada a partir de levantamentos topográficos, geodésicos, fotogramétricos, por Sensoriamento Remoto ou ainda através da transformação de dados já existentes. A Figura 3.1 apresenta algumas formas de coleta de dados de fontes primárias e secundárias. A aquisição dos dados através das quatro primeiras técnicas acontece quando não se têm dados disponíveis ou quando os dados existentes são desatualizados ou não confiáveis. Utiliza-se a transformação de dados existentes quando estes são confiáveis, precisos, atualizados e adequados para a aplicação em SIG.

³³ O tratamento de dados é o conjunto de operações realizadas sobre dados coletados ou codificados que visam o armazenamento e recuperação, o cálculo de índices, o realce de feições, a geração de representações, etc.

³⁴ A coleta de dados é uma tarefa resultante da observação direta ou indireta do mundo real.

Figura 3.1: Coleta de dados espaciais.
Fonte: Adaptação de PEIXOTO, 1997

3.2.1 Coleta de dados através de técnicas de levantamento topográfico

Os levantamentos terrestres são aqueles que armazenam informações topográficas tais como a locação de rodovias, rios, construções e elevações do terreno ou informações temáticas específicas tais como a Geologia, tipos de solos, qualidade e tipo da vegetação e da água. A *posteriori*, pode-se utilizar informações complementares de mapas topográficos existentes. Estes mapas para serem utilizados, devem apresentar escalas convenientes com o trabalho realizado. Caso estes mapas não apresentem escalas convenientes, estas informações complementares devem ser obtidas através de levantamentos específicos.

Os levantamentos topográficos são uma fonte útil para levantamento de informações cartográficas e cadastrais, usado sempre que não existirem documentos sobre a área de estudo. Estes procedimentos permitem coletar dados diretamente no terreno e introduzi-los na base de dados do sistema. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, os procedimentos de levantamentos topográficos sofreram grandes transformações no que concerne a equipamentos e métodos de elaboração de projetos.

A evolução da informática e da eletrônica, gerando a automatização dos equipamentos, dinamizando e aprimorando as coletas de dados em campo, a dinamização nos trabalhos de escritório, tornando-os mais rápidos e precisos, oferecem aos usuários uma maior confiabilidade para elaboração de bases digitais.

Descrevem-se a seguir alguns dos equipamentos mais utilizados atualmente para levantamentos topográficos, com os procedimentos para coletas de dados.

Nas atividades de coleta de dados em campo, podem utilizar equipamentos denominados de *teodolitos eletrônicos* que são instrumentos que permitem a medição eletrônica dos ângulos

verticais e horizontais. Com estes equipamentos consegue-se alcançar *alta precisão*³⁵ nos diversos trabalhos de engenharia, utilizados principalmente para levantamentos de elementos no meio urbano. A Figura 3.2 apresenta o teodolito eletrônico TM5005 da marca Leica.

Figura 3.2: Teodolito eletrônico TM5005.

Fonte: www.leica.com

Nos teodolitos mais antigos não existiam as cadernetas eletrônicas (também conhecidas por coletoras) para armazenar os dados coletados no campo. Os aparelhos atuais, todos possuem as cadernetas inclusas no instrumento, ou seja, já foram incorporadas internamente ao instrumento. A operação de uma caderneta baseia-se na codificação das informações (códigos e notas), em forma numérica ou alfanumérica, o que mais tarde facilitará o tratamento dos dados espaciais.

Com a evolução tecnológica dos equipamentos, surgiu a *estação total* que é resultante da combinação de teodolito eletrônico, distanciômetro e caderneta eletrônica, apresentando assim todas as vantagens dos teodolitos e distanciômetro, tendo a facilidade de um controle único, obtendo com isso um maior conforto quanto a operacionalidade. As estações totais são utilizadas para levantamentos cadastrais, estabelecimento de poligonais e medições de interesse no meio urbano. Os resultados destes levantamentos podem ser plotados em plantas topográficas com a aplicação de softwares e hardwares apropriados. Através de suas cadernetas eletrônicas ou cartões magnéticos acoplados, também permitem armazenar atributos do ponto levantado. A Figura 3.3 apresenta um modelo deste tipo de instrumento, onde demonstra a possibilidade de transferência direta dos dados da estação para um computador pessoal para a realização de cálculos e/ou plotagem dos pontos levantados.

³⁵ O termo “alta precisão” com a introdução dos equipamentos eletrônicos aparenta ser redundante, pois a precisão nominal dos instrumentos gira em torno de 1 a 10 segundos para medição angular e de 1mm + 1ppm a 5mm + 5ppm para medição de distâncias.

Figura 3.4: Estação Total modelo TCR702.
Fonte: www.leica.com

3.2.2 Coleta de dados através do Sistema de Posicionamento Global (GPS)

É o mais inovador sistema na área de medição e posicionamento na superfície da terra. De acordo com SEGANTINE (1998), é um sistema de aplicações versáteis, rápidas, precisas e econômicas, que proporciona ao usuário a determinação de posicionamento expresso em latitude, longitude e altura geométrica ou elipsoidal, em função das coordenadas tridimensionais cartesianas X, Y e Z em relação ao centro de massa da terra. O grande poder de interação com outros sistemas, aliado à velocidade de aquisição dos dados e a sua natureza automatizada, faz com que tal sistema tenha vantagens com respeito à integração e conversão dos dados.

O funcionamento do GPS baseia-se no princípio da trilateração, através do qual o observador conhece o posicionamento de um conjunto de satélites em relação a um referencial inercial e a sua posição em relação a este conjunto de satélites, obtendo então a sua própria localização referenciada ao mesmo sistema do conjunto de satélites.

À primeira vista parece ser complicada a determinação da posição de um ponto com o sistema GPS. Entretanto, esse sistema trabalha com método similar à triangulação. Para efetuar a determinação de um ponto com o GPS devem ser obtidas a posição orbital de cada satélite e a sua distância em relação ao ponto na terra. A localização dos satélites está contida em um arquivo de dados transmitido à antena receptora no ponto em que está operando, e a distância é calculada multiplicando-se a velocidade da luz pelo tempo que leva o sinal para vir da antena do satélite até a antena do receptor. Os satélites e receptores são providos de relógios extremamente precisos, para que esta distância seja calculada com exatidão.

A precisão obtida na determinação da posição de um ponto na superfície terrestre com o sistema GPS está diretamente relacionada com a qualidade do receptor e com o método de correção usado.

Segundo HOHL (1998) *apud* SOUZA (2000) a aplicação do sistema GPS apresenta vantagens e desvantagens apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Vantagens e desvantagens do uso do sistema GPS.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">❑ Dados espaciais e tabulares são obtidos simultaneamente;❑ Precisão no posicionamento é superior aos métodos convencionais;❑ Sistemas de coordenadas e referência de <i>datum</i> podem ser facilmente mudadas no campo e processadas em software;❑ Conversão de dados compatíveis com software de SIG's é relativamente simples;❑ Coleta de dados no campo pode ser efetuada vinte e quatro horas por dia;❑ Coleta dos dados não é afetada pela condição meteorológica;❑ Não é necessária a intervisibilidade entre os pontos;❑ Custos operacionais de obtenção dos dados são menores que em métodos tradicionais, em muitas aplicações.	<ul style="list-style-type: none">❑ Os usuários do sistema GPS necessitam de treinamentos a cada mudança na tecnologia;❑ O sistema de medição está atrelado à comunicação entre os satélites e antenas receptoras;❑ Construções altas (cânion urbano) podem bloquear os sinais dos satélites;❑ Florestas densas podem atenuar e/ou bloquear os sinais dos satélites;❑ Multicaminhamentos (reflexões dos sinais antes de chegar à antena do receptor, devido à presença de corpos refletivos próximos à antena) de sinais causam erros na determinação das coordenadas;❑ Trabalho de alta precisão requer muita atenção na configuração do sistema, no padrão de coleção de dados, nos procedimentos de coletas e operacionalização.

Fonte: SOUZA (2000).

Com tudo isso, o sistema GPS vem causando um impacto importante na inter-relação com os sistemas SIG's e com as novas tecnologias emergentes. A tendência é um acréscimo da compatibilização entre os dois sistemas nas diversas aplicações a que se prestam. A Figura 3.5 apresenta um receptor GPS para coleta de dados. Maiores detalhes a respeito deste sistema serão apresentados no capítulo 5.

Figura 3.5: (a) Operadora com o sistema GS50 GPS/GIS executando coleta de dados; (b) Sensor e coletora do sistema GS50 GPS/GIS.

Fonte: <http://www.leica-geosystems.com/gps/product/gs50.htm>

3.2.3 Coleta de dados através da Fotogrametria

As equipes de topografia de campo são responsáveis pela criação de pontos de controle

para a Aerofotogrametria. A rede de pontos de controle forma um mapa base para a Aerofotogrametria. A implantação desta rede de pontos, também chamada de mapa básico, é uma das tarefas mais caras para a implantação dos bancos de dados. A precisão de todos os dados de um SIG depende da precisão do mapa básico, isto é da precisão horizontal e da escala do mesmo. A aquisição de dados digitais a partir de fotografias envolve a utilização de equipamentos fotogramétricos que são usados na interpretação de fotografias e o armazenamento direto de atributos num formato digital.

A Fotogrametria é a técnica que permite o estudo e a definição das formas, das dimensões e da posição de objetos no espaço, utilizando-se de medições obtidas a partir de fotografias ou imagens *raster*³⁶. A Fotogrametria caracteriza-se, portanto, como uma técnica geral de medições, associando e adaptando os métodos de medições às características peculiares da fotografia.

Os levantamentos fotogramétricos podem gerar os seguintes tipos de bases cartográficas: mapas convencionais e digitais e *ortofotocartas*³⁷ convencionais e digitais. Uma ortofoto é geometricamente equivalente a um mapa que representa as feições do terreno numa visão plana e ortogonal, ou seja, as posições dos pontos são dadas por suas posições verticais. Devido a isso, as ortofotos têm a vantagem de possibilitar as medições de grandezas angulares, lineares e áreas. Além disso, as ortofotos contêm a imagem de um número infinito de pontos objetos do terreno. No passado, a idéia da criação de ortofotos digitais foi deixada de lado pela dificuldade do armazenamento da grande quantidade de informações oferecida pelas imagens. Com o desenvolvimento da área de informática nos últimos anos, foi possível a obtenção de computadores suficientemente capazes de armazenar e manipular os dados coletados de maneira rápida segura e a baixo custo. As ortofotos digitais propiciam todas as informações inerentes das fotografias e ao mesmo tempo permitem a sobreposição de mapas usados nos SIGs. A coleta de informações para se chegar a tais resultados consiste na utilização de câmaras fotográficas especiais, podendo se efetuar levantamentos fotogramétricos terrestres (curta distância) ou a bordo de aeronaves (aerofotogrametria).

A fotogrametria tem a vantagem de ser uma técnica que traz bom nível de precisão e as fotografias podem ser usadas para checar a fidelidade do mapeamento já concluído. É uma tecnologia representada por um corpo técnico altamente treinado, e os equipamentos são precisos e formalmente calibrados, embora tenha também as desvantagens dos altos custos dos equipamentos e da requerida qualificação do pessoal.

O planejamento e os custos de uma cobertura fotogramétrica dependem do objetivo do projeto e a sua realização está sujeita a diversas limitações, tais como condições atmosféricas e altura do sol. O sucesso do projeto está condicionado à boa qualidade das fotografias tomadas, bem como a sua adequação aos equipamentos disponíveis para conclusão dos trabalhos.

O interesse essencial desta técnica é que ela permite o registro, quase instantâneo, do estado de um objeto possibilitando uma posterior exploração das medições em condições geralmente mais favoráveis do que àquelas permitidas “*in situ*”. Além disso, a fotografia é um documento de arquivo facilmente manipulável, de conservação quase ilimitada e de fácil restituição. Adiciona-se a isso a amplitude espectral que possibilita análises de fenômenos não detectados pela vista humana (infravermelho, por exemplo). Vide Figura 3.6.

³⁶ Dá-se o nome de imagem raster a imagem em forma de pixel, armazenada em algum tipo de meio digital. O mesmo que imagem digital.

³⁷ São imagens fotográficas onde se corrigem as distorções devido ao movimento e inclinação da câmara, produzindo assim uma imagem ortogonal.

Figura 3.6: Foto aérea do Campus da Escola de Engenharia de São Carlos da USP (EESC/USP), obtida em 1998.

A Fotogrametria é uma técnica indispensável para muitos trabalhos da Geomática. Para as áreas técnicas, em especial para a Engenharia Civil, ela oferece um suporte inestimável, reduzindo custos e tempo de trabalho. O principal obstáculo ao seu uso extensivo ocorre devido ao alto custo dos equipamentos e a necessidade da presença de técnicos bem treinados para operar os equipamentos necessários para a obtenção dos dados e para o tratamento posterior.

A restituição fotogramétrica pode ser efetuada em restituidores analógicos, semi-analíticos, analíticos e digitais. Os restituidores analógicos são estereorestituidores ligados a pantógrafos, os quais possibilitam que as informações sejam coletadas e desenhadas em uma mesa, propiciando como resultado os mapas convencionais. Os restituidores semi-analíticos e analíticos utilizam, para transmitir as informações, recursos mecânicos e eletrônicos. Os restituidores digitais só se utilizam recursos eletrônicos, resultando assim as restituições numéricas ou digitais, que pode ser diretamente utilizada na formação das bases de dados de um SIG.

Atualmente, os três últimos processos são os mais utilizados na confecção de bases cartográficas, em razão da melhor precisão e rapidez dos trabalhos, fazendo com que a relação custo/benefício melhore quando comparados aos demais métodos. São métodos que trazem facilidades para o estabelecimento de um SIG; assim sendo, merecem atenção especial quanto ao fechamento dos elementos que irão compor a base de dados. Tal verificação tem importância para a definição correta das relações topológicas entre as entidades gráficas.

Quanto as ortofotocartas, eram inicialmente processadas em meio analógico utilizando-se os ortoprojetores, que são equipamentos que reconstituem feixes óticos, anteriormente obtidos pela projeção central das fotografias, para projeção ortogonal, originando assim os mapas em forma de fotografias ou ortofotos. Atualmente, são elaboradas nas estações fotogramétricas digitais, resultando nos ortofotomapas digitais. Esse desenvolvimento facilitou a visão das ortofotos em várias escalas, fez com que a execução e classificação das imagens fossem feitas com maior

precisão e agilizou as mudanças de análises, tornando a ortofotografia uma das mais populares fontes de dados para o Sistema de Informações Geográficas (HOHL, 1998).

A partir de 1990 a Fotogrametria passou a utilizar imagens digitais ao invés de fotografias em papel. A essa nova Fotogrametria deu-se o nome de Fotogrametria Digital. Assim, define-se Fotogrametria Digital como sendo a parte da Fotogrametria que trata dos aspectos geométricos do uso de fotografias, com a finalidade de obter valores precisos de comprimentos, alturas e formas, baseando-se no uso de imagens digitais, armazenadas em meio magnético, na forma de *pixels*³⁸. Ela é totalmente baseada no princípio da estereoscopia e na orientação analítico-digital das fotos.

SILVA (1998) descreve as características da fotogrametria digital, focaliza as principais inovações ocorridas e enfatiza a evolução da fotogrametria digital, mostrando as vantagens, desvantagens, precisões e produções destes sistemas. A precisão da fotogrametria digital depende de alguns fatores, apresentados a seguir:

- ◇ Escala da imagem;
- ◇ Tamanho do pixel;
- ◇ Qualidade da imagem (influenciada pelas variações radiométricas);
- ◇ Conteúdo da imagem (por exemplo, textura e contraste);
- ◇ Precisão e visibilidade dos pontos de controle terrestre;
- ◇ Relação base/altura de vôo;
- ◇ Habilidade do operador para operações não automáticas.

A Figura 3.7 apresenta uma estação fotogramétrica digital, exemplo de equipamento moderno comercializado na área da fotogrametria.

Figura 3.7: Restituidor digital SOCET SET da LH-Systems. O software deste sistema pode ser utilizado em plataforma Windows NT ou em plataforma UNIX.

Fonte: http://www.lh-systems.com/products/socet_set.html

³⁸ Pixel, vem do Inglês e significa elemento de figura. Deve ser entendido como o elemento matricial que forma uma figura digital. Nas imagens digitais preto e branco o valor de um pixel pode variar de 0 a 255.

3.2.4 Coleta de dados através da técnica de Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto é definido como sendo a técnica de observação a distância pela medição e o tratamento do raio eletromagnético emitido ou refletido pelos objetos estudados, com o objetivo de obter informações concernentes a sua natureza, as suas propriedades e ao seu estado.

O Sensoriamento Remoto baseia-se, fundamentalmente, na medição da variação da energia eletromagnética. Dependendo da natureza da radiação, é possível gravá-la em uma emulsão fotográfica ou captá-la através de um sensor fotoelétrico, como por exemplo, em uma câmera CCD, e gravá-la em um meio magnético adequado. A imagem assim gerada pode, posteriormente, ser tratada para uso em uma variedade de aplicações científicas e de engenharia, como por exemplo, o mapeamento topográfico de áreas extensas ou a geração de mapas temáticos para uso em projetos de engenharia, em geral. O potencial desta tecnologia está na atualização dos dados a custos bem baixos e em tempos menores.

A tecnologia do Sensoriamento Remoto, conforme definimos acima, envolve a medida e registro de energia no espaço e no tempo. A maior parte das atividades desta tecnologia concentra-se na observação de fenômenos ligados à radiação eletromagnética. Essas observações podem ser reunidas basicamente em três domínios:

1. *Espacial* que envolve grandezas do tipo tamanho, forma e distribuição;
2. *Temporal* que envolve grandezas que variam no decorrer do tempo;
3. *Físico* que envolve grandezas que exercem trocas energéticas por radiação eletromagnética ou alterações em campos de força.

Sensores a bordo de satélites artificiais permitem a realização de medições consistentes multi-temporais, relativas a grandes áreas, durante períodos de tempo que podem chegar a décadas. O Sensoriamento Remoto tem sido usado como uma imagem de suporte para os dados de um SIG. Os levantamentos a partir de informações de imagens de satélites iniciaram-se na década de 70 a partir dos lançamentos dos satélites artificiais American Earth Resources Technology Satellite (ERTS-1). Estes satélites formaram os primeiros satélites da série LANDSAT (LANDSAT-1 a LANDSAT-5 e LANDSAT-7). No início, os principais tipos de Sensoriamento Remoto usados nos SIGs aplicavam as imagens multiespectrais dos sistemas SPOT (SPOT-1 e SPOT-3) e LANDSAT. Atualmente, existem para isso vários tipos de satélites com diferentes tipos de sensores, entre os quais vale a pena citar os satélites: KOMPSAT, ORBVIEWS, ORBVIEWS, CBERS, ERS2, LANDSAT, SPOT e IKONOS. Apresentam-se a seguir alguns detalhes de alguns destes sensores. Recomendamos ao leitor consultar a bibliografia indicada para obter maiores informações a respeito deste assunto.

O sensor *TM*³⁹ do satélite LANDSAT possui sete bandas, com numeração de 1 a 7, sendo que cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite. O satélite LANDSAT apresenta a característica de repetitividade, isto é, observa a mesma área a cada 16 dias. Uma imagem inteira do satélite representa, no solo, uma área de abrangência de 185 x 185 km. A resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 metros (ou seja, cada "pixel" da imagem representa uma área no terreno de 900 m²). Para a banda 6, a resolução é de 120 metros (cada "pixel" representa 1,4 ha). As imagens oferecidas por este sensor podem ser em tonalidades de cinza ou coloridas. A Figura 3.8 apresenta parte de uma imagem da banda 3 do sensor TM do LANDSAT da cidade de São Carlos (SP). Além dos sensores TM, os satélites LANDSAT, da

³⁹ TM: Thematic Mapper.

primeira geração, possuem os sensores MSS com 4 ou 5 canais, com resolução de 80 metros para o MSS de 4 canais e variando de 80 a 240 metros para o MSS de 5 canais.

Figura 3.8: Imagem LANDSAT TM da banda 3 da cidade de São Carlos (SP).

Uma imagem em preto e branco é feita com apenas uma banda, enquanto que uma imagem colorida é feita com 3 bandas, associando-as às cores azul, verde e vermelha. A Tabela 3.2 apresenta os valores da faixa espectral de cada uma das bandas do sensor TM do LANDSAT 5.

Tabela 3.2: Bandas e Faixa espectral do sensor TM do LANDSAT-5.

Banda	Faixa espectral
1	0,45 a 0,52 μm - azul
2	0,52 a 0,60 μm - verde
3	0,63 a 0,69 μm - vermelho
4	0,76 a 0,90 μm - infravermelho próximo
5	1,55 a 1,75 μm - infravermelho médio
6	2,08 a 2,35 μm - infravermelho distante
7	10,4 a 12,5 μm - infravermelho termal

Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/html/landsat.htm>

A partir de 1999, estão disponibilizadas as imagens LANDSAT 7 geradas a partir de uma nova tecnologia de satélites. As imagens geradas são resultado de uma combinação média de resolução espacial (pixel de 15 metros no canal pancromático) e de boa resolução espectral (1 banda pancromática, 3 no visível, 3 no infravermelho e 1 no infravermelho termal). O aumento na resolução da imagem propiciou logicamente o seu uso em áreas de engenharia que até então não se beneficiava dos recursos do Sensoriamento Remoto. No caso específico da Engenharia de Transportes, estas novas imagens podem ser usadas no Planejamento Territorial e Urbano. A Figura 3.9 apresenta um exemplo deste novo tipo de imagem.

Figura 3.9: Extrato da imagem monocromática do LANDSAT 7 de Brasília (DF).

Fonte: <http://www.engesat.com.br>

As imagens dos satélites LANDSAT 7 são obtidas a partir dos sensores ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) e apresentam a melhor resolução custo-benefício entre os produtos gerados por satélites de média resolução atualmente disponíveis no mercado.

A série de satélites SPOT (Satellite pour l'Observation de la Terre) é muito semelhante ao sistema LANDSAT e foi iniciada com o satélite franco-europeu SPOT 1, em 1986 e sob a responsabilidade do Centre National d'Etudes Spatiales – CNES, da França. A série prosseguiu com o lançamento do SPOT-2, ainda em operação, e com o SPOT-3, que após um bom período de funcionamento entrou em pane. A série teve continuidade com o lançamento dos satélites SPOT-4, em 1999, e com a previsão do lançamento da série SPOT-5 (A e B). A série SPOT inaugurou a possibilidade de imagens tridimensionais graças a sua capacidade de visada lateral, de até 27° (estereoscopia cilíndrica), e aumentou também a resolução espacial no canal pancromático para 10 metros.

O sensor SPOT multiespectral possui uma resolução da ordem de 20 metros e o sensor SPOT pancromático possui uma resolução da ordem de 10 metros. A Figura 3.10 apresenta um exemplo de imagem pancromática de resolução de 10 metros do sistema SPOT. Estas imagens têm sido usadas em várias aplicações de SIG, incluindo análises de impacto ambiental, avaliação de áreas, planejamento de vias e uso da terra, o desenvolvimento e o monitoramento na agricultura, na área florestal, etc. Todavia, a baixa resolução destas imagens foi um fator limitante à demanda de aplicação dos SIGs em áreas urbanas. Entretanto novos sistemas de satélites comerciais têm oferecido resoluções da ordem de 1 a 3 metros. Estes novos sistemas além de garantir uma maior resolução espacial, também oferecem uma maior frequência de repetibilidade de cobertura, isto é, de 1 a 5 dias em várias partes do planeta.

Figura 3.10: Imagem do sistema SPOT do Município de Hiaras (SP)

Fonte: www.engesat.com.br

A quarta série dos satélites SPOT - SPOT 4 – é equipada com sensores HRVIR que trazem importantes melhorias técnicas em relação aos seus predecessores. Nestes satélites foram adicionadas umas novas bandas espectrais no infravermelho médio o qual proporciona uma resolução de 20 metros e também foram substituídos os canais pancromáticos pelos canais monocromáticos (com comprimento espectral igual a banda 2 e resolução espacial de 10 metros). A Figura 3.11 apresenta um exemplo deste tipo de imagem.

Figura 3.11: Extrato imagem SPOT 4 mod PAN, 10 m de resolução, tomada em 03/04/97, da cidade de Guarulhos-SP

Fonte: www.intersat.com.br.

Atualmente, o sistema orbital que oferece a maior resolução espacial é o sistema IKONOS II. Este sistema foi colocado em operação em 24/09/1999 pelos EUA e proporciona uma resolução, no terreno, da ordem de 1 metro na imagem pancromática e 4 metros na imagem multiespectral e oferece um período de revisita reduzido e a capacidade de gerar pares estereoscópicos. A faixa de imageamento é de 13 km no nadir, ou seja, uma imagem de 13 km X 13 km. Esta tecnologia para aplicações civis é consequência direta da liberação tecnológica iniciada em 1994 pelo Governo Americano. Tais imagens de alta resolução já são realidade e estão revolucionando o mercado de imagens de satélites, no Brasil e no exterior, estando comercialmente disponíveis a partir de março de 2000. As fotografias digitais do IKONOS, a primeira vista, impressionam e chegam a assemelhar-se com as que até pouco tempo atrás só eram obtidas através da aerofotogrametria. Mas as semelhanças param por aí. Na realidade, as duas modalidades de imageamento são diferentes e produzem resultados igualmente diversos.

As imagens de alta resolução geradas pelo sistema IKONOS terão, teoricamente, uso ilimitado em diversos mercados (incluindo governos municipais, estaduais e federal) e em várias aplicações como mapeamento, agricultura, manejo florestal e resposta a emergências. Em substituição a fotos aéreas, pode-se utilizar este recurso para atualizar, com facilidade e rapidez, mapas altamente detalhados de países inteiros. Agricultores podem monitorar a saúde de seus cultivos e estimar safras com maior precisão e em intervalos menores. Cientistas podem observar ecossistemas frágeis e fazer previsões com maior grau de certeza. Agências governamentais podem monitorar e planejar mais claramente uma política de uso da terra e urbanísticas pode expandir o desenvolvimento de novas comunidades habitacionais com maior precisão e cuidado. Do exposto, pode-se vislumbrar ao alto potencial destas imagens para uso em SIG. A Figura 3.12 e 3.13 apresentam exemplos de imagem desse sistema.

Figura 3.12: Imagem adquirida em 4/3/2000 quando da passagem do satélite IKONOS II sobre o território brasileiro. Apresenta-se nesta imagem a região da Marina da Glória, Aterro do Flamengo e Aeroporto Santos Dumont na cidade do Rio de Janeiro (RJ).

Todos os profissionais que trabalham com imagens, sejam empresas de aerolevantamentos, empresas representantes de satélites, consultores, usuários e acadêmicos são unânimes na afirmação que ainda existem muitas dúvidas em torno das imagens do IKONOS. O fascínio e a oportunidade de obter uma imagem de alta resolução pode levar o consumidor a cometer enganos que envolvem gastos consideráveis. É fundamental que o usuário tenha bem definido qual será a finalidade das imagens obtidas, antes de se fazer a escolha definitiva. A Space Imaging, empresa americana responsável pelo sistema IKONOS, oferece diferentes produtos deste sistema. Sob a marca Carterra esta empresa distribui diferentes tipos de imagens com diferentes tipos de resolução e precisão horizontal. No Brasil, são disponibilizadas 5 variantes das imagens dos satélites: Geo, Reference, Map, Pro e Precision. Estas variantes apresentam 1 metro de resolução pancromática ou 4 metros de resolução multiespectral. Além disso, essas variantes podem ser apresentadas desde a forma Geo (a imagem é apresentada da forma que foi captada, sem qualquer tratamento de correção geométrica com desvio padrão de 25 metros na precisão horizontal) até a forma Precision (a imagem propicia a obtenção do modelo digital do terreno atingindo uma escala de 1:5000 com erro de posicionamento da ordem de 1,9 metros). FILHO (2000) apresenta uma excelente explanação sobre o sistema IKONOS que deve ser consultado pelos leitores que buscam informações mais detalhadas deste sistema.

Figura 3.13: Extrato de cena do IKONOS II Modo PAN, da Avenida Paulista, São Paulo (SP), com 1 metro de resolução, adquirida em 04-04-2000.

Fonte: http://www.engesat.com.br/download_imgs/downl_imgs2.htm

Atualmente, no Brasil, recebem-se dados de vários tipos de sistemas orbitais, tais como os satélites da série LANDSAT, SPOT, TIROS/NOAA, METEOSAT, ERS, IKONOS e o **CBERS**⁴⁰. Este último é fruto do desenvolvimento tecnológico conjunto de técnicos brasileiros e chineses que firmaram um tratado de cooperação tecnológica em julho de 1988 para o desenvolvimento de dois satélites de observação da Terra. A extensão territorial, o grande número de áreas despovoadas e de difícil acesso e a vocação agrícola de ambos os países fizeram com que eles tivessem necessidades semelhantes, o que contribuiu para a concretização da parceria. Outro fator importante foi a semelhança de nível tecnológico entre os dois países, uma vez que ambos tinham um programa espacial mas ainda não haviam participado de um projeto desse porte. A China tinha, por um lado, tecnologia para confecção de lentes das câmeras de alta resolução e para controlar o apontamento dos sensores e o Brasil tinha tradição e competência na área da eletrônica e uso de metodologias avançadas de sensoriamento remoto e meteorologia por satélites além de um parque industrial mais moderno.

O engajamento brasileiro no desenvolvimento do CBERS marcou o início de uma nova etapa do programa espacial brasileiro e serviu como fator estratégico para a diversificação de parcerias no escopo mais amplo da ciência e da tecnologia. Em 14 de outubro de 1999, às 11h 26min 14seg, ocorreu o lançamento do primeiro satélite CBERS-1, utilizando o foguete Longa Marcha 4B, a partir da Base de Lançamento de Taiyuan, situada na província de Shanxi aproximadamente 750 km de Beijing, China. O lançamento do CBERS-2 deverá ocorrer até o mês de outubro de 2001.

A geração de imagens a partir de satélites varia de diversas formas. A Tabela 3.3 apresenta as características gerais dos principais satélites que dispõem dados para o Brasil.

O maior desenvolvimento de levantamento de dados sobre a superfície da terra, ou próxima dela, tem sido sem sombra de dúvidas a introdução do Sistema de Posicionamento Global

⁴⁰ CBERS: vem da abreviação China-Brazil Earth Resources Satellite e tem sido usado no meio técnico brasileiro como sendo Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres.

por Satélites (GNSS) que englobam os sistemas americano denominado de *Global Positioning System (GPS)* e russo, similar ao americano, denominado de *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS)*. Estes sistemas de posicionamento possibilitam atualmente a determinação de coordenadas com a precisão instantânea da ordem inferior a 25 metros até obterem-se precisões milimétrica.

É comum no meio técnico e acadêmico brasileiro se fazer menção apenas ao sistema de posicionamento americano GPS, uma vez que a maioria dos equipamentos adquiridos por empresas e instituições nacionais, capta apenas os dados emitidos por este sistema de satélites. No presente texto, nas páginas que seguem, quando se fizer menção ao sistema de posicionamento global entenda-se que se trata do sistema GPS ou simplesmente GPS.

Tabela 3.3: Características dos principais sistemas orbitais que disponibilizam dados para o Brasil:

Satélite	Instrumento	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal
LANDSAT	MSS	4	80 metros	16 dias
	TM	7	30 metros	16 dias
SPOT	XS	3	20 metros	26 dias
	PAN	1	10 metros	26 dias
TIROS/NOAA	AVHRR	5	1100 metros	6 horas
METEOSAT	MSS	4	8 000 metros	30 minutos
ERS	SAR banda-C	1	25 metros	25 dias
IKONOS	MS	4	4	1,5 dia
	PAA	1	1	3 dias
CBERS	IR-MSS	1	260 metros	5 dias

Fonte: Adaptado de CÂMARA et al. (1996)

As precisões possíveis de serem obtidas para as coordenadas dos pontos medidos, são funções dos métodos e equipamentos utilizados. O sistema GPS tem afetado a obtenção de dados para os SIGs nas mais diferentes fontes de captação de dados. As empresas de mapeamento fotogramétrico estão usando os métodos de levantamento com GPS no estabelecimento de pontos de controle terrestre para a própria Fotogrametria e para projetos de mapeamento. Os custos destes levantamentos são bem inferiores aos métodos clássicos de captação de dados e as precisões das coordenadas dos pontos tem justificado a aplicação desta tecnologia. Em certos casos pode-se acoplar um “notebook” aos receptores para assegurar maior capacidade de armazenamento de dados. Os usuários de SIG podem usar o sistema GPS para verificação de dados no campo, propiciando assim uma redução de tempo e conseqüentemente de custo na verificação de dados coletados a partir de outras fontes, tais como imagens de satélites, fotografias, mapas antigos, etc. Veículos dotados de receptores GPS podem percorrer estradas e ao longo do caminho ir armazenando suas posições e simultaneamente ir executando uma gravação em vídeo do pavimento, sinalização, construções ao longo da via, etc.

Conforme afirmação anterior, uma grande parte dos custos na implantação de um SIG reside na conversão dos dados existentes para um formato digital. Pode-se afirmar que estes custos são da ordem de 50 a 80% do total da implantação do sistema. Uma quantia considerável é devida as operações de coleta e a digitalização das informações dos mapas existentes. Por isso, é muito importante a definição das informações que serão realmente necessárias ao sistema. Custos adicionais incluem aqueles relativos à operação e manutenção da base de dados e as seguintes implementações do sistema:

- ◊ Manutenção dos “hardwares” e “softwares”;
- ◊ Gerenciamento dos dados;

- ◇ Manutenção dos dados;
- ◇ Treinamento de pessoal;
- ◇ Suporte de atendimento ao sistema;
- ◇ Suporte de atendimento ao usuário;
- ◇ Desenvolvimento de partes necessárias ao sistema;
- ◇ Equipamentos e materiais de suprimento (tinta de impressora, tinta para plotters, disquetes, CDs, etc.)

Muitos destes custos podem variar ao longo do tempo, especialmente os profissionais responsáveis pelo sistema, os digitalizadores, os analistas e programadores, etc. Como custos de manutenção podem também incluídos os custos de aluguéis de instalação, aluguéis de veículos, equipamentos, etc. Os custos de manutenção de um SIG não devem ignorar a atualização dos “softwares” e “hardwares”, de pelos menos de 4 a 6 anos de uso. Deve-se também ter em mente os custos referentes ao pagamento de benefícios aos profissionais, tais como seguro saúde, licença médica, férias, adicional de férias, etc.

As novas tecnologias de “scanear” a superfície terrestre através de aeronaves usando radares e lasers (sistemas IFSAR e LIDAR) têm produzido levantamentos com precisões centimétricas tanto nas coordenadas horizontais quanto verticais. Estas tecnologias têm demonstrado um grande potencial para um futuro próximo e sinalizando uma melhoria sensível na precisão.

Embora o Sensoriamento Remoto possa ser usado para se obter informações geométricas de objetos na terra, ele tem sido usado, primordialmente na geração de **mapas temáticos**. Esse tipo de informação pode ser utilizado com grandes vantagens na fase de anteprojeto de obras de engenharia civil, como por exemplo, projetos de drenagem e de rodovias ou então no planejamento do uso do solo ou qualquer outro tipo de estudo que necessite de mapas com a representação de áreas extensas. Além disso, o Sensoriamento Remoto permite também o estudo espectral das imagens para análises da matéria, como por exemplo, as energias caloríficas ou químicas, que permitem a identificação de objetos no solo, o reconhecimento das variedades da cobertura vegetal e outras características de fenômenos inerentes a superfície terrestre.

O uso do Sensoriamento Remoto vem crescendo a cada dia em nosso país. Existem vários cursos que formam profissionais para trabalharem nessa área. Não existe, contudo, nenhum curso específico de graduação em Sensoriamento Remoto. Os cursos de Agrimensura, de Geografia e de Cartografia cobrem uma parte do assunto, porém, um conhecimento mais profundo somente pode ser obtido nos vários cursos de pós-graduação existentes no país. No Brasil, o maior centro de estudos, pesquisas e análises desta técnica é o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

3.2.5 Obtenção de base de dados através da conversão de dados já existentes

A conversão de dados já existentes para o formato digital acontece quando os mapas convencionais apresentam precisão e escala adequada e informações confiáveis para a alimentação das bases georreferenciadas.

A digitalização é um processo de conversão das características de um mapa convencional para o formato digital para que esses sejam utilizados em computadores. A captura desses dados se dá utilizando-se mesa digitalizadora ou *scanner*. A primeira, gera estruturas vetoriais, e os *scanners* apresentam estruturas matriciais. As técnicas utilizadas para executar os trabalhos descritos são: digitalização manual, automática e semi-automática, que é menos empregada e que DAVIS Jr. &

FONSECA (1994), denominam de digitalização “*heads-up*”. Nesta última, em vez de se ter um mapa em papel, tem-se uma imagem digitalizada por *scanner* e corrigida geometricamente, colocada como fundo de tela, e o operador vetoriza as feições em superposição a esta imagem, incorrendo assim em erros menores.

3.2.5.1 Digitalização manual, via mesa digitalizadora

Esse método é também denominado apenas por digitalização. A precisão do produto final neste processo depende da resolução do equipamento e da habilidade do operador. O tamanho do arquivo digital gerado depende da complexidade do mapa original e do processo utilizado para efetuar o trabalho, podendo ser uma digitalização ponto a ponto ou contínua.

Os equipamentos básicos necessários para a realização de uma digitalização são um computador e uma mesa digitalizadora. A configuração mínima do computador deve ser aquela que atenda às exigências mínimas do software aplicativo na operacionalização do processo. A mesa digitalizadora é o equipamento fundamental para se efetuar o processo. É encontrada no mercado em múltiplos tamanhos (228 x 304 mm a 912 x 1216 mm (A0)) e modelos. Recomenda-se que o usuário faça um levantamento bem criterioso na definição da mesa que atenda as exigências mínimas do projeto. Maiores detalhes a respeito destes equipamentos podem ser adquiridos em SOUZA (2000), CHAVES (1998), catálogos e representantes dos fabricantes.

Um fator muito importante relacionado com a digitalização manual é a qualidade do produto final. A qualidade da base de dados, ou seja, do produto final da digitalização, está diretamente relacionada às finalidades a que se destina. São usados dois indicadores para aferição da qualidade da digitalização efetuada em mesas digitalizadoras: a *resolução* e a *precisão*.

A resolução é dita como sendo a menor distância ou movimento do cursor que a mesa pode distinguir, isto é, a menor distância que pode ser medida ao longo dos eixos horizontal e vertical da mesa. Depende do espaçamento dos fios da malha que formam o sistema de coordenadas, geralmente entre 0,025 mm e 0,0025 mm. Já a precisão é a distância entre o ponto cujo par de coordenadas é registrado e a sua localização real no mapa. Varia de 0,25 mm a 0,025 mm, de acordo com o equipamento. Esses indicadores são fornecidos pelos fabricantes, SOUZA (2000).

O procedimento para a realização de uma digitalização pode ser *ponto a ponto* ou *contínua*. O procedimento ponto a ponto é aquele onde são registradas as coordenadas dos pontos característicos do mapa, quando se aciona o botão do cursor. O sucesso da operação depende da habilidade do operador e também do software utilizado na hora da reprodução das curvas e polígonos presentes no mapa de origem. É indicado para digitalização de mapas com traços menos complexos, por exemplo, poligonais. No modo contínuo, as coordenadas são registradas a uma taxa contínua a medida que uma feição no mapa é percorrida pelo cursor, sem a necessidade de acionamento do cursor. Desta forma cabe ao operador determinar a taxa de tempo e espaço de coleta no software e também a menor ou maior velocidade, de acordo com a complexidade da feição. Este procedimento é mais preciso que o anterior, entretanto, depende de algoritmo e software mais complexos e requer grande espaço de armazenamento.

SOUZA (2000) apresenta as principais etapas do processo de digitalização:

- ◇ **Preparação da fonte:** Etapa que consiste em indicar as características cartográficas do mapa (escala e sistema de projeção, etc.); identificar e compilar as informações complementares a serem registradas e efetuar a operação de identificação e registro de pelo menos três pontos de coordenadas conhecidas no mapa para a orientação da mesa;

- ◇ **Projeto de arquivos digitais:** Consiste em definir todas as variáveis a serem adotadas na digitalização; por exemplo, padrões de preenchimento e tipos de traços a serem usados;
- ◇ **Digitalização:** Consiste nas operações de orientação da mesa e registro das coordenadas que caracterizam as feições representadas no mapa. A operação de orientação da mesa é feita através de um software específico, que possibilita tal orientação através de transformações geométricas do tipo Afim, Isogonal e Projetiva;
- ◇ **Verificação e edição:** Consiste em verificar as informações digitalizadas, bem como identificar e reparar os erros cometidos no decorrer do processo.

Entre os erros mais comuns inerentes ao processo de digitalização podem ser citados a digitação de pontos incorretos e erros de calibração da mesa que mapeiam a superfície da mesa no espaço de referência de modo incorreto.

3.2.5.2 Digitalização automática

A digitalização automática ou escanerização é definida como sendo o processo que converte mapas ou documentos para a forma digital. Essa conversão realiza a discretização do mapa em *pixels* (*picture elements*), que são estruturas matriciais homogêneas obtidas através do processo. Para a realização desta tarefa utilizam-se os *Scanners* que são dispositivos ótico-eletrônicos de captação de imagem numérica, constituídos de sensores óticos, geralmente os *CCDs* (*Charged Coupled Devices*) e um sistema de luminosidade.

O uso deste equipamento está relacionado a rapidez de captura da geometria dos mapas. No entanto, as operações de pré e pós-processamento são necessárias e consomem um bom tempo no processo.

Devem ser consideradas algumas características relacionadas ao equipamento no processo de digitalização automática para que se consigam arquivos menores e uma melhor seleção de dados convenientes aos usuários. Um dos fatores a ser considerado é quanto a resolução da digitalização que assegura o nível de nitidez da imagem original. Outro fator importante é a resolução espacial dada pelo número de elementos de imagem numa determinada medida linear e representada por pontos por polegadas (dpi). O dpi é geralmente definido pelo usuário e deve estar baseado na espessura das linhas originais e nos detalhes geométricos que devem ser preservados no produto final. É importante a relação existente entre o valor do dpi, o tamanho do arquivo e o produto final. É conveniente frisar que mesmo com um dpi elevado não serão obtidas feições melhores das contidas no mapa, mas sim poder-se-á acarretar um aumento excessivo no tamanho do arquivo, gerar informações desnecessárias ao trabalho, ocasionar dificuldades em acessar o arquivo e em manipulá-lo, fazendo com que o processamento seja lento, inviabilizando assim o projeto, SOUZA (2000). E por último, deve-se considerar a resolução radiométrica que é relativa à coloração da imagem, isto é, cores de cada pixel. Corresponde ao número de tons de cinza ou cores que um sensor pode distinguir. *Scanners* monocromáticos distinguem 256 tons de cinza, enquanto os policromáticos distinguem 16,7 milhões de cores.

No caso dos *scanners*, a captura das feições contidas no mapa é integral, havendo então necessidade de execução de um pré-processamento para que se possam eliminar algumas informações dispensáveis e também um pós-processamento para efetuar a edição dos mapas digitais e corrigir possíveis erros de digitalização. O tempo exigido nessas operações dependerá do estado de conservação da fonte. Existem vários tipos de scanners e são classificados de acordo com

a forma que os sensores executam a varredura sobre o documento. Maiores detalhes podem ser adquiridos em SOUZA (2000).

3.2.5.3 Técnicas de conversões matricial e vetorial

Os arquivos gerados a partir do uso de *scanners* são de formato matricial, havendo diversas restrições para o trabalho, quanto à manipulação, inserção de bancos de dados alfanumérico e tamanho do arquivo. Então, para torná-lo funcional, o arquivo é convertido em estrutura vetorial, podendo ser utilizados os seguintes métodos:

- ⇒ **Vetorização manual:** consiste preliminarmente na escolha da topologia (linha, curva, polígono) e atributos (nível de cor, estilo) de cada elemento cartográfico e depois em seguir essas feições com o cursor, determinando os pontos característicos que modelem a estrutura vetorial com a utilização de um *software* adequado. Esse método é vantajoso por permitir a vetorização seletiva, melhor modelagem das feições e a utilização de programas de baixo custo, mas por outro lado, tem uma baixa produtividade e conformidade em relação aos demais métodos.
- ⇒ **Vetorização semi-automática (supervisionada):** utiliza-se dos processos automáticos e manuais. Um operador identifica o ponto inicial de uma determinada linha e o sistema se encarrega de vetorizá-la através de técnicas de processamento digital de imagem. A cada obstáculo o processo é interrompido e faz-se necessária a interferência do operador para reiniciá-lo. Esse método consiste nas fases de preparação do documento cartográfico, de rasterização, da edição *raster*, da retificação da imagem e da definição dos parâmetros de vetorização. Consegue-se melhor produtividade e menor custo em relação à vetorização manual. Em adição, esse método proporciona melhores resultados em mapas com menor densidade de linhas. Pode-se ter uma vetorização seletiva, não havendo perdas das entidades gráficas. Isto proporciona boa precisão e conformidade das feições, não sendo vetado aos documentos mais densos. É necessária uma edição no arquivo pós-vetorização para a resolução de problemas, como arcos pendentes e fechamento de polígonos, podendo-se também lançar mão de alguns artifícios para reduzir o volume do arquivo.
- ⇒ **Vetorização automática:** é realizada totalmente pelo uso de técnicas de processamento de imagens que captam os *pixels* da imagem e fazem a conversão para a estrutura vetorial, sendo recomendada para cartas de alta densidade, vetorização de curvas de nível e mapas temáticos que não possuam textos. Tem como vantagem o tempo gasto na vetorização mas, se mal empregado, os erros cometidos na vetorização podem acarretar grande tempo gasto na edição, inviabilizando o processo.

O uso dos Sistemas de Informações Geográficas, como ferramenta poderosa a diversas aplicações, pressupõe a tomada de precauções quanto à análise de custo/benefício. Dentro das inúmeras variáveis está a criação da base de dados, que é fundamental que seja confiável e precisa para uma boa performance de operação. A determinação de uma melhor confiabilidade nestas bases de dados está na redução em níveis aceitáveis dos erros cometidos na aquisição e conversão dos dados. Esses erros, descritos a seguir, diferem de acordo com o método utilizado para a realização desta aquisição.

- ◆ **Erros provenientes de métodos primários:** Todas as técnicas de aquisição de dados denominadas primárias são passíveis de ocorrência de erros, os quais são classificados de grosseiros, sistemáticos e acidentais;

- ◆ **Erros decorrentes de métodos secundários:** Os dados oriundos de métodos secundários já partem do princípio que trazem embutidos erros provenientes dos primários e então se acrescentam aí, os decorrentes da execução do mapa, devido ao processo de digitalização, *rasterização*, relativos a operadores, decorrentes da conversão, etc;
- ◆ **Erros na elaboração do mapa:** A execução de um mapa parte de pontos de controle terrestre. Nesta etapa são introduzidas imprecisões que podem ser controladas pelo erro médio quadrático (RMS) cujo limite depende da técnica utilizada. Posteriormente, tem-se a fase de fusão de dados oriundos de diversas fontes para uma escala comum. O valor do erro que pode ser introduzido nesta etapa ocorre em função da relação das escalas e também das feições representadas. Normalmente os mapas são executados em papel e posteriormente submetidos à reprodução. Nesta ação, como o papel é umedecido e aquecido e logo depois de exposto a secagem e resfriamento, pode-se garantir que sempre ocorre uma deformação residual. Acatando essa generalização, determinadas feições não aparecem quando o mapa é executado em escalas menores e são introduzidos erros de difícil quantificação. Tais imprecisões dependem do tipo e complexidade das feições e podem ser representativas quando se tratar de representação de limites definidos por áreas, ou não, como é o caso de algumas feições lineares. Outro tipo de variação de valores depende da projeção utilizada, pois a escala nominal registrada no mapa pode ser verdadeira apenas para alguns pontos. Neste caso, deve ser utilizado um fator de correção para os demais pontos. Existe também a inclusão de dados que são coletados de diferentes mapas, havendo a necessidade de que sejam reduzidos à mesma escala. Estes, entre outros procedimentos, podem introduzir erros em um mapa. Por tudo isso, é muito difícil determinar o erro total introduzido na elaboração de um mapa em papel e considerado uma composição linear e independente dos diversos erros parciais. Aplicando a lei de propagação de erro, alguns dados terão deslocamento de milímetros, podendo não ser aceitável para várias aplicações em função das escalas. No Brasil, para as especificações gerais que classificam as cartas quanto à exatidão, utiliza-se o Decreto 89.817/84 – Instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Para maiores detalhes dessas especificações consultar CHAVES (1998);
- ◆ **Erro na digitalização:** A digitalização é empregada para capturar dados vetoriais, cuja densidade de pontos ao longo das linhas depende da velocidade com que se rastreia a feição ou de critérios de seleção dos pontos a serem representados. Geralmente há discrepância entre a posição da linha na fonte original em relação à mesma no produto de trabalho. O grau do erro depende de fatores tais como o modo de digitalização, a espessura da linha na representação cartográfica original e também na perícia do operador em executar o serviço;
- ◆ **Erro na rasterização:** O processo de rasterização da representação cartográfica baseia-se no fato da informação de um ponto poder ser representado de forma binária. O resultado de tal processo é representado por uma imagem digital em preto e branco, contendo todos os defeitos da imagem original e os defeitos decorrentes da captura da imagem. Os dados dessa imagem devem ser processados através de técnicas de processamento de imagens. Estas técnicas introduzem alguns defeitos que, dependendo do grau, podem ser considerados erros. Estas falhas de captura de imagem podem ser minimizadas pelo processo de calibração da imagem, utilizando-se programas específicos;
- ◆ **Erros relativos ao operador:** Os erros associados aos operadores estão na característica pessoal e no conhecimento das técnicas utilizadas. Na digitalização manual e na vetorização manual, por exemplo, a fadiga do operador é fato preponderante na possibilidade de introdução de erros;

- ◆ **Erros na conversão dos dados:** A crescente utilização de dados, especialmente quando na aplicação de SIG, vindo de fontes diversificadas, tem conduzido à utilização de múltiplas estruturas, exigindo conversão de dados dos formatos matriciais para vetoriais e vice-versa. Quase sempre os processos de conversão resultam em perda de informações, já que introduzem erros significativos provenientes dos algoritmos utilizados para tal procedimento. O que vai determinar o grau de imprecisão é o algoritmo usado, a complexidade das feições cartográficas, o tamanho do pixel e a orientação usada no processo de rasterização.

As demais fontes de erros estão associadas aos sistemas utilizados, características e adequação dos equipamentos, bem como dos programas empregados nas diferentes técnicas de obtenção de dados.

Apresenta-se na Tabela 3.4 um resumo das diversas técnicas de coleta de dados descritas nesta seção. Conclui-se que um projeto de aplicação de um SIG admite a integração de dados oriundos de vários métodos, mesmo que em tempos e escalas diferentes. Para destacar cada procedimento de coleta de dados quanto à precisão, bem como vantagens e desvantagens de utilização, apresenta-se abaixo uma tabela resumo.

Tabela 3.4: Técnicas de coleta de dados para SIG.

Técnica	Precisão	Vantagens	Desvantagens
Entrada de dados manual com lápis e papel	Não aplicável	Baixo custo	Demorado (alto custo de mão-de-obra); sem precisão na gravação das posições.
Estação Total	< 0,01 m	Alta precisão	Alto custo; necessita de uma equipe de trabalho (2 ou mais pessoas), precisa de visibilidade entre pontos.
GPS	0,001 m – 15 m	Alta precisão; rapidez; atributos gravados na forma digital.	Pode ser degradado sob árvores e em áreas de cânion urbano.
Fotogrametria	< 0,01 – 1 m	Grandes áreas de cobertura; potencial para alta precisão.	Alto custo por ponto; limitado quanto a atributos.
Imagem de Satélite	1m – 1 km	Cobertura global	Limitado quanto a atributos.
Digitalização de mapas	0,1 m – 100 m	Consistência com mapas anteriores	Exige mapeamentos prévios, precisão limitada aos produtos existentes.

Fonte: Adaptada de SOUZA (2000).

3.2.5.4 Medidas para assegurar a qualidade dos dados

A qualidade dos dados armazenados tem sido uma preocupação constante na literatura voltada para SIG. Quando se refere a entrada e conversão de dados, devem ser traçados procedimentos que assegurem o grau de exatidão da aquisição tanto dos elementos gráficos como dos atributos, bem como do georreferenciamento e da consistência das ligações entre a geometria, atributos e análises dos dados adquiridos, através de alguns procedimentos, tais como:

- ◆ Empregar rotinas de verificação para assegurar a qualidade dos dados a cada manipulação, principalmente na sua aquisição;
- ◆ Procurar não utilizar dados com precisões diferentes;
- ◆ Estabelecer determinados cuidados para a aplicação de processamentos e análises;
- ◆ Sempre que possível, implementar os dados do SIG, a cada manipulação, em escala adequada, de modo que possa ser superposta e comparada à representação da fonte e

- ◆ Produzir legendas corretamente, e se possível contendo informações relativas à natureza geométrica da representação cartográfica original.

3.3 Entrada de dados espaciais no sistema

A disponibilização dos dados para o sistema dependerá do tipo de aquisição adotada. Quando tivermos dados advindos diretamente do campo, por intermédio de levantamentos topográficos, as informações serão transformadas em entidades gráficas através de programas aplicativos específicos e exportados (transferidos) para a base do sistema em arquivos de formatos específicos. Quando obtidos a partir de restituição digital ou digitalização/vetorização de mapas existentes, a transferência é realizada diretamente através de arquivos compatíveis com o sistema.

3.4 Coleta de atributos

A coleta de dados não espaciais tem por objetivo criar as bases alfanuméricas do sistema. Depois de uma análise considerando quais os atributos a serem adquiridos para o projeto, estes dados podem ser obtidos a partir de pesquisas de campo, fontes existentes ou através de aproveitamento de bases já formadas, considerando sempre a compatibilidade dos formatos dos arquivos para serem integrados ao sistema.

3.5 Integração de dados GPS/SIG

Quando se fala em geotecnologias tem-s, necessariamente, que ter em mente as tecnologias GPS e SIG. O sistema GPS funciona como um elemento alimentador do posicionamento de feições ou de informações. Nos dias atuais, esta tecnologia é a maneira mais rápida e econômica de se obter a posição precisa de um determinado dado ou ponto, obter a área de uma região, estimar distância entre pontos, e outros tipos de informações que são úteis para o conhecimento da área de estudo. O SIG é a ferramenta a qual convergirão todas as informações geradas a partir do GPS ou qualquer outra fonte de dados discutida neste capítulo. Através do SIG pode-se realizar estudos e análises que servirão de subsídios para outros estudos e ações.

A questão da alimentação adequada de um SIG com o produto de levantamento GPS emerge em função do crescente desenvolvimento das duas tecnologias. Anteriormente a maior aplicação do GPS era no adensamento de redes geodésicas, redes de pontos de controle, monitoramento das deformações da crosta terrestre e nos levantamentos de precisão em engenharia. Com a difusão e melhoria dos equipamentos e software, tem sido usado numa diversidade de aplicações, e mais recentemente considerado como uma valiosa ferramenta para proporcionar informações espaciais referenciadas para SIG.

O objetivo principal dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é propiciar a inter-relação espacial dos dados. Deste modo, os sistemas não estão limitados a uma precisão posicional específica. Por outro lado, a teoria geodésica é comum às referências espaciais e proporciona fundamentos para relacionar observações com um sistema de coordenadas bi e tridimensionais (CHAVES & SEGANTINE, 1997).

Portanto o impacto do GPS no SIG é de extrema importância, por oferecer flexibilidade e eficiência na obtenção de coordenadas tridimensionais. Entretanto, este processo também apresenta

diversos problemas, havendo então necessidade de serem tomadas precauções para certificar uma integração compatível entre os dois bancos de dados.

Um problema frequentemente encontrado diz respeito à questão do referenciamento dos dados. Quaisquer bancos de dados digitais baseados em cartas analógicas têm níveis de qualidade variáveis, ocasionados pelas imprecisões e distorções das redes geodésicas convencionais que na maioria dos países ou continentes servem de base aos mapeamentos.

A falta de compreensão dos usuários no tocante ao sistema de referência dos dados, ao se deparar com a necessidade de unir valores de coordenadas com referências geodésicas específicas, traz conclusões desastrosas aos resultados dos trabalhos. Então, qualquer uso combinado de coordenadas referenciadas a sistemas diferentes envolve uma série de transformações para ligação dos dois tipos de dados, de forma a acarretar o menor prejuízo possível para a performance do SIG.

Desta forma, a adoção de critérios na associação dos dados obtidos pelo sistema GPS em SIG, aliados a redução dos preços dos equipamentos e à disponibilidade de muitas opções de software no mercado, podem significar ganho de custo, tempo e, acima de tudo, de qualidade nos projetos.

HOHL (1998) descreve como boa experiência de interligação de dados GPS/SIG o gerenciamento de incêndios e inventários de vida selvagem feitos pelo *Bureau of Land Management e U. S. Forest Service*, que utilizam GPS em helicópteros para localizar incêndios e calcular a área atingida. Em diversos incêndios de maiores proporções, dados GPS coletados a bordo de aeronaves ou em terra têm determinado rapidamente danos estruturais, ambientais e extensão dos acidentes, e posteriormente o SIG é utilizado para mapear estas áreas.

Um exemplo de aplicação bem simples da integração do GPS com o SIG é na obtenção do levantamento de uma área de cultivo e com a localização de pontos de controle para fins de análise de fertilidade. Estas informações farão parte dos bancos de dados de um SIG que oferece a possibilidade de se obter um mapa da área de cultivo com as características do solo. Este mapa permite identificar as diferentes necessidades de insumo, para cada ponto dentro do perímetro da área de cultivo. Este exemplo simples é uma das aplicações mais utilizadas atualmente na área de agricultura de precisão. Maiores detalhes a respeito deste assunto podem ser visto na sessão 4.4.9.

Outra experiência interessante é apresentada por KUBOTA (1996) que descreve a implementação de um sistema de monitoramento da frota de segurança pública carioca com integração GIS/GPS.

SOUZA (2000) utilizou o sistema GPS para a localização dos postos de gasolina, dos postos de vendas de gás GLP e a localização das centrais de bombeiros e analisou o potencial risco de incêndio na cidade de São Carlos (SP). Em adição, apresenta um estudo da regionalização dos pontos comerciais considerando as posições geográficas das centrais de atendimento do corpo de bombeiros. A implantação de um projeto desta natureza pode auxiliar nos atendimentos aos chamados de socorro, com um tempo mínimo de resposta.

4 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - APLICAÇÕES

Este capítulo tem por objetivo apresentar o que o usuário deve levar em consideração quando da implantação de um SIG e o desenvolvimento dos bancos de dados. Além disso, apresenta-se a diversidade de aplicações que podem ser realizadas com esta tecnologia.

***“A obra mais eficaz,
segundo a Mecânica Quântica,
é a obra de Deus”.***
***(Erwin Schorödinger, 1887-1961,
Prêmio Nobel de Física de 1933)***

4.1 Generalidades

A história do uso de computadores para o mapeamento e análise de dados georreferenciados, mostra que existiu e existem desenvolvimentos paralelos na captura automática de dados, análise de dados e apresentação nas mais diferentes áreas de conhecimento. Estas áreas são o Cadastro, Mapeamento Topográfico, Cartografia Temática, Engenharia Civil, Geografia, Estudos Matemáticos da variação espacial, Ciências do Solo, Geomática, Planejamento Urbano e Rural, Redes de Serviços Utilitários, Sensoriamento Remoto e Análise de Imagens, etc. As aplicações militares têm apresentado exemplos em todas estas áreas apresentadas, firmando que nos países desenvolvidos os militares são grandes usuários dos SIGs.

O fato da informação geográfica ser espacialmente referenciada, significa que a informação está associada, pelo menos conceitualmente, com o campo da Cartografia. Este é o método tradicional de se armazenar dados de um fenômeno espacial e apresentar relações entre eles.

Historicamente, o desenvolvimento do SIG pode ser visto como um esforço paralelo para automatizar métodos de produção cartográfica. O crescimento nas aplicações do SIG tem sido considerável e isso tem levado vários pesquisadores a considerarem a Cartografia como sendo um ramo da tecnologia SIG. Este ponto de vista, pode ser entendido ao se analisar que os critérios tradicionais da Cartografia têm combinado as funções que auxiliam o entendimento das relações espaciais com os produzidos por bancos de dados armazenados. A introdução do SIG não necessariamente desprestigia os critérios da Cartografia na visualização espacial, mas serve como um meio de armazenamento, manejo e análise do conhecimento. Um SIG oferece grandes benefícios quando comparados com a tecnologia analógica convencional dos mapas.

Os SIGs podem ser vistos como sendo os substitutos dos sistemas clássicos de armazenamento de dados, como por exemplo os mapas analógicos. Uma vez que os dados espaciais tenham sido representados na forma digital, torna-se mais fácil a realização de medições e/ou análises e alterações e/ou correções nos dados. Algumas destas operações podem ser aplicadas sem lançar mão de recursos gráficos dos mapas. Por exemplo, quando se deseja obter a distância entre duas localidades ou, a área de uma floresta de coníferas dentro de um município, sem, no entanto fazer referência a nenhum mapa.

O propósito de enfatizar nesta seção a estreita relação entre o SIG e a Cartografia é evidenciar as funções comuns de armazenamento e comunicação de informações geográficas. Entretanto, deve-se enfatizar que de uma maneira geral um SIG pode ser esperado para oferecer ferramentas para análise e manipulação de dados e freqüentemente oferece possibilidade de visualização em monitores. Isto torna os SIG muito mais versáteis que quaisquer métodos tradicionais cartográficos.

De uma maneira simples, pode-se associar os SIGs a algumas ciências básicas: Matemática, Física, Filosofia e Geografia. Estas ciências representam o formal, a teoria, o conceito e a perspectiva empírica do objeto de análise. Estas ciências abrangem diferentes ramos de aplicação e pontos de vistas para resolução de problemas. Por exemplo, a Matemática inclui a Geometria, Topologia e a Trigonometria; a Filosofia compreende a Epistemologia e a Ciência da Filosofia; a Física inclui as teorias clássicas da relatividade, mecânica e a quântica; e a Geografia é subdividida em humana e a física. Todas estas áreas de conhecimento e muitas outras têm desenvolvido suas próprias perspectivas no tempo e no espaço. A confiabilidade de se utilizar um SIG provém de seu fundamento nas ciências anteriormente citadas e em outras, notavelmente aquelas do campo da Computação, Geomática e a Geografia Quantitativa (vide Figura 4.1).

Figura 4.1: A árvore do SIG. As raízes representam as ciências básicas fundamentais do SIG. Os galhos representam as aplicações e os resultados realimentam as raízes. A chuva que cai são a origem dos dados nas quais as aplicações individuais são dependentes.

Adaptado de JONES (1997).

Analisando a Figura 4.1, percebe-se a grande variação de aplicação da tecnologia SIG. As principais formas de uso são classificadas da seguinte forma:

- ◆ No gerenciamento de serviços, recursos, propriedades e projetos onde o SIG é usado como um processo na tomada de decisões;
- ◆ Nos estudos científicos onde o SIG é uma ferramenta semelhante a uma calculadora de análise estatística;
- ◆ Na integração de áreas e conhecimento (multidisciplinaridade) onde o SIG é usado como tecnologia para coleta ou visualização de informações espaciais;
- ◆ Na formulação de decisões, uma vez que o SIG é uma ferramenta que permite formular e apresentar opções alternativas para tomada de decisões.

Sob o ponto de vista computacional, os primórdios desenvolvimentos dos SIGs podem ser vistos como os primeiros passos para a combinação da tecnologia de bancos de dados, armazenamento de informações e a computação gráfica para digitalizar e apresentar espacialmente a informação. Alguns dos primeiros SIGs incluem aqueles que realizavam a sobreposição de mapas com procedimentos automatizados usados para avaliar coincidências espaciais do meio-ambiente e fatores sócio-econômicos. Estes procedimentos utilizavam técnicas de outras áreas tais como a Geometria Computacional que se preocupava com o desenvolvimento de algoritmos e manipular dados geométricos. Recentemente, podem ser observadas a importância do processamento de imagens na interpretação de dados do Sensoriamento Remoto e a inteligência artificial aplicada em vários aspectos dos SIGs, incluindo no entendimento de imagens, projeto de bancos de dados e no planejamento de linguagens e na cartografia automatizada.

Os SIGs apresentam as vantagens de combinarem os avanços da cartografia automatizada, dos sistemas de manipulação de bancos de dados e do Sensoriamento Remoto com o desenvolvimento metodológico da análise geográfica, para produzir um conjunto distinto de procedimentos analíticos que auxiliam no gerenciamento e na atualização constante das informações disponíveis. Com estes sistemas podem ser realizadas umas séries de análises, tais como, CALIJURI & RÖHM (1995):

- ❖ Otimização do sistema de transporte coletivo;
- ❖ Avaliação da tendência preferencial do crescimento dos bairros de uma cidade;
- ❖ Definição da forma e o procedimento do lançamento de redes de infra-estrutura urbana (água, esgoto, telefonia, iluminação pública, etc.)
- ❖ Definição dos locais estratégicos para instalação de postos de saúde, escolas, hospitais, creches, áreas de lazer, hotéis, etc.;
- ❖ Avaliação do percentual de cobertura vegetal natural e cultivada pelo homem;
- ❖ Determinação da extensão de áreas industriais, residenciais, agrícolas, etc.

Os SIGs têm sido largamente usados nas aplicações que exigem suporte em decisões tais como o planejamento regional e urbano, otimização de tráfego, controle cadastral, administração de recursos naturais, controle de epidemias, agricultura e serviços de utilidades públicas. Esta realidade é mais presente nos países desenvolvidos como os Estados Unidos da América, Canadá, Inglaterra, Holanda, etc. A área de Pesquisa Operacional tem apresentado ferramentas de análises que vêm sendo crescentemente integradas nos programas de SIG. Neste contexto, os SIG podem ser vistos como um coadjuvante nas ciências de gerenciamento, e para algumas instituições, órgãos públicos e governamentais a funcionalidade dos SIGs como ferramenta integradora os torna fortemente indicados para o gerenciamento de informações.

Caso o usuário possa relacionar informações das chuvas de verão de sua região com fotografias aéreas de seu estado ou município, pode ser possível a localização de áreas de inundação que sejam áreas secas durante o ano.

Um SIG, que pode usar informações de diferentes fontes e diferentes formatos que podem ser úteis nas análises. A primeira informação básica importante a respeito da origem dos dados é que as posições das variáveis sejam conhecidas. As posições dos pontos podem ser notadas em termos de coordenadas geográficas cartesianas X, Y e Z , coordenadas geográficas geodésicas latitude, longitude, e altitude, ou por outros sistemas tais como o código postal (CEP) e quilometragem de rodovias. Qualquer variável que possa localizada espacialmente pode ser usada dentro de um SIG.

As maiorias dos dados usadas nos SIGs são derivados de levantamentos topográficos, sócio-econômico e do meio-ambiente. Devido a grande quantidade de dados a serem armazenados na forma de mapas em papel (analógico), tem existido uma grande demanda para a realização da digitalização de documentos. Normalmente, esta forma de aquisição de dados é denominada de *aquisição digital secundária de dados*. A maior fonte de dados digitais para os SIG é indubitavelmente criada pela técnica de Sensoriamento Remoto a bordo de satélites ou outros veículos espaciais. O Sensoriamento Remoto trata da aquisição e análise de dados remotos e tem uma importância relativa para os SIGs, e de certo modo pode ser definido como um ramo do Sistema de Informação Geográfica. Existe uma grande controvérsia quanto a esta consideração.

Um SIG pode converter informações digitais existentes, que ainda não foram convertidas na forma de mapas, para outras formas de uso. Por exemplo, uma imagem digital de satélites pode ser analisada para produzir mapas de camadas de informações digitais de cobertura vegetal. No

futuro a integração das técnicas de Sensoriamento Remoto será ainda mais incorporada nos SIGs em face do grande potencial de informações que podem ser extraídas das imagens remotas.

4.2 Por que usar um SIG?

O SIG é uma poderosa ferramenta para manipular dados georreferenciados. Estes são comumente caracterizados a partir de três componentes fundamentais, ARONOFF (1989):

- ◇ Características não-espaciais, descrevendo o fenômeno sendo estudado, tais como o nome e o tipo da variável;
- ◇ Características espaciais, informando a localização espacial do fenômeno, ou seja, seu georreferenciamento, associada a propriedades geométricas e topológicas;
- ◇ Características temporais, identificando o tempo para o qual tais dados são considerados, isto é, quando foram coletados e sua validade.

O georreferenciamento de dados espaciais é realizado utilizando-se um sistema de coordenadas que pode ser local, nacional ou internacional. É muito comum encontrar o banco dados georreferenciados em relação a um sistema de projeção cartográfica, como por exemplo, o sistema UTM. Os dados são mantidos no formato digital, isto é, os dados são mantidos numa forma fisicamente mais compacta que os dados na forma de mapas em papel, dados tabulados ou outros tipos convencionais. Grandes quantidades de dados podem ser também mantidas e recuperadas com grande rapidez e a baixo custo por unidade, quando os sistemas computacionais são usados, ARONOFF (1993).

Um SIG pode ser usado para simular eventos e situações extremamente complexas do mundo real. Essa complexidade indica uma flexibilidade maior na modelagem formal para simular, de forma precisa, o comportamento informal da realidade. Deste modo, pode-se afirmar que um SIG descreve objetos do mundo real quanto, BURROUGH (1986):

- ◇ Sua posição com relação a um sistema de coordenadas conhecido;
- ◇ Seus atributos (cor, custo, tipo, valor);
- ◇ Suas inter-relações espaciais, que descrevem como estão interligados e como se pode viajar entre eles.

CÂMARA (1996), afirma que um SIG deve oferecer ao usuário as seguintes funções:

- ◇ Integrar informações espaciais de dados cartográficos, censitários, cadastro, imagens de satélites, redes e modelos numéricos de terreno, numa base de dados;
- ◇ Cruzar informações através de algoritmos de manipulação para gerar mapeamentos derivados, e
- ◇ Consultar, recuperar, visualizar e permitir saídas gráficas para o conteúdo da base de dados geocodificados.

Segundo KAGAN et al. (1992) *apud* DUTRA (1998), os SIGs apresentam as seguintes vantagens quando aplicados a modelos de transportes:

- ◇ A integridade dos dados, quando o SIG está integrado aos modelos, permite a maior transparência dos aspectos físicos dos dados para o usuário;

- ◇ Operações pré-incorporadas aos SIGs eliminam ou simplificam tarefas, as quais são, normalmente, realizadas por processos manuais ou em módulos computacionais isolados e não muito bem integrados;
- ◇ Facilidade de edição e representação gráfica;
- ◇ Tratamento topológico que facilita operações de edição da base geográfica;
- ◇ Minimização de custos com armazenamento e edição;
- ◇ Facilidade de análise de tarefas difíceis de serem realizadas manualmente, como é caso da verificação do caminho mínimo.

Existem umas séries de justificativas quanto ao uso dos SIGs, DARGERMOND (1990) resume estas justificativas, apresentadas a seguir:

- ◇ Os dados são mantidos em arquivos magnéticos que propicia o armazenamento de um grande volume de informações em pequeno espaço de memória uma vez que estes arquivos são fisicamente compactados;
- ◇ Os dados podem ser mantidos e extraídos a um custo menor por unidade de dado manipulada e a uma velocidade muito maior;
- ◇ As ferramentas computacionais permitem maior flexibilidade de manipulação, incluindo medidas e sobreposição de mapas, transformações, gráficos diversos e gerenciamento de bancos de dados;
- ◇ As informações gráficas e não-gráficas (atributos) podem ser agrupadas e manipuladas, simultaneamente ou em separados, de maneira a criar relações entre as informações;
- ◇ É possível a realização de testes analíticos de modelos conceituais de forma rápida e precisa, por exemplo, a inversão do sentido de ruas em uma cidade, o impacto causado pela construção de um Shopping Center numa cidade, etc. facilitando assim avaliações técnicas e científicas em grandes áreas em curto período de tempo;
- ◇ As análises de prováveis alterações podem ser executadas em dois ou mais períodos de tempo;
- ◇ As ferramentas de desenhos gráficos interativos e automatizados podem ser aplicadas no desenvolvimento de mapas e de desenho cartográfico;
- ◇ Certos tipos de análises podem ser realizados muito mais eficientemente em termos de tempo e de custos do que se efetuadas manualmente como, por exemplo, na sobreposição de múltiplos mapas contendo informações de diferentes prestadoras de serviços públicos.

4.3 Implantação de um SIG

A introdução e o crescimento das aplicações dos SIGs criou, e tem criado aos usuários, a necessidade de conhecer e/ou aprimorar seus conhecimentos a respeito desta tecnologia e também tem levado os responsáveis pela administração de empresas públicas e privadas a tomarem decisões quanto a implantação destes sistemas e o estabelecimento de uma política para a sua aplicação.

Uma questão sempre levantada quando da implantação de um SIG é: Quanto tempo é necessário para a implantação?. A experiência tem demonstrado que o ideal é que o tempo entre o início dos investimentos e o tempo dos primeiros resultados seja mínimo. Isto se torna ainda mais verdadeiro quando o agente investidor é um órgão público, pois quanto mais rápido o sistema oferecer respostas às questões levantadas, mais rápido haverá retorno do investimento inicial e certamente oferecerá argumentos positivos que justifiquem investimentos adicionais para a constante atualização dos dados cartográficos e alfanuméricos. Quanto mais rápido um SIG se mostrar como ferramenta técnica (e não política) indispensável da administração, melhor será para a

sobrevivência do sistema.

Em qualquer setor de atividade, a decisão da implantação de novos sistemas tecnológicos envolve, diretamente, uma mudança da cultura original da administração, tendo em vista que o ambiente interno de trabalho desejável exige uma interação e integração de todos os participantes do processo, CHIAVENATO (1994) *apud* KOFLER (1997).

HUXHOLD (1991) assinala que um SIG deve ser implanta para:

- ☒ Apoiar a administração e o planejamento urbano de maneira compatível com a crescente demanda de serviços;
- ☒ Oferecer melhores condições de acesso do público aos procedimentos administrativos e ao planejamento urbano, facilitando desta forma, a participação da população nos processos de decisão;
- ☒ Oferecer confiança e precisão nas informações gráfica e não-gráficas tão necessárias aos diversos setores da administração;
- ☒ Proporcionar facilidades de comunicação e trocas de informações entre os diversos setores da administração;
- ☒ Possibilitar a organização das informações, armazenada com uma referência geográfica e cartográfica padrão, de forma que cada departamento ou órgão seja capaz de alimentarem os seus próprios bancos de dados;
- ☒ Proporcionar e facilitar a integração entre os departamentos e órgãos envolvidos na elaboração e implementação do projeto, assim como entre diversas entidades e organizações;
- ☒ Criar e prover um instrumento eficiente para o ordenamento, planejamento e controle do desenvolvimento urbano, empresarial, institucional, etc.

Deve-se ter em mente que não existe um modelo para a implantação de um SIG que venha servir a todas as organizações em face das diversidades geográficas e das diversidades do mundo real. O sucesso ou o fracasso de um projeto SIG depende de algumas variáveis, que não temos a pretensão neste texto de enumerar. Porém, um dos fatores mais importantes neste processo é a questão das mudanças políticas dos administradores. Esta questão quase nunca é levada em consideração pelos técnicos e é vital para o projeto. A não-existência de uma política que garanta a implantação, manutenção e atualização dos dados pode comprometer todo o projeto inicial. Pode-se citar como exemplos os casos das cidades de Assis, Santo André, Campinas e Cubatão onde as mudanças na direção administrativas das prefeituras comprometeram todo o projeto inicial. A simples transferência de uma secretaria para outra ou a mudança de nome de uma secretaria pode ser uma medida política que afeta tecnicamente o sistema.

De uma maneira geral, o processo de implantação de um SIG pode ser dividido em três fases distintas:

1. **Modelagem do mundo real:** consiste na *modelagem de processos*⁴¹ e dados e consiste na seleção dos fenômenos e entidades de interesse, abstraindo-os e generalizando-os. Diferentes conjuntos de fenômenos podem ser escolhidos para descrever distintas visões do mundo, para uma mesma região, em um dado momento;
2. **Criação de bancos de dados:** consiste na elaboração ou na recuperação da informação coletada empiricamente sobre os fenômenos do mundo real. A criação de bancos de dados geográficos exige várias etapas:

⁴¹ Refere-se a uma modelagem matemática que descreve operações envolvendo a representação e manipulação de dados, incluindo a simulação de fenômenos naturais.

- Coleta de dados relativos aos fenômenos de interesse identificados na modelagem;
- Correção dos dados coletados;
- Georreferenciamento dos dados

3. **Operação:** esta fase refere-se tanto ao uso em si do SIG, quanto ao desenvolvimento de aplicações específicas por parte dos usuários a partir dos dados armazenados, reconstruindo visões (particulares) da realidade.

A habilidade de analisar dados georreferenciados complexos oferece uma vantagem qualitativa e quantitativa. Planejamento de cenários, modelos de decisão, análise e detecção de mudanças e outros tipos de planos podem ser desenvolvidos fazendo-se um refinamento de sucessivas análises. Este processo iterativo tornou-se prático em face da rapidez e a facilidade com que os computadores realizam análises rápidas, a baixo custo, sob diferentes situações.

Várias experiências comprovam que os custos na elaboração de bancos de dados de um SIG podem alcançar da ordem de 50 a 80% dos custos de implementação do mesmo. Este custo de elaboração de bancos de dados é um dos maiores obstáculos para a justificativa da implantação de um projeto de SIG. Os custos na captura de dados espaciais, tipicamente representado pela digitalização de mapas de papel, têm previamente limitado a implementação do SIG em órgão de utilidades públicas, agências governamentais e outros tipos de instituições. Por esta razão, os usuários de SIG estão constantemente procurando a melhor maneira para inserirem os seus dados no sistema de modo a reduzir estes custos. Esta incessante procura, tem levado o uso de bancos de dados híbridos, vetoriais e matriciais. Mapas escaneados previamente, fotografias e outros tipos de produtos advindos de papel (quando inseridos em bancos de dados de um SIG como uma imagem matricial), criam bancos de dados híbridos. Este arquivo matricial pode ser apresentado juntamente com um dado vetorial, ou um novo dado vetorial pode ser digitalizado em cima do dado matricial. A vantagem disto é que é mais barato do que digitalizar todas as feições existentes nos mapas ou fotografias. A principal desvantagem deste processo é que o mesmo necessita de uma grande capacidade de memória nos computadores para armazenar os dados. Os dados matriciais usados num SIG são normalmente preparados a partir de fotografias aéreas ou por Sensoriamento Remoto (imagens de satélites).

A entrada de dados é um procedimento de decodificação dos dados para o computador, isto é, é a operação de escrever para o computador os bancos de dados do SIG. Esta é uma das tarefas mais trabalhosas na implementação de um SIG. Para se ter uma idéia aproximada desta tarefa, o custo da elaboração de uma base de dados é da ordem de 5 a 10 vezes o custo de um “software” de SIG. Uma base de dados bem documentada é difícil de se obter e se torna crítica na operação de um sistema, uma vez que a precisão dos dados depende da precisão dos documentos básicos utilizados (mapas e fotos).

Normalmente, os dados a serem implementados num SIG podem ser de dois tipos:

1. **Dados espaciais:** representam as posições geográficas dos atributos. Atributos geográficos tais como rodovias, lagos e rios podem ser representados por pontos, linhas e polígonos.
2. **Dados não-espaciais:** descrevem informações, como por exemplo, nome de ruas, salinidade de lagos, tipo de solo, etc.

Durante a entrada de dados, os dados espaciais e não-espaciais devem ser implementados e corretamente relacionados, isto é, os atributos devem ser logicamente relacionais os quais se deseja descrever, ARONOFF (1993).

Basicamente, existem cinco tipos comuns de sistema de entradas de dados num SIG:

1. **Entrada pelo teclado:** implica na entrada de dados manualmente no computador. A maioria dos atributos dos dados é inserida através do teclado. Em muitos casos, estes dados podem ser obtidos na forma digital de bancos de dados já criados, anteriormente, via teclado.
2. **Coordenadas geométricas (COGO):** os dados do levantamento são geralmente inseridos via teclado. O procedimento COGO é usado para dar entrada de informações para alcançar um alto nível de precisão. Este alto nível de precisão é necessário quando os mapas devem representar o terreno cadastrado exatamente como ele é apresentado nas transcrições legais. Os topógrafos e engenheiros sempre querem alcançar altas precisões no COGO para suas aplicações computacionais. Entretanto, os planejadores e maioria dos usuários preferem aceitar a baixa precisão da digitalização manual.
3. **Digitalização manual:** é o método mais usado para a entrada de dados espaciais a partir de mapas. O mapa é fixado numa mesa digitalizadora e um ponto marcador (mouse) é usado para marcar as feições dos mapas. A mesa digitalizadora eletronicamente codifica as posições do ponto marcador com a precisão de frações de alguns milímetros. A eficiência da digitalização depende da qualidade do software utilizado e da habilidade e experiência do operador.
4. **Vetorização (scan digitizing):** é o método mais automático para dar entrada de dados. Oferece um recurso mais rápido de entrada de dados do que a digitalização manual. Neste método, uma imagem digital de um mapa é produzida pelo movimento de um detector eletrônico sobre a superfície do mapa.
5. **Arquivos digitais:** é o resultado de uma imagem “escaneada”. Vários países tais como EUA e Canadá têm projetos para converter mapas em papel e dados tabulares para a forma digital. Em adição, estes países têm alterado a metodologia de captação de dados de forma a obtê-los já na forma digital.

Uma vez implantado, um SIG só atinge plenamente os seus objetivos caso o sistema faça parte da organização institucional o qual foi implantado. Em outras palavras, os usuários devem estar totalmente integrados ao uso da tecnologia utilizando todo o potencial e ferramentas possíveis, não somente nos aspectos operacionais, mas também nos aspectos filosóficos.

MARTIN *et al* (1994) *apud* KOFLER (1997) e RODRIGUES (1995) citam alguns fatores institucionais que são determinantes quanto aos resultados de implantação de um SIG:

- ❖ **A falta de padronização dos dados de entrada:** normalmente as instituições desenvolvem seus próprios SIGs impossibilitando o uso de informações interinstitucionais. A consequência imediata deste fato é limitar o uso do SIG em todo o seu potencial de informações e análises espaciais;
- ❖ **As mudanças inter ou intra-institucionais podem afetar as estratégias e aplicações dos SIGs.** Um exemplo típico para este caso é quando ocorre uma mudança de regime de governo ou por pressão da comunidade civil ou empresarial;
- ❖ **O ambiente onde o sistema SIG deve operar pressupõe uma crescente demanda de sistemas de apoio às decisões,** que devem servir de suporte para os administradores para avaliar as necessidades locais e desenvolver estratégias políticas e administrativas;
- ❖ **Instabilidade das instituições governamentais:** é decorrente do fato de que as pessoas que normalmente coordenam a implantação do SIG são oriundas de nomeações políticas e conseqüentemente os cargos levam consigo a instabilidade temporal do administrador. Além disso, é mister que a instituição pública inicie projetos que irão finalizar dentro do mandato tendo como conseqüências as iniciativas da implantação de um SIG, que são de médio a longo prazo;

- ❖ **Contratações:** A implantação de um SIG engloba a contratação de hardware, software e serviços especializados (analistas de sistemas, sociólogos, assistentes sociais, economistas, etc.). A contratação destes serviços é dependente do orçamento, de licitações e do cronograma físico-financeiro do projeto. Normalmente as instituições públicas realizam a licitação do hardware, software e serviços especializados num mesmo edital com a finalidade de reduzir este problema. Este procedimento tem a desvantagem de que algumas etapas são realizadas antes do tempo ideal da implantação do sistema. Algumas etapas devem ser mais bem definidas ao longo da implantação, período em que as pessoas envolvidas no processo vão adquirindo conhecimentos que auxiliam na tomada de decisão da melhor especificação do equipamento, ou do melhor software, ou do tipo de dados, etc. A não observância destes fatos pode levar a implantação de um sistema de uso restrito.

O processo de implantação de um SIG é dinâmico, ou seja, ocorrem evoluções ao longo do tempo e os primeiros resultados podem ser obtidos em curto prazo, visíveis e de baixo custo. Recomenda-se que o processo contenha, no mínimo, as etapas apresentadas a seguir:

- ★ Desenvolver um plano de implantação que contenha pequenos módulos para que venham a gerar resultados rápidos;
- ★ Simular quais os benefícios que serão obtidos a curto, médio e longo prazo;
- ★ Realizar uma análise de custo-benefício para cada etapa do processo, ou seja, módulo de aplicação;
- ★ Descrever o plano de implantação do SIG apresentando níveis de detalhamento para cada etapa do processo;
- ★ Relacionar os aspectos tecnológicos como os aspectos institucionais e organizacionais que deverão ser analisados em cada etapa do processo;
- ★ Definir os grupos de trabalhos, uma hierarquia e a função de cada participante na implantação do sistema;
- ★ Deve haver um perfeito entendimento, por parte dos responsáveis pelo processo, sobre todo o contexto do projeto e suas estratégias de aplicação.

De toda experiência prática já adquirida por diversos profissionais e pesquisadores, apresenta-se de forma resumida, quais são principais fatores que influenciam no sucesso da implantação de um SIG:

- ◆ **Conhecimento da tecnologia SIG e treinamento:** é muito importante que se promova a realização de cursos de treinamento em todas as etapas do processo de implantação. Os cursos devem ser realizados de forma contínua de modo a garantir uma reciclagem dos técnicos da equipe;
- ◆ **Planejamento para suporte aos dirigentes:** deve haver um verdadeiro comprometimento entre todos os membros da equipe, desde os diretores até os profissionais de menor responsabilidade técnica, de modo a promover uma integração entre todos envolvidos no processo;
- ◆ **Plano de ação:** deve-se formular um plano de ação com metas e um cronograma que sejam adequados com a realidade do ambiente;
- ◆ **Equipe técnica:** deve-se criar uma equipe técnica e política para promover e garantir comunicação entre os membros participantes e que haja uma boa coordenação entre os departamentos envolvidos;
- ◆ **Institucionalização do SIG:** é muito importante que seja criado um núcleo de usuários e que os técnicos sempre disponibilizem informações a respeito do sistema através de boletins informativos;

- ♦ **A pessoa do coordenador do grupo:** é muito importante que o coordenador responsável pela implantação do projeto, seja uma pessoa que consiga aglutinar toda a equipe em torno do projeto, afastando assim toda e qualquer atitude negativa e que seja capaz de gerenciar as pessoas, estabelecendo e mantendo boas relações em todos os níveis da organização. O orientador deve ser capaz também de deixar bem claro para toda a equipe os objetivos a serem alcançados, passar autoconfiança aos técnicos, ser flexível, ser rápido nas tomadas de decisão, ser criativo e inovador.

Concluindo, afirma-se que o desenvolvimento e implantação de um SIG em áreas específicas exigem metodologias próprias, que são um requisito importante para o sucesso do sistema. A criação de um SIG é um processo muito complexo que depende de uma série de fatores que devem ser levados em consideração por partes dos responsáveis pela implantação do mesmo. Dentre as atividades que são primordiais, pode-se citar: a identificação das necessidades globais dos usuários e serviços a serem prestados, necessidade de integração com outros sistemas, a identificação de usuários diferentes, o tempo de respostas às questões levantadas, a determinação da existência de dados e a identificação de suas possíveis fontes e a permissão da extração de informações, combinações e cálculos de informações derivadas, interpolação de dados, etc.

Particularmente nos países da América do Sul, em especial em nosso país, onde existem grandes áreas para serem desenvolvidas, a tecnologia SIG pode e deve ser usada como um instrumento para obter um uso mais racional do solo e como de auxílio na tomada de decisão e análise espacial de situações no dia a dia. A situação mundial na atualidade exige racionalidade dos recursos naturais, racionalidade na ocupação e uso do solo, planejamento, etc.

4.4 Aplicações do Sistema de Informação Geográfica

O autor deste texto não tem a pretensão de apresentar todos os tipos de aplicações possíveis da tecnologia Sistema de Informação Geográfica e tão pouco esgotar esta imensa fonte de recursos tão úteis aos profissionais da área de Geomática. Portanto, os leitores não devem ter em mente somente as aplicações apresentadas. Recomenda-se que os leitores interessados devam buscar maiores informações sobre a utilização desta tecnologia em outras áreas de conhecimento de seu interesse. A cada dia que passa a informação se torna ainda mais acessível por parte da população. No campo técnico isto ocorre de forma muito rápida face ao grande número de congressos que surgem a cada dia, revistas, jornais, livros e, talvez, a grande vedete do momento que é a Internet. Existem vários sítios de informação que são muito interessantes e úteis que devem e merecem ser consultados.

Assim como a informação tem uma grande extensão de alcance, que pode ser colocada num contexto geográfico sem limites, existem pouquíssimas aplicações que limitam o uso dos SIGs. Isto reflete diretamente no contínuo crescimento do uso desta tecnologia em várias áreas de conhecimento. Os maiores usuários dos SIGs são instituições e organizações de utilidades públicas seja nos EUA, Canadá ou em alguns países da Europa e da Ásia. Apesar de todo o potencial dos SIGs, os países latinos ainda usam estes sistemas de forma muito tímida, talvez pelo alto custo da aquisição e elaboração dos bancos de dados. Aqueles que ainda não exploram esta tecnologia dão sinais positivos da incorporação da mesma em um futuro próximo. Em nosso país, o uso desta tecnologia vem sendo crescendo com a participação das agências governamentais, empresas privadas, empresas de consultorias, universidades, etc. É importante citar o papel que as

universidades brasileiras vem apresentando no cenário nacional como sendo um usuário do sistema e ao mesmo tempo como uma fonte de formação de profissionais para o mercado de trabalho.

A maioria dos usuários de SIG elabora seus sistemas de informações próprios ou combinam seus dados com os obtidos junto a organizações privadas ou públicas. Nos Estados Unidos e Canadá uma importante fonte de aquisição de dados são as agências de mapeamento topográfico que oferecem a base da Topografia, Infra-estrutura e limites de propriedades. Uma outra importante fonte de dados são os censos ou outras formas de levantamento demográfico e sócio-econômico. Nas Ciências do Ambiente, existem várias organizações de levantamento que oferecem dados que podem ser usados em outras áreas. Existe uma preocupação particular com a Geologia, Solos, Hidrologia, Ecologia, Oceanografia e Ciências Atmosféricas. Várias outras organizações de levantamentos estão envolvidas com pesquisas e contratos de trabalhos que incluem a análises dos dados via uso da tecnologia SIG.

Em função da grande variedade de perfis de usuários, tipos de dados coletados e das diferentes aplicações, os SIGs precisam oferecer aos usuários e projetistas um conjunto adequado de funções de análises e manipulação dos dados geográficos. A partir de tais necessidades, surgem diferentes especialidades destes sistemas, como por exemplo *LIS*⁴², *NRIS*⁴³, *SIS*⁴⁴, etc.

Para cada caso, deve ser desenvolvido um cenário com o intuito de identificar os tipos de dados quantitativos que são necessários para gerar a informação quantitativa para as etapas de planejamento e a tomada de decisão. A criação deste cenário tem por objetivo identificar os dados básicos que permitam a condução de análise de recursos e avaliação, visando a obtenção de informações para o planejamento. Uma vez que os dados básicos tenham sido identificados, é necessário adquirir o mapa-base, imagens de satélites, fotografias aéreas, informações de coordenadas relativas a um dado sistema e quaisquer outros documentos fontes que venham auxiliar no nível e grau de informação. O mapa-base deverá ter um alto grau de precisão para definição de pontos de interesse. É muito importante ter em mente a importância do conhecimento do sistema de projeção do mapa-base e o sistema de coordenadas inerentes a este sistema de projeção.

Muitas vezes o tipo de dado coletado pode indicar o tipo de utilização que será dada à tecnologia SIG. A seguir apresentam-se, resumidamente, alguns tipos de aplicações que podem ser dadas à esta tecnologia. A Figura 4.2 ilustra a grande variação da aplicabilidade dos SIGs.

⁴² Land Information System que no meio técnico nacional tem sido reconhecido como Sistema de Informação da Terra - SIT.

⁴³ Natural Resource Information System que no meio técnico nacional tem sido reconhecido como Sistema de Informação de Recursos Naturais - SIRD.

⁴⁴ Soil Information System que no meio técnico nacional tem sido reconhecido como Sistema de Informação de Solos - SIS.

Figura 4.2: Exemplos de algumas aplicações da tecnologia SIG.

4.4.1 Monitoramento e levantamento (topográfico e levantamento de campo)

Nos EUA, a responsabilidade dos levantamentos topográficos no país é da parte do United States Geological Survey (USGS). A maior escala de mapas digitais é de 1:24000. Em contrário ao Ordnance Survey (OS), o USGS tem-se concentrado na digitalização de elementos temáticos particulares de uma série de mapas, de acordo com a demanda dos usuários. O OS digitaliza todo o conteúdo de uma carta, neste sentido têm sido criados programas geradores de mapas de acordo com a demanda usuária. Uma outra fonte muito importante de dados de mapas digitais, as quais incluem detalhes de propriedades e de infra-estrutura urbana, é através do sistema dos US Bureau of the Census (MARX, 1990). Várias outras instituições, organizações nacionais e empresas privadas de mapeamento têm realizado investimentos na criação de bancos de dados digitais, seja através da digitalização de mapas existentes, seja através de levantamento de dados no campo.

4.4.2 Hidrologia, Levantamento Marinho e Glacial

Em alguns países, os levantamentos de rios e lagos são realizados, de uma maneira geral, por agências de mapeamento topográfico oficiais. Todavia, o levantamento detalhado de características hidrológicas é realizado por empresas ou organizações especializadas, como por exemplo, o Institute of Hydrology do Reino Unido. Algumas instituições podem usar mapas básicos topográficos digitais para oferecer um contexto mais detalhado das observações. Estudos da superfície da água dependem do uso de Modelos de Terrenos (MT) que podem ser usados para modelar a superfície de fluxo de água e conseqüentemente determinar a bacia de drenagem e prever os escoamentos e inundações sob várias condições de clima e tempo. Os modelos de

terrenos fornecidos pelas agências de mapeamento oficiais americanas e inglesas não podem ser sempre garantidas como modelos adequados para modelar o fluxo de água de uma forma realística. Nestes casos, pode-se impor algumas injunções mínimas de altura e declividade adicionais aos dados de levantamento.

Os dados marinhos são, normalmente, relativos à superfície do mar e a massa d'água abaixo da superfície, ao leito marinho e a subsuperfície do leito marinho. Estes tipos de dados são geograficamente medidos em três dimensões, ou seja, são usualmente relacionados às coordenadas geográficas geodésicas (latitude, longitude e altitude). Esta altitude é considerada como sendo a profundidade abaixo do nível do mar. A obtenção de medidas precisas da dimensão vertical (nível médio dos mares e dos rios) requer uma referência geodésica. Uma outra dimensão muito importante é o tempo. Algumas informações são válidas quando se considera, além das coordenadas geográficas geodésicas, a componente do tempo. O Sistema de Posicionamento Global é uma tecnologia que tem sido de grande valia nas aplicações marinhas, uma vez que esta tecnologia propicia a obtenção de coordenadas geográficas e a componente do tempo. Com certeza, após o surgimento desta tecnologia a elaboração de bancos de dados marinhos teve um grande avanço devido a facilidade e a rapidez na obtenção de coordenadas.

Os levantamentos marinhos são usualmente dependentes do alcance do equipamento sonar e do Sensoriamento Remoto da superfície do mar e da temperatura da água local. O levantamento da superfície do fundo de rios, lagos, mares e oceanos são resultantes de superfícies gerados por modelos, tais como os Modelos Digitais de Terreno (MDT). Estudos oceanográficos de correntes, nutrientes, salinidade e variação de temperatura requerem modelos complexos para representar variações em 3D de fenômenos ao longo do tempo.

4.4.3 Levantamento de Solos

A aplicação da tecnologia SIG nas ciências dos solos tem sido, particularmente, bem documentada na literatura, sendo um dos temas mais explorados nos livros textos, (BURROUGH, 1986). A representação das informações do solo é um desafio, uma vez que o solo está sujeito a variações locais complexas. Os mapas de solo, freqüentemente, têm a forma de um discreto polígono dos limites da área a ser representada. Entretanto, os limites entre dois tipos diferentes de solos não são claramente delimitados no terreno. Os polígonos, normalmente, representam interpretações idealizadas pelo homem através de amostras de pontos e perfis verticais obtidos por sondagem. Alguns tipos de SIGs oferecem opções de aplicar técnicas estatísticas para modelar variações naturais espaciais de solos, a partir de amostras discretas coletadas de solos.

4.4.4 Levantamentos geológicos

Nas análises da geologia de uma região, seja para exploração mineral, exploração de petróleo ou simplesmente para reconhecimento de um mapeamento, é fundamental o procedimento de integração de dados. O geologista busca identificar amostras geológicas no terreno para relacionar com diversas informações de dados geológicos.

O SIG para dados geológicos tem algumas semelhanças comuns com as informações do solo, no qual o dado original bruto freqüentemente consiste de amostras de pontos e interpretação dos pontos limites ou de vizinhança. Os dados são derivados a partir da combinação de amostras da superfície e do subsolo, dados de Sensoriamento Remoto de levantamentos geofísicos, imagens

aéreas e a partir de interpretações de fenômenos geológicos derivados diretamente e remotamente dos dados.

A grande importância de um SIG está no auxílio para integrar dados geológicos a partir de uma variedade de fontes de dados incluindo mapas, levantamentos geofísicos e geoquímicos. Entretanto, pode-se dizer que o grande potencial do sistema de informação espacial no tratamento de dados geológicos está ainda começando; a introdução de ferramentas de análises para se modelar em 3D, interpretar e visualizar, tem sido objeto de estudos por parte de várias agências que usam esta tecnologia.

4.4.5 Levantamentos do meio ambiente

O meio ambiente é o meio que cerca a vida do homem, oferecendo condições para que seja possível a vida em si. Nas últimas décadas foram realizados, em várias partes do planeta, levantamentos para adquirir informações do meio ambiente. Estes levantamentos comprovaram a crescente degradação do ambiente e em consequência disso, tem havido um incremento de pesquisas de identificação e estudos de problemas ambientais. Muitos desses trabalhos têm sido, infelizmente, de caráter especulativo e teórico carecendo, até o momento, de uma base de dados adequada. Felizmente, nos últimos anos, essa situação está mudando, uma vez que paralelamente ao rápido crescimento em volume e quantidade dos dados coletados tem ocorrido grande mudança na capacidade técnica que facilitam o desenvolvimento dos SIGs e conseqüentemente o modo de manipular a diversidade de informações envolvidas. Por isso, segundo PAREDES (1999), o SIG é um instrumento de programação das ações integradas, de controle e de gestão do meio ambiente.

Algumas cidades brasileiras preocupadas com a degradação urbana devido ao crescimento desordenado, o uso inadequado do espaço, os diversos tipos de agentes poluidores e poluentes, vem lançando mão dos recursos das geotecnologias na busca de soluções de seus problemas. Como um bom exemplo pode-se citar a Secretaria Municipal do Meio Ambiente da cidade de Curitiba (PR) que vem investindo nos últimos anos na preservação da consagrada área verde da capital através do mapeamento dos maciços vegetais da região. A cidade do Rio de Janeiro (RJ) também vem realizando um trabalho de monitoração da Lagoa Rodrigo de Freitas. Nestes trabalhos as informações são obtidas por meio de fotografias e coleta de dados locais.

Outro exemplo de preocupação com o meio ambiente é o projeto SOS-Taquari que vem sendo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/SOLOS/RJ. Este projeto tem como objetivo o estudo do processo erosivo e assoreamento de rios da região do Pantanal, em especial do seu principal contribuinte que é o Rio Taquari, a fonte de equilíbrio do ecossistema da região. Maiores informações deste projeto podem ser obtidas na *página* da EMBRAPA (www.embrapa.gov.br) ou através do endereço eletrônico margaret@cnps.embrapa.br.

A constante preocupação a respeito da conservação do meio ambiente natural e a reabilitação dos efeitos industriais e do desenvolvimento da agricultura, tem dirigido o crescimento do uso do SIG no monitoramento do meio ambiente que envolve a biosfera, seja numa escala global ou em nível de estudo ecológicos locais. O SIG pode ser usado para criar bancos de dados voltados para a ecologia e integrar informações derivadas de levantamentos do Sensoriamento Remoto especialmente a partir de dados de satélites, tais como o Landsat e o SPOT, a partir de dados de campo da fauna e flora e a partir de parâmetros geoquímicos do meio ambiente. Este último poderia relatar por exemplo a temperatura, altitude, a presença de poluentes na atmosfera e na superfície e sub-superfície da água.

Grande quantidade de dados atmosféricos é coletada, processada e administrada em uma estação diariamente para trazer subsídios operacionais de meteorologia, apesar do monitoramento climático e os modelos atmosféricos estarem se tornando importantes usuários dos dados atmosféricos. Normalmente as informações dos bancos de dados atmosféricos têm suas referências tridimensionais e mais a componente do tempo. As frequências temporais e espaciais das coleções de dados são muito variáveis, especialmente entre terra e mar e entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Os dados coletados ou emitidos por satélites têm oferecido um grande volume de informações que propiciam análises de diferentes parâmetros, como por exemplo, a superfície do mar, temperatura da água, salinidade, cobertura de nuvens, presença de microorganismos, etc.

Existe um grande número de organizações no mundo que se preocupam com os aspectos particulares da vida animal e vegetal; algumas destas organizações concentram-se em tipos distintos de 'habitat' nas florestas, pântanos, rios, lagos, mares abertos, zonas costeiras e nos oceanos.

Os problemas ambientais não podem ser vistos apenas como problemas regionais ou nacionais, mas deve-se ter consciência que esta matéria diz respeito a todos os povos, uma vez que quaisquer modificações do meio ambiente podem atingir profundamente a vida, seja animal, vegetal ou humano.

4.4.6 Levantamentos demográfico e sócio-econômico

As informações demográficas são, de todo o universo de informações que povoam os bancos de dados geográficos, que fornecem subsídios para a concepção e implementação de aplicações, em praticamente todos os tipos de aplicações em SIG. Isto nos parece ser bastante razoável uma vez que, na maioria das aplicações, existe a preocupação em se conhecer a localização das pessoas e as informações relativas ao cidadão como clientes, eleitores, usuários de serviços, etc. É natural que exista o interesse no conhecimento, não apenas quantitativo, mas também sobre o aspecto qualitativo e saber como é o cotidiano da população.

O nosso país vai, a cada dia, se tornando mais urbano e isto leva as instituições governamentais e empresariais a necessitar do conhecimento das características das cidades, pois estas, quando examinadas de perto, apresentam ocupação muito heterogênea: dentro de cada cidade estão representados todos os grupos sócio-econômicos, dos mais privilegiados aos mais carentes. Para que se possa caracterizar e localizar estes grupos é necessário contar com informações demográficas de qualidade.

Do exposto, pode-se afirmar que os levantamentos demográficos na forma de censos e registros de população oferecem a principal fonte de dados geograficamente referenciados de uma população humana. Os dados variam entre diferentes países, mas podem incluir informações tais como idade, sexo, número de pessoas por residência, ocupação, consumo de combustível, imposto de renda, grau de escolaridade, etc. Estes dados podem dar-se no planejamento de escolas e rodovias, estudos da variação espacial de doenças e análises da locação de zonas consumidoras para finalidades de marketing. Os dados são usualmente agregados para uma pequena unidade de área e então são elaborados blocos de agregação de unidades administrativas até atingir níveis mais altos tais como distritos, municípios, regiões e países.

No Brasil, as informações demográficas básicas disponíveis são as geradas pelo IBGE por ocasião dos censos demográficos. O último censo realizado em nosso país foi no ano 2000. Algumas conclusões já podem ser retiradas deste levantamento, mas como ainda não foram contabilizadas todas as informações coletadas, têm-se utilizado informações dos censos anteriores de 1991 e 1996.

4.4.7 Arqueologia e história de localidades

Os arqueologistas têm usado a tecnologia SIG para analisar localidades conhecidas e prever a posição de locais ainda não descobertos. Medições arqueológicas, tais como o tamanho das cidades, localização, idade, número de artefatos, número de moradias em conjunto com medições ambientais (elevação, declividade, relevo e distância de fontes de águas) tem sido usadas para prever locações de locais arqueológicos.

Visto que a Arqueologia se preocupa com o passado geográfico e histórico, é natural que a grande extensão de técnicas do SIG tenha encontrado aplicações práticas na reconstrução do meio. Enquanto que as técnicas de levantamento podem ser usadas para mapear pontos visíveis de aspectos do terreno através da observação de marcas na superfície física que aparecem numa fotografia aérea, existem também as possibilidades de usar levantamentos geo-científicos para levantar estruturas enterradas no subsolo. Isto inclui levantamentos sísmicos, magnéticos e de resistividade. Técnicas de visualização tridimensional, incluindo animações virtuais têm sido de grande valor na simulação histórica de assentamentos e construções.

4.4.8 Aplicações municipais

A administração municipal tem por dever receber e administrar a população urbana, prevendo e direcionando o crescimento físico e sócio-econômico da cidade e de seus bairros, ordenando a expansão da malha urbana, e assegurando, ao mesmo tempo, maior acesso a todos à educação, saúde, alimentação, habitação, ao trabalho, ao transporte, à cultura, lazer, segurança e infra-estrutura urbana. Além disso, deve ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. Todos estes direitos são garantidos aos cidadãos pelo artigo 182 da Constituição Federal.

A nossa realidade tem mostrado que esses serviços estão muito longe do atendimento das necessidades dos municípios. Diante deste quadro, pode-se prever que a qualidade do serviço público municipal tende a se agravar nas próximas décadas, uma vez que o processo de urbanização vem crescendo com uma velocidade maior que as possibilidades do planejamento e controle desse crescimento. Devido a este fato, a consequência imediata é a ocupação irracional do espaço urbano que gera uma desorganização na localização das atividades.

As características do processo do crescimento urbano de muitas cidades brasileiras apresentam os seguintes aspectos, PAREDES (1999):

- ♦ Imprecisão geral na demarcação dos limites das áreas urbanas, suburbanas e rurais;
- ♦ Os serviços públicos oferecidos encontram-se totalmente ultrapassados e sobrecarregados na sua capacidade;
- ♦ As redes de infra-estrutura encontram-se deficientes e insuficientes e com isso não conseguem acompanhar o ritmo do crescimento da malha urbana;
- ♦ Os componentes básicos do ambiente natural encontram-se em situação de difícil recuperação e restauração, configurando assim imagens deterioradas da paisagem urbana;
- ♦ A insegurança permanente na tomada de decisão sobre o desenvolvimento da cidade, faz com que a vida urbana tenha uma sucessão de fatos aleatórios, ingratos e atentatórios contra o conforto e segurança da população.

A maior parte dos problemas citados é decorrente de um processo arcaico de organização, gerenciamento de informações, uso de métodos ultrapassados sem alternativa de modernização. O problema agrava-se ainda mais quando os dados existentes em diversos setores e entidades municipais, não são referenciados a uma base comum e os registros não podem ser atualizados com igual grau de automatização.

O processo de organização da administração pública passa, inicialmente, pela criação de um cadastro técnico para auxiliar no planejamento, coordenação e controle das atividades de coleta, armazenamento, atualização e disseminação da informação. O objetivo do cadastro é contribuir para o planejamento, tomada de decisões e atuação das unidades organizacionais da prefeitura, em outras palavras, oferecer ao executivo um conjunto de informações de uso multifinalitário.

Até pouco tempo atrás criar bancos de dados georreferenciado urbano significava executar um levantamento aerofotogramétrico em escala de 1:8000, restituir todos os objetos observáveis e gerar um conjunto de plantas em escala de 1:2000. Este processo, extremamente trabalhoso e oneroso, dificultou a entrada de muitas pequenas e médias prefeituras no universo das geotecnologias. Com o tempo, tem-se observado que o desenvolvimento de produtos cartográficos de alta precisão é um pré-requisito indispensável para implantar um projeto de SIG urbano, DAVIS (1999).

O planejador urbano e o administrador necessitam, não apenas inovar os meios que lhes permitam uma melhor atuação em relação ao passado, mas também contando com uma ferramenta rápida (econômica, simples e de fácil implementação), e também incrementar procedimentos capazes de registrar, medir e contabilizar a informação. Em adição, ter condições de tratar grande volume de informações que reflitam a atual realidade urbana, de interpretar essa realidade, de propor alternativas e de auxiliar na tomada de decisões de uma forma rápida, precisa, eficiente e contínua.

Os sistemas utilizados nas prefeituras são, normalmente, designados em nosso meio como sendo *SIGs municipais*. Estes sistemas são aplicados na tomada de decisões administrativas, econômicas e no planejamento estratégico das atividades. O uso de sistemas desatualizados certamente leva a conclusões equivocadas, retardando e onerando o planejamento, tendo como consequência imediata o mau uso dos recursos públicos.

É muito importante que os administradores municipais tenham visão clara e abrangente dos assuntos que envolvam aspectos sociais, econômicos, ambientais de modo a propiciarem a implantação de um SIG municipal que seja capaz de elaboração de políticas públicas, avaliações e simulações políticas.

Quando da implantação de um SIG municipal, o administrador público deve estar atento na contratação destes serviços, de modo que os sistemas sejam dimensionados de acordo com a necessidade local.

A maioria das informações necessária para operar um município é um conjunto de dados georreferenciados, isto é, referenciados a uma locação geográfica específica. É muito importante salientar que todas as informações para um SIG têm que ser georreferenciadas. Informações a respeito do zoneamento, propriedades, rodovias, escolas e praças, todas pertencem a uma específica localização geográfica. Apesar do grande desenvolvimento tecnológico e a constante redução de preços de computadores e softwares, a adoção de SIGs continua relativamente lenta por parte da maioria dos municípios de nosso país; este fenômeno pode ser também aplicado a muitos países desenvolvidos. Em parte, esta lentidão pode ser creditada ao alto custo da criação dos bancos de dados alimentador do SIG e os custos de mudanças na organização administrativa do município para que seja implementado o sistema.

O número e o tipo de aplicações e análises que podem ser realizadas nesta área são muito grandes e diversas, assim como o conjunto de dados geográficos disponíveis. Os serviços de gerenciamento municipais, tais como atividades de horários de manutenção, relacionamento de fatores comuns entre as áreas de alta taxa criminal como a baixa renda, delimitação de ação de carros da polícia, locação de escolas e hospitais, aplicações de re-zoneamento industrial, etc. são alguns poucos exemplos de aplicação da tecnologia SIG na administração municipal.

Aplicações municipais de SIG oferecem coleções sistemáticas, atualizadas, processadas de dados relativos a ocupação do solo. A capacidade de manusear dados de levantamento é também uma necessidade destes sistemas. O SIG em municípios é usado para legalizar, administrar e tomar decisões econômicas embasadas tecnologicamente e cientificamente para o planejamento de atividades. Os termos Sistemas de Informações da Terra (SIT) e Sistemas de Informações de Registro da Terra (SIRT) são freqüentemente usados para referir o SIG que tem sido especializado para estes tipos de aplicações; as informações são normalmente armazenadas em mapas de escalas que, normalmente, variam de 1:1000 a 1:10000.

A potencialidade dos SIGs na administração pública é inquestionável por técnicos e administradores. O poder da informação é marcante neste setor, onde experiências têm demonstrado um aumento considerável na arrecadação de tributos, na faixa média de 15 a 20%. Recomenda-se que a partir do momento que um dado município ou regional apresente exequibilidade financeira, deve-se encaminhar um procedimento para a implantação de um SIG não somente para ser um elemento para visualização de mapas coloridos, mas, principalmente com um elemento facilitador da gestão pública ou privada.

A publicação da Lei de Responsabilidade Fiscal – LRF (Lei 101 de 04/05/00), provocou um grande movimento nos bastidores da administração pública brasileira. A promulgação desta lei surpreendeu as prefeituras e apontou a necessidade do aumento de investimento em geotecnologias como uma forma de otimizar a administração de recursos e aumentar a arrecadação municipal. Esta lei obriga os municípios a buscar uma administração mais eficiente de suas receitas, contendo gastos e buscando evitar o endividamento. O não cumprimento desta lei levará o responsável pela administração municipal à sanções penais previstas pela Lei 10028 de 19/10/00.

O governo federal vem fazendo sua parte no sentido de incentivar a modernização municipal através de programas voltados a reforma administrativa, orçamentária e tributária. No sentido de facilitar e agilizar o envolvimento das prefeituras neste processo de modernização, o governo tem oferecido financiamentos com até 20 anos para o seu pagamento. A união oferece os recursos financeiros esperando ter a resposta positiva da autonomia municipal.

4.4.9 Agricultura e planejamento do uso do solo

Antes da revolução industrial e do processo de mecanização da agricultura, os agricultores já eram capazes de reconhecer a variabilidade espacial de certas características físico-químicas e biológicas das áreas cultivadas. Com o advento da mecanização e da produção em larga escala, os campos cultivados passaram a ser tratados de maneira uniforme. As taxas de aplicação de fertilizantes passaram a serem calculadas com base em valores médios de fertilidade e a aplicação feita uniformemente em toda a extensão do campo. Este tratamento uniforme gera perdas econômicas para o agricultor e pode causar danos ambientais importantes, como, por exemplo, a contaminação dos recursos hídricos da região.

Precision Agriculture, Precision Farming, Site-Specific Crop Management são alguns dos termos na língua inglesa que se referem à tecnologia que revolucionou a agricultura americana nos

últimos anos. Em nosso país, esta tecnologia tem sido reconhecida no meio técnico como Agricultura de Precisão e vem mudando a forma de pensar no campo, revertendo a aplicação de insumos agrícolas nos locais corretos e nas quantidades requeridas.

A tecnologia da Agricultura de Precisão faz uso intenso do GPS para a coleta de dados georreferenciados. Colheitadeiras equipadas com antenas GPS e sensores eletrônicos são usados para o mapeamento da colheita no campo, permitindo identificar áreas de maior ou menor produtividade. Vide Figura 4.3. O georreferenciamento dos pontos de coleta de amostras de solo permite também o mapeamento de variáveis importantes para o processo produtivo, como a disponibilidade de nutrientes, água e pH do solo.

Figura 4.3: Máquina colheitadeira equipada com receptor GPS e um SIG para realização da colheita agrícola.

A Agricultura de Precisão permite ainda construir bancos de dados espaciais e temporais importantes no desenvolvimento de técnicas visando o uso racional da terra com conseqüente redução de custos e impactos ambientais. Destacam-se três fases principais para a implementação desta tecnologia:

- ★ Coleta de dados georreferenciados para a caracterização da variabilidade espacial e temporal das áreas cultivadas;
- ★ Tomada de decisões com base na análise e tratamento dos dados obtidos no campo;
- ★ Aplicação localizada de insumos agrícolas (Vide Figura 4.4).

Figura 4.4: Avião equipado com receptor GPS e SIG para a aplicação de insumos agrícolas na plantação.

Da Figura 4.4, vemos uma aplicação muito interessante na agricultura. Os aviões agrícolas são equipados com o sistema GPS que, semelhante ao que ocorre na aerofotogrametria, seguem um planejamento de voo percorrendo linhas projetadas sobre a área a ser pulverizada. A aeronave mantém-se sobre as linhas projetadas e o piloto ou o seu auxiliar aciona o sistema de pulverização nos cruzamentos do limite da área e o desliga quando sair da área. Esta sistemática conduz a otimização da aplicação dos insumos, uma vez que não ocorre desperdício de material quando a aeronave realiza as manobras para retomada das faixas adjacentes de voo. O uso desta tecnologia eliminou a necessidade de pessoas, em terra, para sinalizar o posicionamento inicial e final da linha de voo. Este procedimento levava a sérios riscos para a realização desta tarefa, uma vez que estas pessoas ficavam submetidas aos produtos químicos aspergidos sobre a plantação. Normalmente, os sistemas mais sofisticados, possuem a capacidade de monitorar a quantidade de insumos a ser aplicada, informando com mapas e relatórios tudo o que foi realizado. Isto permite avaliar e decidir estratégias mais eficientes para a realização deste tipo de trabalho e, ao mesmo tempo possibilita um controle maior sobre a operação, levando a uma redução do desperdício de insumos e a probabilidade de acidentes ambientais.

Assim como em outras áreas de conhecimento, a agricultura de precisão vem exigindo um número maior de informações e o aprimoramento de sua qualidade. A consequência direta deste fato é o maior cuidado na etapa de coleta de dados, o seu tratamento, a sua disponibilidade e a gestão da informação espacial. Os dados para serem usados de forma a proporcionar bons resultados devem ser confiáveis, precisos e obtidos a baixo custo. Recomenda-se que para cada caso seja estudado as melhores estratégias de coleta, tratamento e gerenciamento das informações, uma vez que cada caso deve ser tratado de forma única. Nem sempre a experiência de um trabalho pode ser usada integralmente em outro. O uso correto das tecnologias abrem novas fronteiras e demandas profissionais qualificados, preparados para atender os requisitos básicos e com ampla visão e domínio das ferramentas ao seu dispor, BUENO (2000).

O leitor que tiver interesse na obtenção de maiores detalhes a respeito da agricultura de precisão pode obter informações e artigos na página eletrônica da EMBRAPA (www.embrapa.br) ou www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap.

A produção de alimentos é um elemento muito importante no contexto econômico de um país. Usualmente, a produção de alimentos é melhor levantada e monitorada que outros recursos

naturais. Alguns países industrializados têm bem desenvolvido serviços de registros estatísticos que apresentam levantamentos de fazendas, monitoramento de plantios e produções, condições de simular o comportamento do mercado internacional quanto a oferta e a demanda de alimentos.

Durante os últimos anos, várias organizações internacionais e nacionais responsáveis pelo monitoramento agrícola têm adotado a tecnologia SIG. Os dados armazenados coletados no campo e dados coletados por satélites (tempo, informações do uso do solo) em anos anteriores, são analisados em conjunto com a previsão para cada região da cultura desejada (arroz, feijão, cana, café, etc.). Normalmente, o processo é repetido em intervalos regulares através das estações do ano.

4.4.10 Floresta e gerenciamento do mundo animal selvagem

Nos últimos quinze anos, a tecnologia SIG tem sido largamente usada pelos usuários de agências florestais públicas e empresas privadas. Esta realidade infelizmente só é aplicada nos países desenvolvidos, uma vez que em nosso país não existe uma consciência clara para a aplicação destes sistemas. A aplicação do SIG na área de florestas torna-se mais evidente a medida que existam mapas florestais. Estes tipos de mapas e dados podem ser adquiridos através da coleta usando técnicas do Sensoriamento Remoto suportados por dados de campo obtidos por levantamentos topográficos clássicos ou pelo Sistema de Posicionamento Global – GPS.

Uma experiência pioneira, no Brasil, neste tipo de aplicação é o uso do geoprocessamento no controle do desmatamento e fiscalização da Amazônia, realizado pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Através de análise multitemporal de imagens LANDSAT TM, o Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA realizou levantamentos de áreas desmatadas naquela região e produziu documentos que eram usados pelo Departamento de Fiscalização, para o planejamento de sua atuação em campo e distribuição dos fiscais para a verificação local. Após as operações de campo, as informações colhidas das áreas desmatadas (nome do proprietário, informações detalhadas da propriedade, uso principal da área, tipo de desmatamento, etc.), eram enviadas ao Centro de Sensoriamento para alimentar bancos de dados georreferenciados e conseqüentemente usá-los em um SIG. A metodologia aplicada nesta operação permitia o acompanhamento, em tempo real, dos trabalhos de campo e a experiência deste projeto serviu para o desenvolvimento de outros trabalhos até os nossos dias. O IBAMA oferece uma *página* (www.ibama.gov.br) bastante interessante, onde o leitor encontra informações muito úteis com imagens e textos que merecem uma visita periódica para atualização dos assuntos e projetos correntes.

Quanto ao gerenciamento da vida animal, um importante componente é a predição de efeitos das atividades humanas e eventos naturais na qualidade da população animal selvagem. Esta informação é usada na tomada de decisão na construção de uma rodovia ou no fechamento de acesso público para preservação da vida selvagem. Esta depende da presença de uma combinação apropriada de recursos com uma área geograficamente bem definida. Um SIG pode ser usado para analisar alguns fatores tais como a disponibilidade de alimentos e cobertura, proteção de predadores, e a conveniência de áreas para acasalamentos e a alocação de ninhos, etc. Técnicas de SIG têm sido usadas para analisar o habitat de uma grande variedade de espécies vegetais e animais, como por exemplo o monitoramento dos ursos cinzentos do Colorado, os alces, veados dos estados do norte dos EUA e Canadá, e várias espécies de pássaros, ARONOFF (1993).

4.4.11 Engenharia urbana

O crescente processo de urbanização e a grande concentração populacional das cidades ocorrida nos últimos anos trouxeram consigo uma enorme deficiência nos serviços prestados nas grandes e médias cidades. O aumento das interações espaciais vividas pelo homem (atividades diárias do trabalho, comércio, lazer, etc.) traz como consequência imediata a dificuldade de administrar o espaço urbano. Os SIGs, apresentam-se nestes casos, como uma poderosa ferramenta de suporte para agilizar os processos de representações e realizações de projetos, visando melhorar a qualidade de vida nos grandes e médios centros urbanos.

Nesta área, as aplicações dos SIGs são muito variadas e úteis na análise, planejamento e avaliação de utilidades urbanas, tais como: serviços de transportes; uso e ocupação do solo; cadastramento imobiliário gráfico; projeto de arruamentos; planejamento da localização de escolas, hospitais, postos de saúde, postos de gasolina, área de lazer, áreas de proteção ambiental; planejamento do lançamento de redes de infra-estrutura urbana (água, esgoto, pavimentação, telefonia, iluminação pública, etc.). É importante também citar a importância dos SIGs nas tomadas de decisões quanto ao redimensionamento dos serviços e de utilidades públicas quando a população não está sendo atendida de maneira adequada e a contento por quaisquer dos serviços citados. A Figura 4.5 apresenta algumas organizações públicas e privadas que são potenciais usuárias dos SIGs, voltados a engenharia urbana.

No planejamento de transportes, para que os SIGs tenham bons resultados, exige-se que os dados, como por exemplo a matriz origem-destino (OD), sejam levantados de forma eficiente. Assim, pode-se garantir melhores análises espaciais da evolução dos serviços oferecidos.

Em suma, a utilização do SIG no planejamento urbano permite a construção de um modelo levando em consideração as atividades espaciais, permitindo assim, diagnosticar o crescimento e a dinâmica espacial urbana, tanto quanto monitorar e identificar os agentes inter-relacionados nesse processo.

Figura 4.5: Organizações federais, estaduais, municipais e privadas que são usuários potenciais dos SIGs na engenharia urbana.

4.4.12 Cadastro

O uso de cadastro é uma atividade antiga e vem sendo realizada desde as antigas civilizações egípcias, gregas e romanas. O uso primário dos cadastros era para estabelecerem impostos sobre a propriedade e a produção de gêneros agrícolas, criando uma relação propriedade-cultura-proprietário. O cadastro era uma forma de representação do inventário da propriedade urbana ou rural e mais tarde tomou a forma de representação gráfica através dos mapas, com a função de definir a situação espacial da propriedade, seus limites e características, incluindo uma parte escrita com dados técnicos, econômicos e jurídicos.

É evidente a interdependência do homem com a terra e seus recursos. Nela está o seu alimento, a água, o abrigo e não cometendo nenhum exagero está a sua própria vida. A administração da terra preocupa todas as nações do mundo, face aos últimos acontecimentos de crimes ecológicos pela negligência humana. Sem sombra de dúvidas há um crescente entendimento que os sistemas cadastrais têm um papel importantíssimo no suporte ao desenvolvimento econômico, gerenciamento ambiental e estabilidade social. Sob este ponto de vista, a Comissão Econômica das ONU vem utilizando o termo *land administration*, em lugar do termo cadastro. A definição dada em 1996, em particular na Europa, é a seguinte: *administração da terra é o processo de determinar, registrar e disseminar informações sobre os direitos sobre a propriedade, valor e uso da terra quando da implementação de políticas de gerenciamento da terra*", BUENO (2001).

O cadastro apresenta como finalidades a localização dos bens urbanos (ou rurais), a definição das características dos bens, a identificação dos proprietários ou pessoas relacionadas com a propriedade e a determinação do valor econômico da propriedade. O tratamento e qualidade destas informações são imprescindíveis e marcam a sociedade atual quanto ao valor da informação correta e o quanto a importância do mesmo nos momentos de tomada de decisão. Um cadastro urbano pode conter informações pertinentes as seguintes áreas:

- ◇ Cadastro imobiliário;
- ◇ Cadastro técnico de infra-estrutura urbana
- ◇ Cadastro de serviços públicos de abastecimento;
- ◇ Cadastro de multi-propósitos fiscal e técnico;
- ◇ Cadastro de informações sócio-econômicas;
- ◇ Cadastro de informações ambientais;
- ◇ Cadastro de informações sobre equipamentos urbanos;
- ◇ Cadastro de informações sobre o desenvolvimento urbano;
- ◇ Cadastro de informações demográficas;
- ◇ Cadastro de informações de segurança urbana;
- ◇ Cadastro de informações dos serviços prestados à saúde;
- ◇ Cadastro de informações dos serviços de distribuição de água e esgoto da cidade;
- ◇ Cadastro de informações da coleta de lixo;
- ◇ Cadastro de informações de serviços prestados à educação sabendo-se a localização das escolas e suas características de atendimento, números de salas de aulas, números de alunos, número de vagas;
- ◇ Cadastro de informações do sistema viário da cidade tais como a área pavimentada, tipo de pavimento utilizado, área de calçadas, área de ciclovias, etc.;
- ◇ Cadastro de informações do serviço de transporte coletivo;
- ◇ Cadastro de informações da iluminação pública;
- ◇ Cadastro de informações das áreas de lazer e recreação da cidade;

- ◇ Cadastro de informações de todo tipo de equipamento urbano tais como bibliotecas, cinema, teatros, mercados municipais, feiras livres, postos de gasolina e distribuição de gás, hotéis, estabelecimentos bancários, etc.;
- ◇ Cadastro de informações gerais a respeito da população, como por exemplo, a distribuição de renda, grau de escolaridade, taxa de vacinação, etc.

Além dos tipos de informações acima citados, existe uma gama muito grande de outras informações que são de extrema importância para a administração municipal. Neste ponto, o autor incentiva os leitores a buscar maiores detalhes na bibliografia deste trabalho.

Quando se aborda a respeito de cadastro no Brasil, infelizmente depara-se com uma situação que não ocorre um perfeito sincronismo entre o desenvolvimento tecnológico e a atualização da informação. Muitos afirmam que tal fato ocorre por questões culturais que resistem a inovações tecnológicas e também pela falta de uma política administrativa de atualização de informações. Apesar disso, pode-se afirmar a potencialidade de uso do geoprocessamento com o cadastro dos atributos de uma dada entidade. O planejamento urbano passou a ser mais eficaz com a melhoria da qualidade da informação do espaço e também pela disseminação dos SIGs.

Pode-se afirmar com veemência que o sucesso de implantação de um SIG passa pela qualidade da informação cadastral e as subseqüentes missões de atualização da informação. Não vamos nos enganar com o pensamento de que, numa dada cidade ou região, todas as construções existentes ou em andamento estejam corretamente cadastradas nas prefeituras. É natural a ocorrência de casos de residências terminadas ou não, já habitadas, e ocorrências de ampliações de residências que não tenham realizado ainda o seu cadastro junto ao órgão público. Diante deste fato, pode-se garantir que a grande parte dos municípios brasileiros tem seus cadastros desatualizados, tendo como conseqüência uma arrecadação inferior ao real desejado. Do exposto, recomenda-se a existência de uma política cultural da atualização dos dados cadastrais como uma fonte de recursos para salvar a situação financeira de muitos municípios brasileiros, uma vez que cerca de 85% de todas as informações da administração de uma prefeitura estão de alguma forma relacionadas com a localização geográfica.

Experiências têm demonstrado que este caminho deva ser percorrido independente dos compromissos políticos assumidos. *“O conhecimento da realidade local é uma tarefa primordial nas atividades de planejamento. Buscar o conhecimento da realidade na forma como ela se encontra e difundir essas informações, devolvendo às pessoas a visão do todo, é um caminho para criar a transparência da ação governamental, viabilizando a participação da comunidade no planejamento municipal e garantindo que o uso dos recursos públicos seja reflexo de suas reais necessidades”*⁴⁵.

A verdade deve sempre prevalecer, mesmo que a revelação de fatos contraste com a vontade humana.

4.4.13 Transportes

SILVA (1998) apresenta o uso da sigla **SIG-T**⁴⁶ designando como os Sistemas de Informações Geográficas para o planejamento de transportes. Silva apresenta algumas aplicações do SIG-T, como por exemplo, a avaliação e a busca de alternativas para reduzir os custos urbanos. Neste caso, propôs que a tributação da propriedade urbana fosse calculada a partir de custos

⁴⁵ Palavras de Nadir Leonardi, Diretora Técnica do CAPEMI-Centro de Estudos e Pesquisas, ASSUMPCÃO (2001)

⁴⁶ É um ambiente de captura, gerenciamento e análise de dados espaciais relativos aos transportes.

adicionais de transportes e de infra-estrutura decorrente dos vazios urbanos. Uma outra aplicação de Silva foi a alteração de estratégia para a tomada de decisão quanto a tributação onde propunha que a tributação passasse a funcionar diretamente no ambiente do SIG-T.

LANGFORD & LEWIS (1995) *apud* DUTRA (1998) apresentam que a tecnologia SIG-T foi aplicada de forma mais efetiva a partir de 1992/1993, onde, com a sua utilização, ficou mais fácil analisar a segmentação dinâmica (ou seja, ligar atributos lineares ou de pontos a uma rede) e a própria análise em rede (menor caminho, tráfego, viagens de vendas, alocação em rede e outros focos dados por algoritmos analíticos).

DANTAS, TACO & YAMASHITA (1996) *apud* SOUZA (2000) apresentam que a aplicação do SIG em Transportes pode ser dividida em quatro áreas de abordagem compreendidas em planejamento, gestão, operação e análise de sistemas que são utilizadas nas diversas áreas de sistemas de transportes. Na área de planejamento, os trabalhos normalmente abordam questões como transporte coletivo, definição de zona de tráfego, transporte de cargas, transporte regional, etc. Quanto a gestão, os trabalhos apresentam uma preocupação maior com a criação de bancos de dados. Quanto a operação, os trabalhos versam sobre questões de transporte de carga, engenharia de tráfego, transporte rodoviário e transporte coletivo urbano. Por último, a análise de sistemas é apresentada através de estudos que enfocam o potencial, os requerimentos básicos e as deficiências no uso dos SIGs-T.

4.4.14 Localização de entidades

DUTRA (1998) apresenta um estudo e análises dos possíveis arranjos de escolas de primeiro grau, na cidade de São Carlos (SP), onde analisa os custos de deslocamento casa-escola com o intuito de melhor atender as crianças que utilizam deste serviço. Dutra conclui que a desconsideração de uso de um SIG-T levou a um aumento superior a 20% nos percursos de caminhada (casa-escola) após a reorganização escolar realizado pela Secretaria de Estado da Educação de São Paulo em 1995. Esse aumento, no entanto, poderia ter sido minimizado se um SIG específico de transporte fosse utilizado no planejamento da reorganização. A reforma foi positiva quanto aos gastos com a repetência anual, porém apresentou como fator negativo o aumento médio considerável nos deslocamentos das crianças.

4.4.15 Saúde

As Geotecnologias estão sendo a cada dia mais aplicadas na área de saúde e têm demonstrado ser uma ferramenta muito útil. Qualquer fenômeno que ocorre na natureza ocorre em algum lugar, num certo momento, mesmo um evento de uma dada doença. Utilizando-se da análise espacial, unindo a geotecnologia com a estatística, possibilita a profissionais e órgãos da área de saúde a realização de pesquisas quanto a distribuição espacial de certas doenças e qual ou quais estratégias a serem usadas para evitar ou controlar a sua proliferação.

A aplicação do SIG na área de saúde apresenta os mesmos problemas de outras áreas, ou seja, a falta de pensamento estratégico e uma política de aplicação de geotecnologias. Além disso, não se pode negar que outro problema que restringe a implantação das geotecnologias é a obtenção de bancos de dados e uma maior democratização ao acesso as informações. A Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) tem se envolvido com a distribuição espacial de dados de saúde desde o ano de 1993. Vários trabalhos já foram realizados no Estado do

Rio de Janeiro e em andamento em outros estados como, por exemplo: No Rio Grande do Sul está sendo realizada (em fase final de projeto) a análise da mortalidade infantil; no Espírito Santo estuda-se a distribuição espacial da Leishmaniose.

Vários outros municípios brasileiros partiram para o uso do SIG na área de saúde, como por exemplo: Olinda (PE) no controle da Hanseníase; Porto Alegre (RS) na distribuição espacial de mortes violentas; Santo André (SP) no controle e erradicação da Dengue, mapeamento da Tuberculose e fiscalização da radiação dos aparelhos de raio X da cidade e dos locais onde há vendas de alimentos; São Paulo (SP) no controle de pontos geradores da Dengue, no mapeamento da AIDS; Paraguaçu Paulista (SP) no controle de atendimento médico nos hospitais e unidades de saúde do município. Estes são apenas alguns exemplos que foram levados ao conhecimento público, mas acredita-se que outros municípios brasileiros já estejam usando geotecnologias para gerar informações de modo a otimizar os recursos públicos.

O Núcleo de Estudos de Saúde Coletiva da Universidade Federal do Rio de Janeiro (NESC/UFRJ) é um bom exemplo de instituição que tem dedicado tempo no ensino, pesquisa e trabalhos de extensão universitária quanto a análise espacial em saúde. O diretor deste núcleo afirma *“as ferramentas de geoprocessamento e geoestatística permitem identificar e prever as áreas de maior risco de epidemia. Com isso os governos podem fazer ações preventivas ou de controle mais eficientes e mais baratas, pois vão direto ao ponto, otimizando os gastos públicos”*⁴⁷.

A distribuição espacial de dados de saúde é uma área nova na pesquisa médica, mas vem sendo bastante estudada. LIMA (2000)⁴⁸ propõe um sistema de apoio à decisão para otimizar a distribuição de infra-estrutura particular, em particular os serviços de educação e saúde, em cidades médias brasileiras. ANTUNES (2001) apresenta uma metodologia para o desenvolvimento de programas aplicativos ao um SIG, especificamente definindo a modelagem e a metodologia de aquisição dos dados espaciais para a emergência médica.

4.4.16 Telecomunicações

Recentemente, a Superintendência Executiva da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) anunciou que será investida, até o ano 2003, a quantia aproximada de R\$ 75 bilhões em telecomunicações em nosso país. O futuro é de expansão das telecomunicações, com otimização do uso de infra-estrutura instalada assim como ampliação das redes de cabos de cobre, fibra ótica, antenas, estações de rádio base e estações telefônicas. Tudo isso envolve dados, mapas e plantas que precisam ser em grandes quantidades, atualizados e de fácil acesso e visualização para todos os usuários. Isto indica que esse mercado é um nicho com grande potencial de negócios para quem trabalha com geo-informação, tanto a curto quanto em médio prazo.

Existe toda uma rede de infra-estrutura física e de dados que precisam ser conhecidas, administradas, expandidas, adaptadas e readaptadas com a demanda do mercado. As empresas de telecomunicações têm na Geotecnologia, onde o SIG está inserido, uma importante ferramenta de visualização, gerenciamento e planejamento. Como já foi apresentado anteriormente, o SIG é uma ferramenta que permite unir os dados alfanuméricos das redes externa e interna, a planta (com cabos, ligações e estações), o cadastro de clientes e potenciais clientes, os mapas digitais, com a velocidade de computadores e a análise através de softwares. As informações completas e

⁴⁷ REVISTA INFOGEO (ano 3, Nº 13, pág. 65)

⁴⁸ Projeto de Tese de Doutorado proposta pelo Engº Renato da Silva Lima à Área de Pós-graduação em Transportes do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP. O projeto é orientado pelo Prof. Associado Antônio Nelson Rodrigues da Silva.

confiáveis sobre suas redes, obtidas rapidamente, permitem as teles aproveitar melhor a capacidade instalada, reduzir custos, disponibilizar serviços, projetar alterações, atender aos clientes com qualidade, rapidez e oferecer cada vez mais soluções para seus problemas.

Para administrar todo este projeto, certamente a ANATEL e suas concessionárias precisarão lançar mão das geotecnologias com todas as suas variações. Neste sentido, o SIG será uma ferramenta de grande utilidade em todas as etapas do planejamento, gerenciamento e implantação de todo o projeto.

4.4.17 Segurança pública

O uso das geotecnologias vem ganhando a cada ano mais espaço e se fortalecendo com uma poderosa ferramenta de apoio às ações das Secretarias de Segurança Pública. Mesmo devido ao longo atraso, em relação aos países desenvolvidos, as autoridades vêm se conscientizando da potencialidade do uso do SIG na segurança. As capitais do Rio de Janeiro e Fortaleza lançaram-se pioneiramente no uso desta tecnologia integrando informações, em uma rede única, das polícias civis, militares e bombeiros. Quando ocorre a solicitação de uma chamada à central de atendimento, esta chamada é instantaneamente georreferenciada e as informações coletadas são inseridas em bancos de dados e transmitidos para uma rede comum que contata a viatura apropriada mais próximas para o atendimento.

Existe um potencial muito grande do SIG na Segurança pública. Um dos problemas que retardava este tipo de aplicação ainda era a fragilidade dos computadores portáteis que suportavam o cotidiano pesado das viaturas. Este tipo de problema já está praticamente resolvido com o surgimento de um novo hardware MW520 da Motorola resistente a impactos. Este tipo de equipamento já vem sendo oferecido com o I/CAD instalado, graças a uma parceria entre a Intergraph e a Motorola para a solução de problemas da área de Segurança Pública.

Conforme afirmação no início desta seção, o autor não teve a pretensão de esgotar todos os tipos de aplicações possíveis do SIG. Apresentaram-se apenas as aplicações que mantêm certo relacionamento com a linha de pesquisa em desenvolvimento ou aquelas que despertaram algum tipo de curiosidade. Uma vez mais, ressaltamos que os leitores interessados na diversificação da utilização desta tecnologia devem buscar nos mais variados tipos de veículos de comunicação.

4.4.18 Eventos

A potencialidade dos SIGs em eventos pode ser muito bem exemplificado quando da posse do novo presidente americano. Toda a cerimônia de posse foi monitorada por geotecnologias que integravam informações oriundas de diversas fontes. Toda a área geográfica em torno da Casa Branca foi monitorada e as informações coletadas eram enviadas para o National Imagery and Mapping Agency – NIMA. As informações vinham de agentes do FBI e policiais e também de câmeras localizadas em prédios próximos e em helicópteros. As imagens continham a movimentação de carros e pessoas que se dirigiam à cerimônia de posse e também todos os passos do novo presidente. O que temos aqui é um sistema integrador de informações e o geo poderia estar como apenas como uma ferramenta auxiliar.

Outras técnicas avançadas de computação podem ser usadas acopladas a este sistema. Por exemplo, as imagens digitais dos rostos das pessoas entrando em um determinado evento podem se comparadas com bancos de dados de imagens de supostos terroristas. Imagens aéreas podem

também ser comparadas com padrões que representem algum tipo de ameaça, como uma concentração excessiva de pessoas ou um congestionamento inesperado no tráfego. Este tipo de aplicação nos mostra algumas tendências das aplicações atuais. Uma é o uso de informações ao vivo, on-line, cada vez mais disponíveis e com usos que muitas vezes não conseguimos nem acreditar.

Mais uma vez o GPS surge como um instrumento de grande valia na localização e alimentador de coordenadas em um SIG. Podemos imaginar que em futuro próximo esteja disponível no mercado um veículo que tenha um GPS embutido e também uma câmera digital coletando imagens para estudo de padrões de tráfego ou informações sobre imóveis em uma determinada área.

4.5 Vantagens dos SIGs em relação aos métodos tradicionais de levantamento e gerenciamento do solo

Pode-se apresentar esta sessão nos seis maiores benefícios dados por um SIG:

1. **Segurança e mapa organizado:** Os SIGs são bancos de dados, centralizados num computador, de todos os dados de um mapa. Preferencialmente, uma pessoa ou um grupo de pessoas deve ficar responsável pela manutenção, integridade e atualização dos bancos de dados.
2. **Múltiplos mapas ajudam a eliminar problemas:** Um SIG contém um conjunto de dados de um mapa. Estes bancos de dados simples podem ser usados para apresentar vários mapas em diferentes escalas, mostrando diferentes níveis de detalhes e informações. De fato, o SIG pode manipular mais detalhes de um mapa do que era realizado no passado. O SIG pode também produzir mapas com combinações de informações que cobre uma variedade de temas. Isto significa dizer que a informação base de todos os tipos de mapas pode ser atualizada por uma simples tarefa de revisão.
3. **Revisão simplificada de um mapa:** Um SIG afeta dramaticamente a produção de croquis. As alterações podem ser realizadas simplesmente identificando o elemento a ser modificado ou testado. Necessita-se de menor tempo para realizar as revisões, significando um menor número de pessoas e menor custo para a realização de atualizações.
4. **Apresentação e análise simplificada dos dados:** Um SIG pode oferecer ao pesquisador uma poderosa ferramenta automatizada de análise para responder as questões levantadas. Estas ferramentas facilitam a análise dos dados para estudos especiais e na elaboração de relatórios. Na realidade, novos tipos de análises estão sendo desenvolvidos dia a dia. Em adição, o SIG pode rapidamente procurar através dos seus bancos de dados uma feição com certas características ou examinar relações espaciais entre feições. O SIG pode reduzir drasticamente o custo de produção de mapas e relatórios técnicos. O usuário pode ir diretamente de uma apresentação em tela de um resultado de análise até a impressão do mapa, gráfico ou de relatórios. Os mapas podem ser produzidos em qualquer escala, cobrir qualquer área e serem obtidos a partir de combinações de dados.
5. **Aumento de produtividade:** Sob certas circunstâncias, um SIG pode aumentar consideravelmente a produtividade dos funcionários que coletam os dados, manipulam, analisam e distribuem os dados do terreno. O aumento de produtividade pode ser possível em face de facilidades deles gastarem menos tempo nestas tarefas.
6. **Dados integrados dos mapas:** Um SIG oferece a oportunidade de ajustar todos os mapas e dados relativos aos mapas a um sistema comum de referência. Usualmente é

aplicado a um sistema Cartesiano X-Y de coordenadas, ou seja, os dados são alocados num plano.

Figura 4.6: Conceito de dados em comum de um SIG.
Adaptado de KORGE (1997).

4.6 O futuro dos SIGs

Especular sobre o futuro é uma tarefa árdua, mas as vezes torna-se necessário. No entanto deve-se ter em mente a possibilidade de se prever cenários ou situações que podem vir a se tornar motivos de grande constrangimento. Todavia, faremos apenas algumas colocações fundamentadas em fatos acontecidos que nos remetem ao exercício mental de imaginar o que teremos no amanhã.

Recentemente, uma das grandes preocupações dos diferentes segmentos de usuários da computação era o problema concernente ao “Bug do milênio Y2K”. No sentido de atender as necessidades dos usuários, foi criado no ano 2000 nos EUA um serviço de atendimento denominado **Management Information System (MIS)**. O problema do ano 2000 originou-se quando os programadores decidiram negligenciar os dois primeiros dígitos do ano, “19,” e armazenaram e calcularam somente datas considerando apenas os dois últimos dígitos do ano. Devido ao fato das datas serem relevantes em cálculos científicos e nas transações comerciais, omitindo-se os dois primeiros dígitos, reduzia-se o tempo na transferência de datas para a unidade central de processamento (CPU) e salvava-se espaço de memória no disco. Entretanto, com a chegada do ano 2000 os dois últimos dígitos “00” poderiam ser interpretados como sendo o ano 1900. Este fato poderia gerar um problema de grande relevância pois poderia levar a obtenção resultados totalmente errados na análise do tempo. Por exemplo, ao se tentar realizar a subtração entre os anos 1997 e 2000 poder-se-ia obter incorretamente o resultado de 97 anos ao invés de 3 anos. Certamente este tipo de erro levaria a interpretação errônea de resultados.

No ambiente MIS, o critério de se programar de maneira eficiente foi reduzir o último byte para salvar tempo e dinheiro. É bem claro nos dias atuais que a decisão no passado de se reduzir os últimos dígitos do número do ano levou a uma redução de tempo e dinheiro, mas a correção após o

ano 2000 tem demandado um custo considerável, chegando-se até questionar até quanto foi válida a decisão do passado. Somente após mais alguns anos que poder-se-á ter uma avaliação mais detalhada desta questão.

A cultura do desenvolvimento do SIG é completamente diferente do desenvolvimento do MIS. A fonte das informações tecnológicas do SIG deriva da computação gráfica e da cartografia assistida por computador e por linhas de pesquisas de diferentes áreas de conhecimento. Assim como o MIS, o SIG sempre procurou a melhor solução para economizar tempo de processamento e capacidade de armazenamento de dados. À medida que a tecnologia computacional veio sendo desenvolvida, as aplicações de SIG migraram dos grandes computadores (mainframes) para os computadores pessoais (PCs) e estações de trabalho.

Felizmente para várias aplicações de SIG o mais importante é saber *aonde* ocorreram os fenômenos e não saber *quando* eles aconteceram. A maioria das aplicações de recursos naturais é dependente de fenômenos físicos, associados com a paisagem ou com o tamanho da área geográfica que resistem com o tempo. Em outro extremo, aplicações geofísicas têm feições que resistem a escala de tempo geológico. Para estas e outras aplicações de SIG a dimensão temporal poderia ser ignoradas. Nas aplicações de SIG que requerem informações temporais, uma variedade de técnicas pode ser usada para acomodar a identificação do tempo. Para fenômenos que variam dinamicamente, como por exemplo, a poluição atmosférica e os afluentes dos rios exigem técnicas que possibilitem análises temporais dos dados de um SIG e por isso é uma área de contínua atividade de pesquisa.

Pelo fato dos cálculos de datas não serem essenciais nas aplicações de SIG, como eles são nas aplicações de um MIS, e pelo fato da tecnologia SIG apresentar-se se renovando a cada ano com novas técnicas, o problema do ano 2000 acarretou menos problemas que o esperado. Quanto ao problema do Y2K, as empresas responsáveis pelos programas se colocaram a disposição para resolver os possíveis problemas e muitas delas disponibilizaram softwares para corrigir os possíveis erros. Passado o problema, verificou-se que em muitos casos os próprios usuários foram capazes de solucionar os seus casos.

Deve-se ter em mente que apesar dos problemas enunciados, várias áreas de conhecimento podem valer-se da tecnologia SIG. O mercado ativo de SIG tem levado a uma redução dos custos e uma melhoria dos equipamentos de suprimentos e softwares que compõem o sistema. Estas melhorias resultarão em aplicações ainda mais amplas da tecnologia SIG por usuários de agências governamentais, educação, comércio e indústria.

A tecnologia SIG, como uma expansão da ciência cartográfica, tem aumentado a eficiência e poder de análise do mapeamento tradicional. Nos dias atuais, como a comunidade científica reconhece que as consequências do meio ambiente vão ser devido a atividade humana, o SIG tornou-se uma ferramenta essencial no esforço de entender os processos de variação global. As várias fontes de informações através de mapas e imagens de satélites podem ser combinadas para realizar uma simulação de iterações do complexo sistema natural.

Através do conhecimento de uma função de visualização, o SIG pode ser usado para produzir imagens – não somente mapas, mas croquis e outros produtos cartográficos. Estas imagens permitem aos pesquisadores e usuários a visualização de objetos em diferentes maneiras as quais nunca poderiam ser analisadas anteriormente.

Em quaisquer situações, seja no passado, presente e futuro, afirma-se que a sobrevivência de um Sistema de Informação geográfica depende de seus resultados positivos. Neste caso, os projetos que os aplicam devem ter claras as metas que se deseja atingir e os benefícios esperados. Uma forma de garantir que os benefícios de um SIG sejam totalmente atingidos é desenvolver um SIG específico para o caso analisado. Neste caso, indica-se que primeiramente deve-se definir as

aplicações desejadas e, a partir daí, desenvolver o SIG para o projeto. Agindo desta maneira minimizam-se os riscos de inviabilidade do investimento realizado. O termo “alta precisão” com a introdução dos equipamentos eletrônicos aparenta ser redundante, pois a precisão nominal dos instrumentos gira em torno de 1 a 10 segundos para medição angular e de 1mm + 1ppm a 5mm + 5ppm para medição de distâncias.

No ano de 2000 aconteceram dois fatos que certamente influenciarão o uso do SIG em futuro próximo. O primeiro foi o início de uma nova era no Sensoriamento Remoto com a disponibilização de imagens de alta resolução (1 metro em imagens preto e branco) dos satélites IKONOS 4. Estas imagens podem ser facilmente captadas por uma estação de recepção móvel, montada sobre um trailer, e os dados captados dos satélites são transmitidos diretamente para uma unidade de processamento baseada numa plataforma PC. Certamente esta idéia será, num futuro próximo, será adotada por empresas que manipulam grandes volumes de dados anualmente em processos de monitoramento. A grande questão que surge é: quais as reais aplicações dessas imagens no mercado de mapeamento? Certamente estas imagens serão de grande aplicação na medida em que forem disponibilizadas pelas agências responsáveis pelo serviço de distribuição.

Outro fator de grande importância, acontecido no ano de 2000, foi a desativação do efeito de degradação *disponibilidade seletiva*⁴⁹ das coordenadas dos satélites GPS. Esta decisão elevou a precisão instantânea do posicionamento horizontal da ordem de 100 metros para a ordem de 10 metros. Daí surge a questão: o que isso vai mudar no mercado de mapeamento? Certamente que isso contribuirá ainda mais nas aplicações de SIG, uma vez que a precisão instantânea do GPS sempre foi um fator limitante de seu uso.

Também no ano de 2000 foram colocados no mercado uns aparelhos denominados, de *Spatial Information Appliances (SIA)* que podem ser dispositivos portáteis, como por exemplo, um *Palmtop*, com capacidade de lidar com informações geográficas, ou melhor, com capacidade de lidar com localização. Geralmente, podem ser conectados à telefonia móvel e também ao Sistema de Posicionamento Global – GPS. Desta forma, podem contar com o suporte da Internet para fornecer serviços aos usuários. Já existem disponíveis mapas que podem ser instalados nestes aparelhos que serão de grande utilidade para as empresas prestadoras de serviços, tais como as empresas de telefonia e energia elétrica. Um problema a ser resolvido para melhorar a eficiência do uso destes aparelhos é quanto ao volume de dado que pode ser armazenado e o tamanho do software a ser instalado. Este problema, com certeza, será rapidamente resolvido pelas empresas que oferecem este tipo de serviço.

Em termos de mercado, espera-se um crescimento exponencial das aplicações das ortofotos e outros produtos da fotogrametria, imagens de satélites, GPS e equipamentos eletrônicos de Mensuração. Aumentando assim a oferta e qualidade dos dados, facilidades na comercialização e aquisição de imagens através da Internet. Estes fatos proporcionarão a crescente popularização das tecnologias levando ao aumento da demanda e diminuição nos custos do dado bruto.

É evidente que nos nossos dias a situação do trânsito nas grandes cidades, e em menores proporções nas cidades de médio porte, agrava-se a cada ano. A população vai sendo submetida, a cada ano que passa, a engarrafamentos cada vez maiores retendo as pessoas por horas dentro dos veículos. Este tempo perdido não tem recuperação e se considerarmos todo o tempo despendido ao longo de um ano, chegaremos a números espantosos. Se transformarmos o tempo perdido no trânsito em hora/trabalho, obteremos uma quantia considerável que o país perde com seus trabalhadores retidos em engarrafamentos. Qualquer solução que venha reduzir o tempo das pessoas nos engarrafamentos será sempre bem vinda e desejada por parte de todos. Neste sentido, cresce o

⁴⁹ Esta degradação de sinal advém do termo inglês Selective Availability e denominado no meio técnico como efeito SA.

anseio do uso do “e-carro”, ou seja, o carro com computador com conexão a Internet. O e-carro é a Internet móvel. Neste caso o veículo poderia receber um endereço IP de sua casa, que identificaria um computador ligado a Internet. Neste caso, o carro equipado com uma antena GPS (que indicaria a sua posição geográfica) teria condições de receber informações, via Internet, de qual seria a melhor rota para retornar para casa. Este tipo de solução oferecerá ao usuário a possibilidade de emitir e receber mensagens eletrônicas, fazer perguntas ao seu navegador, sintonizar um rádio ou conversar com alguém conectado a rede ou simplesmente com alguém usando um telefone. Isto é mais uma aplicação que o futuro aponta para a tecnologia SIG pois exigirá mapas digitais das cidades para a efetivação deste recurso tecnológico. Com certeza as esposas e filhos ficarão mais contentes com a presença mais efetiva dos pais nos lares, uma vez que terão rotas alternativas para fugirem dos problemas de trânsito.

Os últimos congressos nacionais e internacionais têm demonstrado que não estamos tão afastados dos países do primeiro mundo com relação as pesquisas em geoprocessamento. Muitos pesquisadores brasileiros têm participado de eventos de renome internacional com trabalhos de alta qualidade e que vem recebendo elogios por parte de especialistas de outros países. Isto nos alegra e ao mesmo tempo é um grande incentivo para que continuemos nossa caminhada. Os tópicos que vêm sendo muito explorados ascendendo novas fontes de pesquisas são: o gerenciamento espaço temporal, consultas visuais, o uso de ontologias para a integração de informações geográficas, modelagem de dados geográficos, bancos de dados relacionais estendidos (ou orientados-a-objetos), modelos de dados orientados-a-objetos para organizar a informação geográfica, cartografia baseada em SIG, SIG e Internet, análise espacial aplicando a geoestatística e a interoperabilidade e qualidade de dados. Estes são alguns dos tópicos considerados como a “coqueluche” do momento e promete ser pelos próximos anos.

Com isso, o futuro fica aberto ao esplendor da criatividade humana e pode-se imaginar que em curtíssimo prazo ter-se-ão nas mãos aparelhos de tamanho insignificantes, porém com uma capacidade de trabalho imaginável. Este passo será possível uma vez que o cada dia utiliza-se linguagem de programação que geram programas aplicativos cada vez menores e também a criação de bancos de dados e um SIG, em versão simplificada, e uma utilização inteligente da banda limitada disponível na conexão Internet neste tipo de aparelho. Em paralelo, conta-se com o suporte de versões mais avançadas, tanto de bancos de dados como do SIG, rodando no servidor e fazendo as conexões quando necessário. O mundo, tão rápido quanto se possa imaginar, estará em nossas mãos.

Do exposto, gostaríamos de fechar este capítulo apresentando uma argumentação de CÂMARA (2000) que nos parece conveniente e oportuna: a medida que avança a montagem de soluções corporativas de geo-informação, cresce a necessidade de técnicas de Análise Espacial, imprescindíveis para fazer bom uso desses grandes bancos de dados. Isso aponta para um cenário com grandes desafios e muita necessidade de atualização por todos nós. Ou seja, *se você pensa que sabe tudo de Geoprocessamento pense de novo*. Um bom teste de análise é a Figura 4.7 que apresenta uma visão das novas tecnologias de geo-informação. *Quantas destas você conhece ou pelo menos tem idéia dos conceitos chave?*. Se a resposta for limitada, não se desespere ainda. Por enquanto, você está na companhia da maioria da comunidade.

Figura 4.7: Tecnologias de Geoprocessamento.
Fonte: Adaptação de CÂMARA (1996).

No entanto, daqui a alguns anos, os especialistas e usuários com visão mais ampla terão nítida vantagem com relação aos produtores de mapas coloridos. As *páginas* do Centro de Geografia Computacional da Universidade de Leeds (www.ccg.leeds.ac.uk), do Centro de Ciência Social Habilitada Espacialmente da Universidade de Santa Bárbara (www.ncgia.ucsb.edu/csiss) e o material disponibilizado pelo INPE (www.dpi.in.br/geopro) são algumas excelentes fontes de informações que podem auxiliar no conhecimento das diferentes áreas de conhecimento de Geoprocessamento.

5 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL POR SATÉLITES

Este capítulo tem por objetivo apresentar um relato histórico resumido e as características básicas da tecnologia Sistema de Posicionamento Global por satélites artificiais.

***“O impulso de nosso conhecimento exige
relacionar a ordem do universo com Deus”.***
*(Max Plank, 1858-1947.
Prêmio Nobel de Física de 1918)*

5.1 Generalidades

Após o lançamento do primeiro satélite artificial, ocorreu uma transformação no conceito da determinação do posicionamento de pontos através da concepção da navegação apoiada em sinais de rádio emitidos por satélites artificiais. Um grupo de trabalho da Universidade John Hopkins, chefiado pelos Drs. W. Guier e G. Weiffenbach observaram a ocorrência do efeito Doppler quando da transmissão de mensagens de rádio da nave espacial russa SPUTNIK I, para as estações terrestres. Estes pesquisadores concluíram que a medida da variação do efeito Doppler é comparável à medida da variação da distância entre os satélites emissores e as estações terrestres receptoras dos sinais. A partir desta constatação, notaram que a ocupação de pontos de coordenadas conhecidas poderia gerar a determinação das órbitas dos satélites. Após estas conclusões, o Doutor Mclure também da Universidade John Hopkins demonstrou que a técnica, proposta pelos Drs. Guier e Weiffenbach, poderia ser utilizada de maneira reversa, ou seja, se as órbitas dos satélites fossem conhecidas então a posição de uma estação rastreadora poderia ser determinada a partir de observações da variação do efeito Doppler. O resultado imediato desta constatação levou os EUA e a antiga URSS, hoje Rússia, a uma corrida tecnológica para o desenvolvimento de um sistema que proporcionasse o posicionamento na Terra, a partir de informações emitidas por satélites artificiais. Neste texto dedicamos maior atenção na apresentação das características dos sistemas TRANSIT, GPS, GLONASS por serem os sistemas de grande aplicação no meio técnico, científico e privado. Também apresentamos o sistema GALILEO que é a grande promessa para futuro próximo e que é aguardado com muita expectativa pela comunidade de usuários.

5.2 Os Sistema de Posicionamentos Globais através de satélites artificiais

O resultado tecnológico da constatação do efeito Doppler foi o surgimento de uma nova concepção de um método de navegação. Em 1959, um grupo de cientistas da University of New Mexico sob a supervisão dos cientistas da University of John Hopkins, colocou em operação o U.S. Navy Doppler Tracking Network (TRANET) integrado por 18 estações rastreadoras localizadas em diversas partes do planeta, inclusive com uma estação no Brasil na cidade de São José dos Campos (SP). Estas estações foram instaladas para fins de estudos geodésicos e geofísicos. A partir daí, foi dado um grande passo para o desenvolvimento de toda a tecnologia do posicionamento através de satélites artificiais que passamos a descrever.

5.2.1 Sistema TRANSIT

Como resultado prático deste desenvolvimento teórico, a marinha norte-americana partiu para o desenvolvimento de um sistema de posicionamento que usasse o efeito Doppler. O conjunto de satélites e estações rastreadoras TRANET recebeu o nome de Navy Navigational Satellite System (NNSS), também conhecido como **sistema TRANSIT** ou simplesmente **TRANSIT**.

O Sistema TRANSIT foi criado a partir da tecnologia da década de 60 e foi muito usado principalmente para atender a navegação, apresentado também aplicações no estabelecimento de redes geodésicas e no levantamento de recursos naturais. Este sistema era composto por uma

constelação de quatro ou seis satélites a uma altitude da ordem de 1100km (580 milhas náuticas) com órbitas polares aproximadamente circulares. O sistema entrou em operação em 1964, tornando-se possível o seu uso para a comunidade civil apenas a partir de 1967. Este sistema trouxe uma inovação para o posicionamento geodésico em regiões remotas. O GEOCEIVER, um rastreador Doppler portátil, que inspirou a criação de muitos outros que vêm sendo empregados em Geodésia nas últimas décadas. Alguns dos primeiros satélites ainda estão em uso, decorrido mais de 30 anos. Esta tecnologia de posicionamento por satélites tem sido aplicada principalmente na navegação, na prospecção de recursos naturais e no estabelecimento do controle de redes geodésicas. É importante salientar que, desde o projeto original, a precisão do sistema foi melhorada para aplicações geodésicas pelo fator de 10^3 , ou seja, para o nível aproximado de 20 cm.

As forças armadas americanas desenvolveram esse sistema para determinar as coordenadas dos navios e aviões em manobras e/ou em serviços. O seu uso pela comunidade civil foi sendo autorizado ao longo dos anos, e com isso o sistema transformou-se numa técnica de grande aplicação para a navegação e para o posicionamento em todas as partes do mundo. Compunha-se de 18 estações rastreadoras terrestres, uma delas, a 008 localizada no Brasil, em São José dos Campos (SP). Este sistema é o antecessor imediato do atual sistema de posicionamento.

Após o advento e o sucesso do sistema TRANSIT, houve uma tendência de proliferação do uso das informações transmitidas pelos satélites. Com o intuito de controlar o uso destas informações, o Departamento de Defesa, a NASA e o Departamento de Comércio dos EUA resolveram criar o **Defense Navigation Satellite System (DNSS)**.

Mesmo que o TRANSIT tenha sido usado mais intensamente pela comunidade civil, a responsabilidade pela operação e controle do sistema era uma tarefa de responsabilidade da marinha americana. Embora este sistema tenha servido de maneira satisfatória a milhares de usuários por vários anos, ele apresentava uma série de limitações que são enumeradas a seguir, SEEBER (1993), LOGSDON (1995), KAPLAN (1996):

- ◇ fornece as posições de navegação, somente em duas dimensões: latitude e longitude;
- ◇ oferece pequena precisão para navegação: $\cong 200$ metros;
- ◇ a determinação da posição dos pontos só é possível durante um período aproximado de uma hora. Na realidade, essa janela é variável: na região equatorial chega a alcançar até duas horas e meia, e nas regiões polares apenas 30 minutos. De qualquer forma este fato apresenta-se como uma grande limitação;
- ◇ para cada satélite que trafega de horizonte a horizonte, o receptor obtém somente uma posição fixa. A determinação da posição é um processo que requer de 16 a 20 minutos de observação; este tempo pode ser ligeiramente superior, em função da elevação do satélite sobre o horizonte;
- ◇ todos os satélites transitam na direção norte-sul, o que proporciona uma menor precisão para os pontos próximos aos pólos.

5.2.2 Sistema GPS

Devido as suas limitações inerentes, os militares americanos pensaram em aprimorar o TRANSIT ou desenvolver um outro sistema de navegação por satélites com características superiores às descritas acima. Várias variações do TRANSIT original foram propostas pelos pesquisadores do Hopkins University Applied Physics Laboratory. Este programa de estudos de

melhoria foi denominado de *Timation*. Ao mesmo tempo, a Força Aérea Americana desenvolvia um programa similar baseado no posicionamento por satélites artificiais designado como *Sistema 621B*. Vide Figura 5.1.

Figura 5.1: Ilustração do histórico do sistema GPS.

Atualmente quando se fala em posicionamento por satélites o primeiro nome que vem em mente é o sistema GPS, ou simplesmente GPS, não por existir outras possibilidades mas pelo fato de que o GPS é melhor e mais eficiente na determinação da posição geográfica de um ponto.

O sistema GPS foi desenvolvido para substituir o TRANSIT. No início da década de 70, um grande número de variações de sistemas passaram a ser de responsabilidade do Departamento de Defesa americano (DoD). Visando aumentar a eficiência e redução de custos dos projetos, o governo americano decidiu e decretou unir vários projetos que estavam em andamento, através de um programa oficial governamental. O GPS foi um destes projetos que se formou a partir da união de projetos que eram desenvolvidos em paralelo. O GPS foi criado a partir de um programa oficial que se instalou na *Força Aérea Espacial e Organização de Mísseis*⁵⁰.

A Força Aérea Americana iniciou em 1973 o estabelecimento, desenvolvimento, testes, aquisição e desenvolvimento de veículos espaciais para este sistema de posicionamento. O atual Sistema de Navegação usando o tempo e a distância para posicionamento global (*NAVSTAR/GPS*)⁵¹ é o resultado da direção inicial tomada sob a direção do DoD. Desde então, o DoD é o departamento iniciador e responsável pelo GPS. Sem sobra de dúvidas que o objetivo do desenvolvimento deste sistema era militar, mas o governo americano decidiu habilitá-lo de modo a propiciar o seu uso por parte da comunidade civil.

Ao contrário do TRANSIT, o GPS oferece dados de navegação continuamente, em tempo-real, para todo o planeta. Os avanços tecnológicos nos últimos 20 anos significaram uma melhoria na precisão do GPS com relação ao TRANSIT. Algumas características de ambos são comparadas na Tabela 5.1. O sistema oferece uma razoável precisão na determinação da posição de pontos, e quando combinado com diferentes sistemas de navegação, sua versatilidade e precisão certamente apresentam uma sensível melhora.

⁵⁰ Joint Program Office (JPO) localizado na Air Force's Space and Missile Organization.

⁵¹ NAVigation System using Time and Ranging (NAVSTAR) Global Positioning System (GPS).

Tabela 5.1: Características dos sistemas GPS e do TRANSIT.

características	GPS	TRANSIT
altura da órbita	$\cong 20200$ km	$\cong 1100$ km
período	11h 57' 58,3" (tempo sideral)	105 min.
frequências transmitidas	1575,42 MHz ($\approx 19,05$ cm) 1227,60 MHz ($\approx 24,45$ cm)	150 MHz (≈ 200 cm) 400 MHz (≈ 75 cm)
dados de navegação	4D: X, Y, Z, t; (velocidade, aceleração)	2D: Φ , λ
disponibilidade	continuamente	$\approx 15 - 20$ min. por passagem
precisão	15 m (código-P/não SA), 0,1 nós	30 - 40 m e depende do erro de velocidade
constelação de satélites	21 - 24	4 - 6
geometria	constante	variável
relógio do satélite	rubídio, césio	quartzo

Desde o lançamento dos primeiros receptores GPS no mercado, ocorreu um crescimento do número de aplicações nos levantamentos topográficos, face às vantagens oferecidas pelo sistema quanto à precisão, rapidez, versatilidade e economia. Entretanto, vale a pena ressaltar que os métodos utilizados nos levantamentos são muito diferentes dos métodos usados na Topografia clássica. Sem sombra de dúvidas, o GPS é o maior avanço tecnológico, das últimas décadas, na navegação e no posicionamento desde o advento da bússola. Ele pode ser definido da seguinte forma: *"O Sistema Global de Posicionamento (GPS) é um sistema espacial de navegação, que foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA, que pode ser usado em quaisquer condições meteorológicas para satisfazer somente as necessidades das forças militares, de modo a determinar posição, velocidade e tempo em relação a um sistema de referência definido para qualquer ponto sobre ou próximo da superfície da Terra"*.

O GPS é um sistema de multi-propósitos, que permite ao usuário determinar sua posição expressa em latitude, longitude e altura geométrica ou elipsoidal; em função das coordenadas cartesianas X,Y,Z em relação ao centro de massa da Terra. É um sistema de navegação e de posicionamento que oferece uma alta precisão com muita rapidez. Quando se faz a determinação da posição de um ponto, as coordenadas geográficas são referenciadas em relação ao sistema de referência WGS84.

O GPS pode ser usado em qualquer aplicação que exija, informações sobre posicionamento, como por exemplo, navegação de frotas de caminhões, ônibus, trens, policiamento motorizado. Outras aplicações são funções de controle, já ativas na Europa e nos EUA. Portanto, podemos afirmar que este sistema trouxe a tona uma maneira revolucionária nas atividades que requerem a posição de um dado ponto e possibilitou o resgate de antigas concepções que puderam ser colocadas em prática, como por exemplo o desenvolvimento da agricultura de precisão que foi idealizada na década de 1920 e só recentemente aplicada no campo. Além de coordenadas, fornece uma componente relativa à medida de tempo. A grande vantagem é a sua capacidade de integração com outros sistemas. O GPS aliado a um sistema de coordenadas e informações geográficas produz mapas; aliado a mapas, facilita a navegação; aliado a mapas digitais ou a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e a um sistema de comunicação produz um sistema de controle. Um SIG tem por característica a velocidade na manipulação e a sua capacidade de associação do posicionamento geográfico com informações, permitindo integração, cruzamento e consulta utilizando recursos visuais e de armazenamento. Mas, o ponto chave destes sistemas é quanto à

aquisição de dados. Um SIG precisa de uma base geométrica, que pode ser fornecida através do GPS. Com o uso do sistema GPS pode-se alcançar grande velocidade e precisão na coleta dos dados, conduzindo a uma grande revolução no processo geodésicos.

Atualmente o GPS apresenta-se declarado completo, ou seja, a constelação já está completa oferecendo precisão, acurácia, continuidade, possível de ser usado em quaisquer pontos sobre ou próximo à superfície terrestre, posicionamento em três dimensões e informações de tempo e velocidade para usuários que tenham equipamentos apropriados. A Capacidade de Operação Inicial do SPS foi alcançada em dezembro de 1993, quando se obteve a constelação final mínima de 24 satélites em órbita. Embora a constelação final tenha sido obtida em março de 1993, somente em julho de 1995 é que o sistema GPS foi considerado de Capacidade de Operação Final.

O levantamento realizado com o GPS apresenta uma característica muito peculiar quando comparado com os métodos clássicos topográficos e geodésicos de posicionamento. Nos levantamentos topográficos e geodésicos é fundamental que as estações sejam intervisíveis para que seja possível a transferência de coordenadas entre os pontos. Nos levantamentos com o GPS as antenas receptoras coletam os dados de forma independente, ou seja, um receptor não precisa necessariamente saber se existem outros receptores coletando dados no mesmo instante. Daí a explicação de não haver necessidade de intervisibilidade entre estações. Outra característica importante é que ele pode ser utilizado sob quaisquer condições climáticas e a qualquer hora do dia, uma vez que os sinais podem ser captados 24 horas do dia.

A transmissão dos sinais dos satélites GPS utiliza uma sequência de modulação do espectro (DNSS). O DNSS oferece uma estrutura para transmissão de uma banda de sinais essenciais para dados de navegação tais como efemérides e condições dos satélites. Os sinais GPS são transmitidos em duas frequências diferentes: um primeiro sinal designado de L_1 e um segundo sinal designado de L_2 . Estes sinais são gerados sincronicamente. Cada satélite transmite dois tipos de códigos PRN: um código “curto” ou de “aquisição grosseira” (código C/A) e um código “longo” ou “preciso” denominado de código preciso (código P).

O GPS oferece dois tipos de serviços: o **Standard Positioning Service** - Serviço de Posicionamento Padrão (SPS) e o **Precise Positioning Service** - Serviço de Posicionamento Preciso (PPS). O SPS é designado para uso por parte da comunidade civil enquanto que o PPS é possível apenas por usuários autorizados pelo DoD. A precisão do posicionamento de pontos depende do tipo do serviço usado. A U.S. Coast Guard (Navigation Information Service Bulletin Board) indica que a precisão horizontal alcançada pelos usuários do SPS é da ordem de 100 metros (2σ - com um nível de confiança de 95%) a 300 metros e precisão vertical da ordem de 156 metros (2σ , 95%). Para os usuários do PPS, a precisão de 22 metros (2σ) na horizontal e de 27,7 metros (2σ) na vertical, com nível de confiança de 95%.

O DoD sempre teve conhecimento do potencial de precisão do GPS e a possibilidade de se obter posicionamentos mais precisos. Porém, por questões de segurança e soberania do país eles não se preocuparam em oferecer aos usuários civis estes serviços. Para tanto foram criados os efeitos de degradação de sinal. Devido a esta potencialidade de precisão no posicionamento, o DoD resolveu implementar dois fatores limitantes do posicionamento: *Antispoofing* (AS)⁵² na frequência de uso

⁵² O efeito AS é um mecanismo de degradação intencional de “desligar” o código-P ou invocar um código de encriptação que dificulte o acesso ao código-P aos usuários não-autorizados.

militar e o *Selective Availability* (SA)⁵³ na frequência de uso civil. É muito importante o leitor ter conhecimento destes tipos de limitações de precisão, antes que seja levado a cometer erros induzidos pela potencialidade da precisão possível pelo sistema. Por esta razão, a U.S. Coast Guard aplicou análises estatísticas no posicionamento absoluto com GPS e informa à comunidade de usuários que a precisão passível de ser obtida é dada conforme a seguir:

- ❖ ≈ 100 metros $\rightarrow$ 95% a 98% do tempo;
- ❖ < 50 metros $\rightarrow$ 65% do tempo;
- ❖ < 40 metros $\rightarrow$ 50% do tempo.

Na ausência do efeito SA percebe-se que na maioria do tempo a precisão do sistema GPS é inferior a 100 metros, mas não existe garantia para isso devido ao caráter randômico da degradação. A precisão dada pelo GPS é função do equipamento utilizado na operação de modo a garantir a repetibilidade dos resultados.

O serviço PPS tem acesso aos códigos C/A e P. A precisão horizontal e vertical é da ordem de 16 metros e 23 metros, respectivamente com uma probabilidade de 95%, HOFMANN-WELLENHOF et al. (1997). Conforme afirmação anterior, o serviço PPS foi preliminarmente criado para usuários militares americanos, agências governamentais americanas e usuários devidamente autorizados. Os usuários civis podem utilizar o código-P desde que tenham autorização expressa por parte do DoD. O acesso ao serviço PPS é controlado atualmente pelo efeito de degradação *Antispoofing* (AS). No meio técnico brasileiro esta degradação de sinal é reconhecida como efeito AS. No caso do SPS, somente está disponível o código C/A⁵⁴.

Até o mês de Abril de 2000 existia a incorporação do efeito de degradação de sinal SA e a precisão obtida no posicionamento absoluto era os valores acima citados. A partir de maio de 2000, o governo americano retirou a incidência do efeito SA de modo a garantir uma maior precisão para os usuários civis (vide Figura 5.2).

Figura 5.2: Precisão do posicionamento absoluto de pontos, sob e após a exclusão do efeito SA.

Fonte: www.spacecom.af.mil

⁵³ O efeito SA é um efeito degradativo do sinal e conseqüentemente das coordenadas finais do ponto observado. A degradação do sinal é conseqüente da manipulação, proposital de ocorrência randômica, dos dados referentes ao tempo de emissão do sinal e/ou das coordenadas dos satélites.

⁵⁴ C/A – Coarse Acquisition (fácil aquisição).

Após vários testes, realizados no ponto BASE-STT localizado no Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, verificou-se que a precisão horizontal absoluta variava da ordem de 5-15 metros. Maiores detalhes são apresentados na sessão 5.5.1. Esta variação é decorrente da geometria da constelação no momento da sessão de observação. A retirada do efeito SA não pode encarada como sendo de forma definitiva, pois não existe nenhuma garantia do governo americano que eles jamais não irão reativá-lo. Acredita-se que dependendo da necessidade, ou seja, em casos que comprometam a soberania nacional, o DoD venha a incrementar novamente este efeito de degradação de sinal.

O sistema GPS consiste de três importantes segmentos: o Espacial, de Controle e dos Usuários (vide Figura 5.3).

Figura 5.3: Segmentos do sistema GPS.

1. **Segmento Espacial:** O objetivo deste segmento é oferecer aos usuários as informações das efemérides dos satélites e do tempo que são necessários para a determinação da posição, da velocidade e/ou tempo de uma antena receptora. Durante a implantação do GPS foram estudadas várias conformações de constelação para garantir o caráter global. Após vários estudos definiu-se que o sistema seria composto por vinte e quatro satélites distribuídos em seis planos orbitais que interceptam a linha do Equador. Os satélites descrevem uma órbita elíptica com período orbital da ordem de 11 horas 57 minutos 58,3" segundos do tempo sideral e com isso a posição do satélite se repete, a cada dia, com uma defasagem de aproximadamente 4 minutos do dia anterior. Os planos orbitais apresentam uma separação de 60° com uma inclinação relativa de 55° à linha equatorial. A altitude média dos satélites é de 20.200km (10.898 milhas náuticas - nmi), que corresponde a uma elipse de semi-eixo maior da ordem de 26.600km, veja Figura 5.4.

Figura 5.4: Ilustração da configuração final da constelação de satélites do sistema GPS.

A identificação dos satélites pode ser feita de várias maneiras: quanto ao número seqüencial do lançamento *SVN*⁵⁵, quanto ao código *PRN*⁵⁶, quanto ao código da NASA e quanto a uma identificação internacional. Normalmente, o número do PRN é considerado e apresentado na tela dos receptores. Maiores informações sobre este assunto podem ser adquiridas em SEGANTINE (1998).

Desde os seus lançamentos, os satélites do sistema GPS foram classificados “por blocos” de acordo com as características físicas definidas no projeto. Historicamente foram e são assim classificados:

- ☒ Bloco I: satélites construídos para o desenvolvimento e pesquisas → do SVN1 até SVN11;
- ☒ Bloco II: satélites construídos para a operação do sistema → do SVN13 até SVN21. Estes satélites armazenam os dados de navegação por 14 dias;

⁵⁵ SVN – Space Vehicle Number (número do veículo espacial).

⁵⁶ PRN – Pseudo Random Noise (ruído falsamente aleatório).

- ☒ Bloco IIA⁵⁷: satélites construídos para a operação do sistema com uma tecnologia mais avançada que o anterior → SVN22 até SVN40. Estes satélites têm como característica a comunicação recíproca entre eles e a capacidade de armazenar os dados de navegação por 180 dias;
- ☒ Bloco IIR⁵⁸: satélites construídos para a operação e reposição dos blocos anteriores, quando atingirem a vida útil → SVN41 até SVN62. Apresentam por características a capacidade de medir distâncias entre eles (cross link ranges) e calculam suas efemérides transmitindo-as para as estações de controle terrestre e entre os satélites ativos.
- ☒ Bloco IIF⁵⁹: satélites construídos para operação e para reposição, apresentando características tecnológicas superiores aos blocos anteriores, com lançamentos previstos a partir de 2003.

A constelação atual (agosto/01) está composta por 29 satélites ativos. O último lançamento ocorreu em 30/01/01, com o satélite PRN18 (Bloco IIR-7). Existe um compromisso por parte do DoD de que a constelação mínima disponível seja de 24 satélites ativos, de modo a garantir a total operacionalidade do sistema. SEGANTINE (1998) apresenta um histórico dos últimos lançamentos do sistema. Maiores informações podem ser adquiridas através do uso do seguinte endereço, via ftp: *tycho.usno.navy.mil/pub/gps*.

Os satélites NAVSTAR são considerados, sob o ponto de vista de emissão de sinais, unidirecionais pois os sinais são somente emitidos pelos satélites. Os sinais que são transmitidos pelas antenas dos satélites e são recebidos pelas antenas receptoras dos usuários, onde estão sujeitos a vários tipos de interferência durante a sua propagação na atmosfera terrestre, como por exemplo, o atraso de propagação na ionosfera, o atraso de propagação na troposfera, multicaminhamento dos sinais antes de atingir a antena receptora, os efeitos marginais nos sinais devido à posição dos satélites no horizonte do observador, etc.

Um fato muito importante que garante a precisão e acuracidade do GPS é que todos os componentes dos sinais são precisamente controlados por relógios de partículas atômicas. A acuracidade da frequência padrão do sistema é um fator importantíssimo e é considerado o “coração do sistema”, que produz uma frequência fundamental de 10,23MHz. Todos os satélites do sistema transmitem continuamente os sinais em duas frequências e os componentes destes sinais são apresentados de forma resumida na Tabela 5.2

⁵⁷ **A** – advanced (avançado).

⁵⁸ **R** – replenishment (reabastecimento).

⁵⁹ **F** – follow-on (continuação). Também são considerados por muitos autores como sendo os satélites do “futuro”.

Tabela 5.2: Componentes dos sinais emitidos pelos satélites.

Componente	Frequência [MHz]
Frequência fundamental	$f_0 = 10,23$
Portadora L_1	$154 * f_0 = 1575,42 \quad (\approx 19\text{cm})$
Portadora L_2	$120 * f_0 = 1227,60 \quad (\approx 24,4\text{cm})$
Código-P	$f_0 = 10,23$
Código C/A	$f_0 / 10 = 1,023$
Mensagem de navegação	$f_0 / 204600 = 50 * 10^{-6}$

O código C/A é disponível para os usuários civis e é designado como o serviço SPS. Este código é somente modulado na portadora L_1 e propositadamente omitida na portadora L_2 . Esta omissão permite ao JPO controlar as informações transmitidas pelos satélites e então ativar os efeitos de degradações quando necessário reduzindo assim a precisão do posicionamento para os usuários não autorizados.

O código-P é reservado aos usuários militares americanos e usuários autorizados e este código é modulado pelas portadoras L_1 e L_2 .

Em fevereiro de 1996 a presidência americana expediu uma nota oficial garantindo e autorizando a aplicação do sistema GPS aos usuários civis. A partir desta iniciativa, o governo americano se comprometeu a desenvolver e a manter o sistema a uma precisão que satisfaça aos usuários em geral.

Em janeiro de 1999, o vice-presidente americano anunciou uma iniciativa de modernizar o sistema e adicionar duas novas portadoras nos futuros satélites que serão colocados em órbita. Este pronunciamento gerou uma grande expectativa por parte dos usuários civis, empresas privadas e a comunidade científica do planeta.

O primeiro passo concreto no sentido de melhorar a precisão do sistema será a colocação de mais um código na portadora L_2 e estará disponível para todos os tipos de usuários do sistema. A intenção é que este projeto comece a ser implementado nos satélites que serão lançados a partir de 2003. Em adição, o governo americano pretende implementar a transmissão de uma terceira portadora para garantir maior segurança à aviação civil. Esta portadora será transmitida na frequência de 1176,45MHz dentro da faixa do espectro alocado internacionalmente para os serviços de rádio-navegação aeronáutica. A intenção é que esta portadora seja incluída nos satélites a serem lançados a partir de 2005, veja Tabela 5.3.

Tabela 5.3: O novo programa de desenvolvimento do sistema GPS.

Programa / bloco GPS	Sinais civis	Sinais militares	Ano/ mínimo de 10 satélites
IIA/IIB todos em órbita	1	2	Constelação completa
IIR	1	2	2005
IIR 2ª. opção civil	2 nos últimos 12	2	2005
IIF 1-6	2	2	2009
IIF 7	3	2 + código novo	2012

Fonte: ION Newsletter Vol. 8, Number 4. Winter 1998/99.

2. **Segmento de Controle:** Quando o GPS estava sendo estudado para sua implantação, alguns dos projetos propostos consideravam que os satélites seriam guiados por bases terrestres, utilizando raio laser. No entanto, a solução definiu que os satélites transmitiriam, constantemente, informações relativas as suas posições e então as bases terrestres usariam estas informações de modo a obter o posicionamento dos mesmos.

O **Operational Control System (OCS)** consiste de uma **Master Control Station (MCS)**, **Monitor Stations (MS)**, e uma **Ground Control Stations (GCS)**. O OCS tem a responsabilidade de manter os satélites em suas posições orbitais e manter o funcionamento das placas solares, nível de energia das baterias, o nível do combustível necessário para a reposição dos satélites em suas posições e manter um número mínimo de satélites ativos para gerar as posições requeridas pelos usuários. Em adição, o OCS é responsável pelo controle dos relógios que são colocados nos satélites, o tempo de sincronização entre os satélites, o envio de mensagens e sinais para os satélites e a implementação ou desativação dos efeitos de degradação dos sinais.

A MCS está localizada na **Consolidated Space Operations Center (CSOC)** na **Falcon Air Force Base**, **Colorado Springs**, **Colorado**. A MSC coleta os dados de monitoramento das estações monitoras e calcula as órbitas dos satélites, as efemérides, os dados de almanaque, os parâmetros dos relógios para a navegação dos satélites. Estes resultados são então transmitidos para uma das três estações terrestres para a eventual transmissão para os satélites. A MSC pode também monitorar a configuração dos satélites e as estações terrestres, veja Figura 5.5.

Figura 5.5: Ilustração do segmento de controle do sistema GPS.

As estações monitoras são equipadas com dois relógios de partículas de Césio para referenciar o tempo GPS e dois receptores de dupla-frequência que mede continuamente a pseudodistância a cada 1,5 segundos para todos os satélites disponíveis no momento do monitoramento. Estes dados são corrigidos usando dados meteorológicos e ionosféricos de modo a produzir dados com intervalos de 15 minutos que serão transmitidos para a estação Master de Controle.

Existem 5 estações de monitoramento localizadas em Colorado Springs, Kwajalein, Ascension Island, Hawaii, e Diego Garcia, veja Figura 5.6.

Figura 5.6: Ilustração da distribuição geográfica das estações de monitoramento.

Fonte: <http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>

A estação de controle terrestre está localizada em Colorado Springs e em sintonia com as estações de monitoramento. As efemérides e as informações do relógio são calculadas pela estação master de controle e são enviadas, via rádio, para cada satélite de 1 a 3 vezes ao dia. Os principais objetivos das estações de controle são

- ◇ rastrear os satélites e fornecer suas posições periodicamente;
- ◇ corrigir as efemérides transmitidas e os erros dos relógios;
- ◇ determinar o tempo GPS; prever as efemérides e o comportamento dos relógios dos satélites;
- ◇ atualizar, periodicamente, a mensagem de navegação para cada satélites em particular;
- ◇ gerar dados para os cálculos das efemérides precisas.

O número de estações de monitoramento cresceu significativamente nos últimos anos com a participação de empresas privadas, institutos de pesquisas, universidades, agências governamentais e outros grupos de pesquisas espalhados em todo o mundo. Como exemplo podemos citar o International GPS Service (IGS), que iniciou suas atividades em 1994 e que funciona junto ao Jet Propulsion Laboratory (JPL), órgão este que trabalha em cooperação com o IGS e com o International Earth Rotation Service (IERS).

No Brasil, foram implantadas em Fortaleza (CE) uma estação de **VLBI**⁶⁰ e uma estação GPS de rastreamento contínuo que faz parte da rede global **CIGNET**⁶¹. Os dados coletados neste rastreamento são enviados para o IGS para serem considerados nos cálculos das efemérides precisas geradas por aquela instituição. Esta estação é o principal elo de ligação do Brasil com os sistemas referenciais internacionais. Em decorrência da permanente coleta de observações, ela permite o cálculo contínuo das coordenadas sobre a superfície terrestre, monitorando deste modo, as deformações da crosta terrestre. Desta forma é possível quantificar a variação temporal das coordenadas do Sistema Geodésico Brasileiro, proporcionando, assim, um referencial constantemente atualizado aos usuários. Os dados desta estação, podem ser solicitados junto ao INPE ou diretamente junto à coordenação da estação de Fortaleza.

Além da estação de Fortaleza temos a estação de Brasília e as estações do IBGE que fazem parte da Rede de Monitoramento Contínuo – RBMC, vide Figura 5.7. Esta rede é composta por 9 estações permanentes operadas diretamente pelo IBGE (Manaus, Imperatriz, Viçosa, Cuiabá, Porto Alegre, Curitiba, Presidente Prudente, Bom Jesus da Lapa e Brasília) e 1 estação operada pelo INPE (Fortaleza). Os dados coletados por estas estações podem ser requisitados junto ao IBGE ou diretamente com os responsáveis pelas estações. O IBGE tem planos para futuro próximo instalar as estações

⁶⁰ Very Long Baseline Interferometry é uma tecnologia de posicionamento de alta precisão de estações terrestres que servem como referência em trabalhos geodésicos e áreas afins.

⁶¹

de Salvador e Recife e outras estações para cobrirem todo o território brasileiro.

Figura 5.7: Estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, do IBGE.

A RBMC só tornou-se uma realidade graças à participação de instituições de ensino e agências governamentais tais como: A Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Paraná, Universidade Estadual Paulista, Universidade Federal de Viçosa-MG, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Pernambuco, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Escola Técnica Federal de Educação de Imperatriz-MA, Ministério da Marinha e CONDER.

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA – também tem uma rede de estações para coleta de dados GPS para uso em seus trabalhos de demarcação de terras. A Figura 5.8 ilustra a distribuição das estações no território brasileiro. Os dados coletados por estas estações podem ser adquiridos junto ao escritório central do INCRA em Brasília.

Figura 5.8: Rede Brasileira do INCRA.

3. **Segmento do usuário:** Consiste de milhares de receptores localizados no terreno, abordo de aviões e embarcações, etc. As antenas receptoras captam os sinais emitidos pelas antenas dos satélites para determinar suas posições, velocidade e medições do tempo.

Existem duas categorias básicas de usuários do sistema GPS: militares e civis. É importante salientar que o interesse em desenvolver o sistema de posicionamento global nasceu para atender aos interesses militares americanos. Existe na literatura um grande número de trabalhos que apresentam a aplicação da tecnologia GPS pelos militares, como por exemplo à coordenação de atividades de um grupo de infantaria no deserto utilizando receptores manuais; outro exemplo foi aplicação de receptores manuais no deslocamento das tropas aliadas durante a Guerra do Golfo em 1991. Uma lista parcial da aplicação do GPS inclui o controle da navegação aérea, marinha e veículos, medições ionosféricas, levantamentos cinemáticos, etc.

Nos dias atuais, os receptores GPS têm sido usados praticamente em todos os tipos de aplicações no controle de levantamentos geodésicos e topográficos. Vários testes foram realizados para garantir a precisão requerida pela Fotogrametria para a definição dos pontos de controle no terreno para a execução do mapeamento, no monitoramento do voo e posição de tomada da foto, etc. Vide Figura 5.9.

Figura 5.9: Ilustração dos diferentes tipos de aplicações do sistema GPS.

Várias empresas privadas vêm oferecendo atualmente mapas digitais e um sistema completo de localização que podem ser instalados em veículos a preços comparáveis a um bom sistema de som. Várias cidades dos EUA, européias e asiáticas estão equipando os seus veículos de atendimento de emergência com receptores e computadores com monitores que apresentam todo o sistema viário da região ou mesmo do país. A posição de cada veículo de atendimento de emergência pode ser enviada a uma central de atendimento via link de rádio. A estação central pode monitorar toda a movimentação dos veículos que detêm o sistema. Sistemas similares podem ser utilizados para monitorar trens, caminhões de carga, veículos de correio e entregas-rápidas e naturalmente aviões. No Brasil já temos, em algumas capitais, alguns destes tipos de serviços auxiliando nas atividades citadas. O leitor pode encontrar mais exemplos de aplicações do GPS em LOGSDON (1995), GPS World, NRC (1995), e Anais do Institute of Navigation (ION).

O GPS é dependente de um conjunto de satélites, chamados de NAVSTAR. Conforme afirmação anterior, a constelação atual é composta de pelo menos 29 satélites disponíveis 24 horas/dia, propiciando a sua utilização para qualquer local situado sobre ou próximo à superfície terrestre. Os satélites possuem internamente um conjunto de relógios de alta precisão (de partículas atômicas) para garantir a qualidade das informações que são transmitidas pelas antenas dos satélites que são captadas pelas antenas dos receptores dos usuários.

Um receptor manual ou uma antena receptora simples pode obter a poucos instantes após a ligação do instrumento a posição de navegação da antena receptora. Conforme dissemos anteriormente, sob a presença do efeito SA a precisão horizontal do posicionamento é da ordem de 100 metros, enquanto que sem a presença deste efeito a precisão fica da ordem de 5-15 metros em função da latitude do observador e da constelação no momento da observação. No posicionamento relativo, a precisão da posição do ponto a ser levantado pode alcançar a casa dos milímetros; esta precisão pode ser obtida desde que sejam tomados os cuidados apresentados por SEGANTINE (1995,1998), JONES (1997), KAPLAN (1997).

A alta precisão obtida pelo sistema GPS é resultado de cálculos complexos que levam em consideração as características das órbitas dos satélites, efeitos das camadas da atmosfera, etc. A precisão que pode ser obtida pelo sistema GPS é passível de ser aplicada em situações que requerem extremos cuidados e confiabilidade tais como no monitoramento de estruturas (ÇELEBI et al, 1998; BEHR, 1998) e no movimento da crosta terrestre (DONG ; DONG, 1989).

5.2.3 Sistema GLONASS

Originalmente, o sistema russo “Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (Global Navigation Satellite System - GLONASS)” foi criado para oferecer a um grande número de usuários militares e civis, portando antenas receptoras, as suas posições tridimensionais, velocidade e tempo em quaisquer condições atmosféricas para pontos sobre ou próximos da superfície terrestre.

O sistema GLONASS, ou simplesmente GLONASS, também é baseado numa constelação de satélites que continuamente transmitem os sinais em duas bandas de frequências que podem ser recebidas pelas antenas dos receptores dos usuários. Ele é muito semelhante ao GPS e ambos sistemas apresentam princípios comuns na transmissão dos dados e nos métodos de posicionamento. O interesse por este sistema veio na medida que resultados comprovaram que os dois sistemas se complementam.

Em 1982, o primeiro satélite GLONASS foi enviado à órbita e assim iniciou-se a instalação das etapas de testes e logo após foi implementado oficialmente todo o programa de lançamento.

Em 1990-91 os russos já tinham em órbita 12 satélites. Após um rápido desenvolvimento, o Departamento de Defesa da antiga Rússia declarou o sistema operacional em setembro de 1993 e apto a operar em segurança.

Em abril de 1994, os russos iniciaram o lançamento de sete satélites programados para os anos de 1994 e 1995 de modo a complementar a constelação. Desde o primeiro lançamento até abril/94, foram realizados 28 satélites através dos foguetes Proton da Base de Baikonur, Kazakhstan. Cada lançamento comportava três satélites.

Em 18 de janeiro de 1996 o governo russo declarou o Full Operation Capability (FOC) uma vez que se atingiu o total de 24 satélites em órbita em operação, oferecendo um posicionamento com precisão instantânea da ordem de 50 a 60 metros para os usuários civis com a probabilidade de 99.7% do tempo. Em 13 de outubro de 2000 foi realizado o último lançamento do bloco 29, composto de três satélites, totalizando até a presente data 85 satélites lançados ao espaço. O leitor pode obter mais informações a respeito do histórico dos lançamentos através da página da agência espacial russa (http://mx.iki.rssi.ru/SFCSIC/SFCSIC_main.html).

Em julho de 1996 o Ministro dos Transportes da Rússia ofereceu o sistema GLONASS para as autoridades da aviação civil internacional demonstrando assim o interesse do governo russo em manter o sistema em operação.

Em março de 1999, o governo russo declarou de forma oficial o interesse e o compromisso de manter o sistema GLONASS em operação. Esta medida trouxe de certa forma uma maior tranquilidade para os usuários civis pois a constelação estava apresentando um número decrescente de satélites, ou seja, inferior a número idealizado para a constelação.

No dia 13 de outubro de 2000 foi lançado o bloco 29 composto por três satélites. Estes entraram em operação em dezembro de 2000 e, naquela época, totalizaram 15 satélites em operação. Conforme o anúncio do governo russo, este número deverá aumentar nos próximos anos até 2003. A situação atual, julho/2001, apresenta uma constelação ativa composta de 7 satélites em operação. A Tabela 5.4 apresenta um histórico dos últimos lançamentos e a situação atual. Apesar das informações do governo russo sinalizarem positivamente quanto à manutenção deste sistema, percebe-se nesta tabela que o número de satélites ativos têm diminuído nos últimos, deixando muitas incertezas quanto ao futuro deste sistema. De uma grande promessa, o GLONASS passa a ser um grande tormento para as comunidades científicas e usuários civis e militares. Várias empresas investiram grandes somas no desenvolvimento de software, antenas, receptores e equipamentos acessórios e encontram-se com um grande dilema quanto ao futuro deste sistema.

Tabela 5.4: “Status” da constelação GLONASS (válido para o dia 06/07/2001).

Nº GLONASS	Nº cosmos	Posição no plano orbital	Canal da frequência	Data de lançamento	Data de operação	Status	Fim da vida útil
781	2317	2/10	9	24.07.95	22.08.95	Fora de operação	24.04.01
778	2324	2/15	11	14.12.95	26.04.99	Fora de operação	29.01.01
782	2325	2/13	6	14.12.95	18.01.96	operação	
779	2364	1/1	2	30.12.98	18.02.99	operação	
784	2363	1/8	8	30.12.98	29.01.99	operação	
786	2362	1/7	7	30.12.98	29.01.99	operação	
783	2374	3/18	10	13.10.00	05.01.01	operação	
787	2375	3/17	5	13.10.00	04.11.00	operação	
788	2376	3/24	3	13.10.00	21.11.00	operação	

Assim como o GPS, o GLONASS oferece dois níveis de precisão: um sinal de alta precisão - o Channel of **H**igh **A**ccuracy (CHA) - e o sinal de precisão padrão - o Channel of **S**tandard **A**ccuracy (CSA). Tal como o GPS, o sinal de alta precisão (CHA) é prerrogativa dos usuários militares enquanto que o sinal padrão (CSA) é liberado para os usuários civis. O sinal de alta precisão apresenta o efeito AS e esta sob o comando do Ministro de Defesa da Rússia. A precisão oferecida pelo serviço militar é similar às especificações do serviço PPS descritas no sistema GPS, ou seja, da ordem de 20 metros (2σ , 95% de probabilidade) no plano horizontal e de 35 metros (2σ), no plano vertical. Vários testes foram realizados e demonstraram precisões da ordem de 25 metros (2σ , 95% de probabilidade) no plano horizontal e de 45 metros (95% probabilidade) no plano vertical, vide Figura 5.10. Na prática, a precisão oferecida pelo GLONASS é melhor que os valores citados. O sinal de precisão padrão é disponível para qualquer tipo de usuário civil que tenha uma antena receptora capaz de captar sinais acima da linha do horizonte do observador.

Figura 5.10: (a) Precisão do sistema GLONASS; (b) Comparação na precisão do posicionamento entre os sistemas GPS e GLONASS.

A maior diferença entre os sistemas GPS e GLONASS é que o governo russo não tem a intenção de degradar o serviço CSA, enquanto que o governo americano degradou o serviço SPS por muitos anos e somente no ano de 2000 resolveu desligar o efeito SA. Conforme afirmação anterior, não existe um compromisso formal por parte do DoD que ele não venha a re-ativar o efeito SA.

Assim como o sistema GPS, o GLONASS é composto por três segmentos descritos a seguir:

1. **Segmento espacial:** A constelação original do sistema GLONASS consiste de 24 satélites sendo 21 ativos e 3 reservas, alocado em três planos orbitais cujo nós ascendentes apresentam um espaçamento angular de 120° entre eles. Cada plano orbital contém oito satélites igualmente espaçados com um ângulo de argumento de latitude de 45° . As órbitas são elípticas (aproximadamente circulares) com uma inclinação de $64,8^\circ$ em relação ao plano equatorial; os satélites apresentam uma altitude média de 19100 km com semi-eixo maior da ordem de 25440 km e com período de $11^0 15' 44''$. Cada satélite é identificado por

um par de números que indicam o plano orbital e a sua posição no plano orbital, como por exemplo (1-8, 9-16, 17-24). Vide Figura 5.11.

Figura 5.11: Ilustração dos planos orbitais do sistema GLONASS.

O último lançamento ocorreu em outubro de 2000 e desde aquela época não foram lançados mais nenhuns satélites. A grave crise econômica na Rússia tem comprometido todo o projeto espacial daquele país. Algumas alternativas têm sido apresentadas no sentido de preservar este sistema, mas nada tem sido concretamente realizado. Toda a comunidade científica e empresas privadas têm demonstrado grande preocupação quanto ao futuro deste sistema, uma vez que o número de satélites ativos em órbita tem diminuído nos últimos anos, conforme o que o foi descrito anteriormente.

2. **Segmento de Controle:** A estação-base de controle é responsável pelas seguintes atividades:

- (a) Medições e predições das efemérides dos satélites;
- (b) Emitir aos satélites as efemérides previstas, correções dos relógios e informações do arquivo almanaque na mensagem de navegação;
- (c) Sincronizar os relógios dos satélites com o sistema de tempo do GLONASS;
- (d) Calcular a diferença entre o sistema de tempo GLONASS e o UTC;
- (e) Comandar, monitorar, rastrear e manter os satélites em condições de perfeito uso.

O segmento de controle terrestre do GLONASS é totalmente instalado em território russo. O Centro de Controle Terrestre e o Centro de Controle de Tempo estão localizados em Golitsyno-2, próximo a cidade de Moscow. As estações de rastreamento e telemetria estão localizadas em St. Petersburg, Ternopol, Eniseisk, Komsomolsk-na-Amure.

3. **Segmento do usuário:** Assim como o GPS, os usuários do GLONASS já atingem a casa dos milhares de antenas receptoras espalhadas por todo o planeta seja no ar, mar ou terra. É importante frisar uma vez mais que o sistema surgiu para atender as necessidades militares e por último aos civis.

A marinha russa utiliza o sistema na navegação de submarinos, porta-aviões, navios com armas atômicas etc; a aeronáutica apresenta uma aplicação semelhante, ou seja equipando todos os seus veículos aéreos. O uso do sistema por parte dos militares tem por objetivo básico a localização de suas tropas. A aplicação do sistema por parte dos civis apresenta uma semelhança com as aplicações dadas pelos usuários ao sistema GPS, KAPLAN (1996).

O sistema de coordenadas das órbitas dos satélites GLONASS é definido de acordo com o sistema PZ-90 que é o Sistema Geodésico (SGS-85/SGS-90). O PZ-90 é similar em qualidade ao modelo da Terra utilizado pelo WGS84 usado pelo sistema americano GPS.

O GLONASS oferece o tempo em ambos sistema de tempo que é mantido em UTC de Moscou e no UTC Russo. As diferenças entre o tempo GPS e o tempo GLONASS apresenta uma pequena diferença em segundo.

Ao contrário do sistema GPS onde cada satélite transmite um único para de código PRN (código C/A e código-P) na mesma frequência num formato de acesso de códigos de divisão múltiplos (CDMA), os satélites GLONASS transmitem o mesmo par de códigos em diferentes frequências. Este processo é denominado como acesso de frequência de divisão múltiplos (FDMA), que é o mesmo método usado pelas estações comerciais de rádio e televisão. Os satélites GLONASS usam a técnica FDMA em ambas portadoras L_1 e L_2 . Isto significa que cada satélite transmite o sinal de navegação com sua própria frequência nas sub-bandas das portadoras L_1 e L_2 , ICD-GLONASS (1998). Pelo fato do GLONASS usar a técnica FDMA, garante uma menor possibilidade de ocorrência de interferência no sinal do que no sistema GPS, KAPLAN (1996).

Todos os satélites GLONASS transmitem simultaneamente em duas bandas de frequências de modo a permitir ao usuário condições de corrigir o atraso da ionosfera que ocorre ao longo do percurso percorrido pelo sinal emitido pela antena dos satélites até atingir a antena do receptor. Não obstante, cada satélite é definido para uma frequência particular dentro da banda de frequência a partir do número de frequência do canal de cada satélite. Estas diferentes frequências permitem aos receptores dos usuários identificar cada satélite. A frequência atual emitida pelos satélites pode ser derivada a partir do número do canal k aplicando a seguinte expressão:

$$(a) \text{ Banda de frequência } L_1 \rightarrow f_1(k) = 1602 + \frac{9}{16}k \text{ MHz} \quad (5.1)$$

$$(b) \text{ Banda de frequência } L_2 \rightarrow f_2(k) = 1246 + \frac{7}{16}k \text{ MHz} \quad (5.2)$$

Originalmente, k é uma constante inteira para cada satélite e varia de 0 a 24. Os russos propuseram alterar os valores de k devido algumas interferências causadas por medições de rádio astronomia. Os valores propostos são, (KAPLAN, 1996; ICD-GLONASS, 1998):

- ⇒ Até 1998: $k = 0$ to 12;
- ⇒ 1998 to 2005: $k = -7$ to 12;
- ⇒ Depois de 2005: $k = -7$ to 6.

Aplicando os valores de k nas equações (5.1) e (5.2) define a *perda de correlação*. Este termo pode ser definido como sendo a diferença entre a potência do sinal transmitido em

(1598,0625 ... 1605,375)MHz $\pm$ 0,511MHz para L_1 e (1242,9375 ... 1248,625)MHz $\pm$ 0.511MHz para L_2 , e a potência do sinal recebido. O pior caso de perda de correlação ocorre quando $k = -7$ ou $k = 12$, ICD-GLONASS (1998).

Os satélites GLONASS modulam a mensagem de navegação através da modulação dos códigos-C/A e o código-P com “chips” de alcance de 586,7 metros e 58,67 metros, respectivamente. Os satélites também transmitem informações de suas efemérides, almanac de toda a constelação e correções dos parâmetros da escala do tempo.

Os valores das efemérides são estimados pelo Centro de Controle Terrestre para o período de 24 horas e os satélites transmitem um conjunto atualizado de efemérides a cada 30 minutos. O arquivo de almanac é atualizado pelo menos uma vez por dia.

Os russos planejam algumas alterações no programa GLONASS em futuro próximo. As alterações incluem melhorias no segmento de controle terrestre, possibilitar uma maior número de serviços diferenciais e melhorias no segmento espacial.

5.2.4 Sistema GNSS

O Global Navigation Satellite System – GNSS – é o resultado da junção dos sistemas GPS e GLONASS com a finalidade de garantir melhoria na geometria, disponibilidade para todas as regiões do globo, integridade e confiança aos usuários. O desenvolvimento do sistema GNSS passa por duas considerações distintas:

1. na primeira etapa será desenvolvida a geração GNSS-1 que consistirá da ampliação dos sistemas GPS e GLONASS. Neste contexto, podemos afirmar que todo o sistema WAAS faz parte desta primeira etapa e já está em pleno funcionamento, apesar dos problemas enfrentados em sua implantação;
2. na segunda etapa será desenvolvida a geração GNSS-2 que resultará num sistema completamente novo, com uma nova tecnologia para os satélites e os meios de comunicações. O controle deste sistema será realizado por uma comissão civil internacional visando atender a comunidade civil.

Segundo MONICO (2000), a geração GNSS-1 é composta por dois componentes principais:

- ❖ **Satellite Based Augmentation System – SBAS⁶²**: são sistemas regionais ampliados do GPS e/ou GLONASS, compostos por satélites geoestacionários (para cobrir uma área operacional) e do segmento de controle para sustentar a aviação civil e militar, em todas as fases de operação de vôo. Foram previstas, inicialmente, três SBASs: o WAAS nos EUA, o **EGNOS⁶³** na Europa e o **MSAS⁶⁴** no Japão.
- ❖ **Ground Based Augmentation System – GBAS**: estes sistemas fazem parte da segunda componente do GNSS-1 que serão instalados próximos aos aeroportos com o objetivo de melhorar a segurança nos procedimentos de pouso e decolagem de aeronaves. Um GBAS é composto por pelo menos uma estação de referência, uma ou mais estações monitoras e vários transmissores, chamados de pseudo-satélites, que transmitem sinais semelhantes aos sinais GPS.

⁶² Traduzido como Sistema Aumentado Baseado em Satélites.

⁶³ European Geostationary Navigation Overlay Service.

⁶⁴ Japanese Multi-function Transportation Satellite Augmentation System.

Conforme afirmação anterior, o GLONASS vem passando por vários problemas quanto a sua manutenção em face dos problemas econômicos da Rússia. O número de satélites ativos vem diminuindo pelo fato dos satélites atingirem a sua vida útil e o cronograma de reposição não tem sido atendido. O número atual de sete satélites ativos deixa toda a comunidade de usuários preocupada com o futuro deste sistema. A consequência imediata deste fato é o comprometimento com o GNSS-1 que foi criado para compor e melhorar os sistemas GPS e GLONASS. Desde o ION'GPS 98, Tennessee – EUA, vários trabalhos têm apresentado preocupações com o futuro do GLONASS e o comprometimento com o GNSS-1. Daí, surgiu a proposta do desenvolvimento de um novo projeto, denominado de GNSS-2 como uma solução alternativa para atender as necessidades não alcançadas pelo GNSS-1.

5.2.5 Sistema GALILEO

Nos últimos anos a comunidade científica, empresas privadas e agências governamentais européia têm dedicado um tempo considerável no estudo quanto a viabilidade da implantação de um sistema de posicionamento voltado para os interesses daquela região. Este movimento vem crescendo desde o ano de 1988 devidos alguns fatores apresentados a seguir:

1. os EUA não têm permitido a participação efetiva de outros países no controle do sistema GPS;
2. os problemas na economia da Rússia não têm permitido manter o sistema GLONASS em operação plena. Com isso, o único sistema que vem atendendo aos usuários de todo o mundo é o GPS;
3. A liberdade de ação do governo americano nas decisões do sistema GPS cria uma dependência de todos os usuários a este sistema. Isto têm causado constrangimentos a toda comunidade, em especial os países europeus e asiáticos que se sentem subjugados ao domínio americano neste campo tecnológico;
4. os conflitos bélicos mundiais sempre ocorreram em territórios europeus e asiáticos. Apesar do fim da guerra fria entre os EUA e a Rússia, ainda persiste em alguns países europeus o temor de um conflito naquela região, ou próxima, e os países envolvidos estariam totalmente dependentes do sistema GPS em suas ações;
5. o número crescente de usuários aponta para um mercado muito promissor para indústria de receptores. A União Européia entende que os investimentos na implantação de um sistema de posicionamento serão rápido e facilmente recuperados pelos países participantes do empreendimento;
6. os países participantes do projeto terão uma independência tecnológica na área de posicionamento e terão sua rede DGPS, WASS e LASS relativos aos sistemas projetados.

Em face dos problemas expostos, a União Européia propôs, em fevereiro de 1999, que os países membros participassem do desenvolvimento de uma constelação de satélites para fins de posicionamento. Após um intenso trabalho do Fórum Europeu do GNSS-1, em junho de 1999, o Ministério dos Transportes da União Européia concordou com a fase de definição de um sistema denominado de GALILEO, uma valiosa contribuição européia para o sistema GNSS-2.

O sistema GALILEO terá características semelhantes e será totalmente compatível com o GPS e GLONASS, porém será totalmente independente. Uma vez terminada a fase de definições do projeto, o cronograma assinala a existência de uma constelação inicial de até 5 satélites em

operação em torno do ano 2003, o início de implementação deve ocorrer por volta de 2005 e a fase operacional deve ser completa até 2008.

A implantação deste sistema contará com o orçamento da Agência Espacial Europeia – ESA⁶⁵ - e da Rede de Transporte Europeia – TEN⁶⁶ - de fundos adicionais de outras agências europeias, de cooperação internacional com outros países tais como o Japão, Canadá e Rússia e investimento privado. Informações adicionais podem ser adquiridas em MONICO (2000), HANCART (1998), ASHKENAZI (1998a), ASHKENAZI (1998b).

5.3 Limitações do GNSS

Teoricamente, o GNSS oferece posições de pontos em 3D por 24 horas, sob quaisquer condições de tempo. Mas apesar disso, o sistema apresenta algumas limitações apresentadas a seguir:

- ◇ A captação dos sinais emitidos pelo sistema GNSS é uma atividade realizada quase em sua totalidade a “céu-aberto”. Geralmente, as antenas receptoras são posicionadas em locais que não exista obstrução a captação dos sinais, ou seja locais onde os sinais emitidos pelas antenas dos satélites possam alcançar diretamente as antenas receptoras instaladas nos locais onde se deseja conhecer suas coordenadas. Deve-se evitar locais que de alguma forma existam obstáculos que dificultem a recepção integral dos sinais pelas antenas ou objetos que interfiram na qualidade do sinal originalmente emitido. Estes efeitos certamente interferem na qualidade do resultado final das coordenadas dos pontos medidos;
- ◇ É necessária a captação de sinais de pelo menos 4 satélites de modo a possibilitar a determinação da posição do ponto. A acurácia da posição deste ponto é função da geometria dos satélites no momento da observação. Então, um mínimo de quatro satélites deverá estar disponível e relativamente espalhados no horizonte do observador. A diluição da precisão (DOP) é um parâmetro que representa a qualidade da geometria dos satélites. Quando os satélites estão bem distribuídos no espaço, a posição gerada será mais precisa do que quando os satélites apresentam-se muito agrupados ou alinhados no espaço. Maiores informações podem ser obtidas em WOFMANN-WELLENHOF et al. (1997), LEICK (1995);
- ◇ As obstruções que bloqueiam a luz solar podem efetivamente bloquear os sinais do GNSS. Estes sinais podem ser absorvidos quando ultrapassam alguns materiais – a este fenômeno designamos de *atenuação do sinal*. Os sinais podem ultrapassar através de uma folhagem e sofrer uma atenuação julgada como média. Entretanto, o sinal pode não ultrapassar uma peça de madeira de alguns centímetros de espessura, tais como árvores. Nestes casos, pode-se afirmar que a presença de árvores afeta a recepção dos sinais através da atenuação e em alguns casos isto pode ser tão grave que ocorre uma alteração do número de satélites que estão em sintonia com a antena receptora. A consequência deste fator é alterar os valores dos fatores DOP no momento da observação;
- ◇ A tecnologia GNSS é mais indicada na obtenção de dados que outras tecnologias, mas não particularmente indicada em algumas situações, como por exemplo, à determinação da posição de um canto de uma edificação, uma vez que a própria edificação pode interferir na obstrução dos sinais. Em adição, pode-se citar a

⁶⁵ European Spacial Agency.

⁶⁶ Trans-European Networks.

interferência causada pela presença de árvores, passarelas e outros tipos de construções que podem bloquear a linha de visada entre a antena do satélite e a antena do receptor do usuário. Estes tipos de casos são muito comuns de acontecerem em zonas urbanas e refletem diretamente na limitação do sistema GNSS em aplicações de SIG, uma vez que a precisão da posição dos pontos levantados fica prejudicada pela presença de árvores e construções próximas aos pontos medidos. O sistema GNSS sempre garante melhores precisões em locais a “céu-aberto” a locais onde existam as presenças de objetos que interfiram de alguma forma na recepção dos sinais;

- ◇ A instalação das antenas dos receptores próximas a objetos ou ao solo pode criar situações do surgimento de um efeito denominado de **multicaminhamento**⁶⁷. O efeito do multicaminhamento é causado pela inabilidade da antena receptora reconhecer os sinais que foram emitidos diretamente das antenas dos satélites e os sinais resultantes de reflexões que atingem a antena de forma indireta. Maiores informações sobre este tipo de efeito podem ser obtidas em WOFMANN-WELLENHOF et al. (1997), SEGANTINE (1995) e LEICK (1995);
- ◇ A influência dos efeitos SA e AS aplicados pelo Departamento de Defesa dos EUA – DoD. O objetivo do efeito SA é degradar a acurácia da posição de navegação através das alterações nas informações do tempo de emissão dos sinais pelos satélites e/ou nas alterações das efemérides transmitidas. Em outras palavras, os sinais são alterados de forma a oferecer uma precisão horizontal de navegação da ordem de 100 metros aos usuários civis. O efeito AS atua na encriptação do código-P. Os receptores militares do código-P(Y) não são afetados pelo efeito AS, mas não são instrumentos disponíveis ao público em geral sendo somente disponíveis aos usuários autorizados pelo DoD.

5.4 Dados observados com o GNSS

Os dados observados com o GNSS são distância deduzidas a partir da medição do tempo ou diferenças de fases baseadas na comparação entre os sinais recebidos e os sinais gerados internamente pelos receptores. O GNSS usa o conceito **pseudodistância**⁶⁸ porque as distâncias são influenciadas pelos erros dos relógios dos receptores e dos satélites.

Existem dois tipos de dados observados com o GNSS: pseudodistâncias derivadas a partir de códigos e por fase da portadora. O conceito de códigos (pseudodistâncias) é frequentemente usada em aplicações de navegação, enquanto que o conceito de fase da portadora é mais favorável para aplicações que requerem maiores precisões. A acurácia da pseudodistância é da ordem de um metro, mas pode-se obter melhores resultados através de estratégias de correlação e/ou de suavização. Enquanto que a acurácia da fase da portadora pode ser da ordem de alguns milímetros.

A pseudodistância calcula a distância entre as antenas dos receptores e as antenas dos satélites considerando o tempo de percurso do sinal entre as antenas emissoras e receptoras. Vide Figura 5.12.

⁶⁷ Multicaminhamento advém do termo inglês *multipath*.

⁶⁸ Pseudodistância advém do termo inglês *pseudorange*.

Figura 5.12: Pseudodistâncias para cinco satélites.

A medição da distância, ρ_k^{SV} , onde SV é o número do satélite e k é o nome ou número da estação, é calculada em função do tempo de viagem do sinal entre a antena do satélite e a antena do receptor multiplicado pela velocidade da luz. Isto corresponde a medição da distância da posição do satélite na época t^{SV} e a posição da estação na época t_k . Então, a distância ρ_k^{SV} é função de duas épocas diferentes, isto é, do tempo de emissão e do tempo de recepção do sinal.

$$P_k^{SV} = (t_k - t^{SV}) * c \quad (5.3)$$

A equação (5.3) representaria a distância geométrica entre a antena do satélite e a antena do receptor no tempo de emissão e recepção se o sinal percorresse livremente o vácuo e se não existissem erros de relógios e outros tipos de fatores internos e externos. Levando em consideração todos estes fatores apresentados, Leick (1995) apresenta uma expressão completa para a estimativa da pseudodistância

$$P_K^{SV}(t_k) = \rho_k^{SV}(t_{r,k}) - c(dt_k - dt^{SV}) + I_{k,P}^{SV}(t_k) + T_k^{SV}(t_k) + d_{k,P}(t_k) + d_P^{SV}(t_k) + \varepsilon_P \quad (5.4)$$

onde:

- $P_k^{SV}(t_k)$: representa a medição completa para a pseudodistância de um satélite (SV) e uma estação k no tempo t_k ;
- $\rho_k^{SV}(t_k)$: representa a distância geométrica (topocêntrica) calculada a partir do tempo de percurso do sinal da antena do satélite (SV) até a antena do receptor na estação k no tempo t_k ;
- $I_k^{SV}(t_k)$ e $T_k^{SV}(t_k)$: representa as componentes da ionosfera e troposfera. Os valores numéricos destas variáveis são sempre positivos e são funções do tempo e das condições da atmosfera percorrida pelo sinal;
- $d_{k,P}(t_k)$ e $d_P^{SV}(t_k)$: representa a contribuição dos ruídos gerados internamente no satélite e no receptor;

$d_{k,P}^{SV}(t_k)$: representa o multicaminhamento dos códigos que dependem da geometria (características) da antena e da geometria dos satélites em relação aos objetos próximos à antena receptora;

ε_P : representa a contribuição de ruídos aleatórios nas medições.

A distância topocêntrica $\rho_k^{SV}(t_k)$ pode ser estimada da seguinte expressão

$$\rho_k^{SV}(t_k) = \sqrt{(u^{SV} - u_k)^2 + (v^{SV} - v_k)^2 + (w^{SV} - w_k)^2} \quad (5.5)$$

As coordenadas Cartesianas (u^{SV}, v^{SV}, w^{SV}) referem-se a posição do satélite no instante da emissão do sinal e (u_k, v_k, w_k) referem-se a posição aproximada da antena receptora, na estação k .

5.5 Métodos de posicionamento

O termo posicionamento diz respeito à posição de objetos relativos a um dado referencial. Quando o referencial é o centro de massa da Terra (geocentro), diz-se que o posicionamento é *absoluto*. Quando o referencial é um ponto materializado de coordenadas previamente conhecidas, diz-se que o posicionamento é *relativo*. Quando o objeto a ser posicionado está em repouso, diz-se que o posicionamento é *estático* e quando o objeto está em movimento diz-se que o posicionamento é *cinemático*. Nota-se que é possível realizar combinações de posicionamentos com os conceitos descritos. A tecnologia GPS propicia o posicionamento de pontos aplicando a combinação dos conceitos apresentados.

Existem alguns conceitos básicos que causam algumas dúvidas quanto aos métodos de posicionamento. A seguir, são descritos de forma resumida alguns conceitos importantes para o entendimento dos métodos de posicionamento com o sistema GNSS.

1. **Tempo real:** as coordenadas da posição do ponto são obtidas no campo no momento da observação quando se passa pelo ponto ou se instale a antena sobre ele. Estas coordenadas são obtidas a partir do recebimento de correções diferenciais emitidas pela estação de referências. Estas correções diferenciais são emitidas via *link* de rádio.
2. **Absoluto ou Instantâneo:** a posição do ponto é obtida pela observação de uma época. O conceito original do sistema GNSS concentrou esforços no sentido de garantir a posição de navegação de um veículo em movimento (isto é, um navio, carro, avião etc) através da medição de pseudodistâncias.
3. **Pós-processamento:** a posição do ponto é obtida pelo processamento dos dados após a coleta em campo. Normalmente, os dados não são processados no campo e as medições dos diferentes pontos são combinadas a partir do uso de um software de processamento.

Conforme apresentado na sessão 5.2.2, o sistema GPS oferece dois níveis de serviço para o posicionamento de pontos:

- (1) o serviço SPS de acesso livre aos usuários civis;

(2) o serviço PPS para os militares americanos ou usuários autorizados pelo DoD.

Para os usuários do serviço SPS somente o código C/A é disponível. O serviço PPS tem acesso a ambas portadoras transmitidas.

5.5.1 Método absoluto (instantâneo) ou por pontos simples

O posicionamento por ponto simples ou posicionamento absoluto (instantâneo) é o método o qual as coordenadas dos pontos são obtidas usando apenas uma antena receptora medindo pseudodistâncias, derivada do código C/A presente na portadora L_1 , de pelo menos quatro satélites. Este método é normalmente usado na navegação no qual uma embarcação possuindo uma antena pode alcançar, atualmente após a desativação do efeito SA, a sua posição com precisão horizontal da ordem de 15 metros. Vide Figura 5.13.

Figura 5.13: (a) Repetibilidade da estação BASE-STT, pelo método de posicionamento absoluto; (b) antena sobre o STT/EESC/USP.

Esta figura foi obtida a partir de dados coletados, de 20 sessões de observações, na estação BASE-STT. Esta estação é equipada com uma antena Leica modelo AT309, montado sobre uma torre metálica estável sobre a laje de cobertura do Laboratório de Mensuração no Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos –STT/EESC/USP. Esta estação foi criada com o intuito de servir com estação de referência para a região da cidade São Carlos –SP em trabalhos que concernem na implantação de marcos GPS para fins de pontos de controle, levantamentos e cadastros. Os dados são coletados no período de 8:00h às 18:00h. Ela funciona diariamente coletando dados, a taxa de 10 segundos, e são armazenados pelo período de 15 dias em equipamentos PC. Após este prazo, os dados são gravados em CDs e os interessados podem adquiri-los junto ao STT/EESC/USP com os responsáveis pela manutenção da estação.

A precisão deste tipo de posicionamento é degradada pela acurácia dos parâmetros transmitidos nas mensagens de navegação, de erros da medição da pseudodistância, da refração atmosférica e ionosférica, efeitos do multicaminhamento, erros do relógio do receptor, etc. Devido a este fato não se aplica este método de posicionamento em trabalhos geodésicos, pode ser utilizado em trabalhos de SIG que não exijam precisões inferiores à estes valores.

No posicionamento absoluto utilizam-se as *efemérides transmitidas*⁶⁹ pelos satélites relativas ao sistema de referência do sistema GPS, que é o **WGS84 (G873)**⁷⁰. Quando necessário e possível, pode-se realizar o pós-processamento dos dados utilizando-se as efemérides precisas e as correções para os relógios dos satélites produzidos pelo IGS, ambos com precisão centimétrica.

5.5.2 Método estático

O método estático significa que durante a sessão de observação a antena do receptor considerado como referência e as demais antenas instaladas sobre os pontos a serem medidos deverão ser fixas durante a coleta dos dados, vide Figura 5.14. O método estático usa o conceito relativo para a determinação das coordenadas.

O posicionamento relativo é possível quando duas ou mais antenas são usadas para coletar códigos ou fases, simultaneamente, de um conjunto de satélites durante um determinado intervalo de tempo. As medições para todas as antenas são diretamente combinadas para melhorar a precisão da posição. O usuário deve conhecer com o máximo de precisão possível a coordenada do ponto a ser considerado como referência no processamento. Estas coordenadas devem ser referenciadas ao WGS84 ou num sistema que seja compatível com este.

⁶⁹ Advém do termo inglês *Broadcast Ephemerides*. Representa um conjunto de informações, emitidas em forma de ondas de rádio pelas antenas dos satélites, captadas pelas antenas dos receptores dos usuários. As informações são relativas as posições e do sistema de tempo dos satélites em tempo real.

⁷⁰ Maiores informações a respeito deste sistema de referência estão apresentadas no item 6.5.

Figura 5.14: Método de posicionamento estático.
Cortesia Leica.

Após a coleta dos dados, o usuário precisa processar os dados coletados para obter as coordenadas dos pontos. As coordenadas dos pontos são calculadas a partir, ou seja relativa, da estação tomada como referência para uma ou mais estações a ser conhecida a sua posição. A linha que une a estação de referência e a estação a ser conhecida define um *vetor*. Este vetor é normalmente conhecido como **linha base**⁷¹ ou simplesmente *base* devido a sua semelhança com as linhas base da triangulação.

O posicionamento relativo estático usando a fase da portadora é técnica de posicionamento mais precisa e a mais usada nos levantamentos de campo. Acurácia de 1 ppm a 0,1 ppm (nível do milímetro) são facilmente alcançadas para linhas bases consideradas curtas, ou seja até o comprimento de 30 km.

Devido a alta precisão alcançada, este método é muito utilizado na implantação de redes geodésicas, de pontos de controle para a Aerofotogrametria, no controle de deformações de obras civis, etc. SEGANTINE (1995) apresenta um exemplo clássico de aplicação deste método no estabelecimento da rede geodésica do estado de São Paulo.

Na aplicação deste método, para que se atinja precisão, repetibilidade e confiança nas medições, é necessário que o tempo mínimo de observação de uma linha base seja de uma hora com baixa taxa de armazenamento na coletora de dados. Esta sistemática de operação pode ser um inconveniente da aplicação deste método na coleta de dados para um SIG, uma vez que a produção de coletado no campo fica muito lenta. Nestes casos, indicamos outros métodos de coletada indicados a seguir.

5.5.3 Método cinemático

O método cinemático é aquele onde uma antena deve ser fixada sobre um ponto de coordenadas conhecidas enquanto que uma ou mais antenas podem ser deslocadas sobre outros

⁷¹ É a linha que une duas estações que estão ocupadas por antenas receptoras. Os elementos que definem um vetor são as componentes ΔX , ΔY , ΔZ .

pontos durante a coleta dos dados. É muito importante ter em mente que durante a sessão de observação todas as antenas receptoras estejam coletando dados do mesmo conjunto de satélites. Vide Figura 5.15.

Figura 5.15: Método de posicionamento cinemático.

A definição apresentada para este método é defendida por muitos autores como sendo uma definição do *método cinemático puro*. Desde o primeiro trabalho apresentado por REMONDI (1984), surgiu variantes deste método que são muito úteis aos usuários. Dentre estas variantes citamos:

- ◆ **Método rápido-estático:** apresenta as mesmas características operacionais do método estático, diferindo na redução do tempo de observação. A antena remota permanece sob o ponto de interesse durante alguns poucos minutos e desloca-se para outros pontos a serem medidos. Durante o deslocamento da antena remota, o receptor pode ser desligado. A precisão obtida é inferior a alcançada pelo método estático.
- ◆ **Método “stop-and-go”:** apresenta as mesmas características operacionais do método cinemático puro. A medida que a antena remota for deslocada, o usuário “para” sobre o ponto de interesse de medida e registra este ponto. Durante o deslocamento da antena remota é necessário que o receptor permaneça ligado em sintonia com os satélites disponíveis no horizonte do observador.
- ◆ **Método “on the fly”:** apresenta as características operacionais do método cinemático. A diferença fundamental é que em caso da perda da ambigüidade, o receptor é capaz de resolver a ambigüidade durante o movimento da antena receptora. Este método é uma evolução tecnológica do método cinemático puro.

A precisão obtida no posicionamento de pontos com a tecnologia GNSS garante aos usuários de SIG que quaisquer dos métodos apresentados proporcionam um trabalho de boa qualidade. A escolha do método na coleta dos dados dependerá exclusivamente das necessidades do

projeto quanto a precisão requerida, do tempo disponível para a obtenção dos dados e do equipamento disponível para a operação de campo.

5.5.4 Método diferencial (DGPS)

O desenvolvimento do DGPS surgiu da necessidade de reduzir os erros de posicionamento ocasionados pelo efeito proposital de degradação de sinal SA. O desenvolvimento de métodos para reduzir os erros de posicionamentos ocasionados pela presença do efeito SA foi um grande desafio para os construtores de equipamentos e pesquisadores.

Este método foi uma inovação tecnológica o qual permitia aos usuários civis alcançarem precisões similares, ou melhores, aos usuários militares portadores de equipamentos que operam com o serviço PPS. Ele popularizou-se pela simplicidade e capacidade de gerar alta precisão, em tempo real, para a navegação. HOFMANN-WELLENHOF et al. (1997) considera que este método de posicionamento utiliza o conceito *absoluto* para estimar a coordenada de um ponto, uma vez que as correções diferenciais podem ser obtidas em relação ao geocentro.

O método do DGPS é baseado na aplicação de dois ou receptores, onde a antena de referência é estacionada sobre um ponto de coordenadas conhecidas. Neste método, todas as antenas receptoras que participarem da sessão de observação deverão observar simultaneamente o mesmo conjunto de satélites. As coordenadas do ponto o qual se instala a antena de referência servem para calcular as correções diferenciais, que podem ser calculadas a partir das medições das pseudodistâncias deste ponto ou através das diferenças entre as coordenadas estimadas e as coordenadas conhecidas. As correções podem ser transmitidas por telemetria (link de rádio) para a antena remota e permitir a determinação da posição da antena remota com uma precisão superior ao método do posicionamento de ponto simples. Este tipo de implantação é conhecido como do tipo *convencional* ou como *sistema de referência simples*. Vide Figura 5.16.

Figura 5.16: Ilustração do funcionamento do método de posicionamento DGPS.

O uso de correções diferenciais no posicionamento é o método mais simples de se utilizar o DGPS. Contudo, se as antenas receptoras observarem satélites diferentes as correções diferenciais não eliminarão os erros provenientes do efeito SA. A condição para que se otimize a aplicação das

correções é que as antenas remotas recebam dados de pelo menos 4 satélites também observados pela estação de referência.

Com o método DGPS de posicionamento, o efeito SA e outros erros sistemáticos tais como os provenientes dos relógios, são removidos a partir dos dados coletados pela antena receptora do usuário e as informações (correções diferenciais) emitidas pela antena de referência. Os erros provenientes do sistema GNSS têm uma variedade muito grande de suas fontes, além dos erros advindos do efeito SA. Os erros orbitais e erros dos relógios dos satélites (geralmente de 1 a 5 metros) podem ser eliminados ou minimizados pelo processo diferencial. Os erros de propagação de sinais nas camadas da atmosfera (principalmente a ionosfera e a troposfera) podem provocar erros da ordem de 20 a 30 metros durante o dia e reduzir a poucos metros durante a noite. A precisão teórica, para as coordenadas dos pontos a serem medidos, oferecida pelos receptores DGPS, é da ordem de 2 metros.

Pode-se afirmar que a técnica DGPS oferece um método posicionamento com características de alcance local, ou seja, de alcance limitado. Quanto mais afastada estiver a antena remota da antena de referência, maior será o erro de posicionamento do ponto medido. Embora a distância máxima de afastamento entre as antenas não seja perfeitamente bem definida em função das características do local do levantamento, a experiência tem mostrado que a precisão do posicionamento é da ordem de 1 a 5 metros. Esta precisão atende a grande maioria das aplicações dos SIGs, uma vez que a base cartográfica utilizada por estes sistemas é, normalmente, inferior a escala 1:2000.

Não fosse a incapacidade do modelo matemático quantificar e remover os efeitos das influências da ionosfera, troposfera, erros dos relógios dos satélites e receptores, do multicaminhamento e das próprias efemérides, as diferenças entre coordenadas conhecidas e as determinadas instantaneamente através do DGPS teriam caráter não sistemático e se aproximariam bastante de seus verdadeiros valores. O que se verifica na prática é que as correções calculadas contêm influências de variações temporais e espaciais, ou seja, influências que dependem da posição do observador e de condições locais naquele instante, PESSOA (1996).

A idéia original em se estabelecer redes DGPS, foi aumentar e melhorar a segurança da marinha mercante e militar ao longo da costa americana. A United States Federal Radionavigation Plan pretendia oferecer um serviço que garantisse uma precisão do posicionamento das embarcações da ordem de 8 a 20 metros. Durante os últimos anos começou-se a estabelecer uma rede de pontos DGPS ao longo da costa atlântica e pacífica de modo a atender as exigências do Departamento de Defesa e do Comércio americanos. A partir daí, vários países europeus, americanos e asiáticos partiram para o estabelecimento de estações DGPS em suas costas, criando estações monitoras e de referência, vide Figura 5.17. As estações são designadas para terem diferentes alcances, e várias delas ainda estão sob a fase de testes. Algumas estações na Europa têm publicado que seu alcance de sinal é inferior a 30 milhas náuticas, enquanto que os russos têm publicado que estações GLONASS DGPS tem alcance da ordem de 250 milhas náuticas. Recomenda-se que as separações entre as estações de referência não sejam superiores a 200 Km.

Figura 5.17: Estações DGPS nas áreas costeiras dos continentes.

A Federação Russa tem estabelecido que a cobertura do GLONASS diferencial é para cobrir toda a sua costa. Após esta decisão, a comunidade internacional determinou que a rede diferencial GPS e GLONASS viesse a ser uma única entidade, ou seja a Differential Global Navigation Satellite System (DGNSS). Algumas agências governamentais e privadas estudam a possibilidade de emissão de correções diferenciais para os usuários dos sistemas GPS e GLONASS.

No Brasil, é importante citar o esforço que o Ministério da Marinha tem dedicado no sentido de manter uma rede, inicial de 12 estações, DGPS espalhadas ao longo do litoral brasileiro. Estas estações estão instaladas em radiofaróis e geram correções diferenciais que são emitidas e podem ser captadas por embarcações equipadas com um receptor MSK – *Minimum Shift Keying* e integrá-lo ao rastreador GPS. As correções podem ser captadas a centenas de quilômetros e proporcionam um posicionamento de navegação, em tempo real, com precisão da ordem de 10 metros.

As operações de correções DGPS podem ser realizadas de duas maneiras descritas a seguir, LANGE (1997):

1. **Tempo real DGPS:** No tempo real DGPS o usuário necessita, além da antena receptora, de um rádio receptor para receber as correções diferenciais emitidas por uma fonte geradora de correções DGPS. Esta fonte geradora pode transmitir as correções através de uma onda de baixa frequência, ou através de sinal de rádio FM ou a partir de um satélite geoestacionário.

O tempo real DGPS é usado para guiar o usuário a um determinado ponto, como por exemplo à um ponto onde se deseja atualizar uma informação de cadastro dado por um SIG. As posições dos pontos e seus atributos a serem atualizados ou verificados são inseridos numa coletora de dados GPS e um programa de navegação orienta o usuário até a posição apropriada do ponto a ser locado. Esta orientação de localização fica mais fácil quando o receptor possui uma tela onde pode ser apresentado um gráfico de deslocamento ou um cursor sobre um mapa vetorizado ou rasterizado.

2. Pós-processamento DGPS: Para o pós-processamento DGPS, o usuário coleta os dados em campo com todas as suas características e atributos. Após o retorno ao escritório, o usuário corrige diferencialmente as posições com as informações armazenadas (salvas) a partir de uma estação de referência. A interface do programa de correção diferencial é normalmente simples utilizando apenas de teclas de funções pré-definidas para definir qual receptor foi tomado como referência e qual receptor foi considerado como remoto para recepção das correções. Os arquivos de dados da estação de referência podem ser obtidos através da Internet ou via telefone. O arquivo resultante do pós-processamento DGPS é isento do efeito SA e pode ser exportado para ser aplicado por usuários de SIG.

O pós-processamento DGPS é usado por várias razões, como por exemplo o custo reduz significadamente porque o usuário não necessita estar sempre próximo de uma estação emissora DGPS e precisa de menos equipamentos em seu dia a dia (baterias extras); quanto menor a necessidade de equipamento no campo, melhor é a operacionalidade de um sistema. Além do mais, o pós-processamento DGPS aumenta a precisão do posicionamento pela redução da *latência*⁷² inerente do tempo real DGPS e a melhoria dos algoritmos utilizados. A latência do tempo real DGPS é inerente na geração da mensagem de correção do tempo real e a transmissão da correção para a antena do usuário. A latência usualmente é da ordem de 1 a 5 segundos, dependendo da fonte geradora da correção diferencial. No pós-processamento DGPS não existe erros induzidos pela latência uma vez que a antena de referência e a remota estão perfeitamente sintonizadas pelo programa de processamento.

Devido a alta precisão alcançada em tempo real, podemos citar como exemplos de aplicação deste método na navegação e a locação de estruturas de uso na exploração de petróleo. Este último caso exige que as posições sejam definidas com alta confiabilidade em razão dos riscos inerentes às atividades e aos custos envolvidos.

Conforme afirmação anterior, a medida que a antena remota se afasta da estação transmissora de correções diferenciais, ocorre uma degradação da precisão do posicionamento da antena remota. Devido a este fato, ocorre uma decorrelação entre os erros, aumentado assim a incerteza do posicionamento diferencial. Com o intuito de reduzir esta degradação, foi proposta a criação do método *WADGPS* (Wide Area DGPS) que envolve uma rede de estações de referências, descrito a seguir.

⁷² Latência é definido como sendo o período de inatividade entre o estímulo e a resposta por ele provocada.

5.5.5 Método “Wide Area” DGPS

Recomenda-se que as estações de referência DGPS não sejam separadas por distâncias superiores a 100 Km. Desta forma seria necessário um grande número de estações para cobrir todos os continentes de modo a reduzir as deficiências inerentes ao DGPS.

A idéia básica de um WADGPS é de eliminar a decorrelação espacial existente num sistema DGPS local. O leitor pode questionar: o que é decorrelação espacial? Ela pode ser explicada como um efeito decorrente do afastamento de uma antena remota em relação a uma antena de referência. Os erros assumidos inicialmente como sendo iguais, ou seja correlacionados, entre a antena de referência e as antenas remotas perdem a correlação e assim invalida a aplicação simples das correções DGPS geradas de uma única estação de coordenadas conhecidas. A consequência imediata é a degradação da precisão de posicionamento devido aos erros provenientes das órbitas dos satélites e da propagação atmosférica.

Para a solução destes casos partiu-se para o desenvolvimento de uma rede de estações monitoras, estações de referências e um sistema de comunicação eficiente de modo a manter uma densidade suficiente para evitar tal decorrelação. A este conjunto denominou-se de Wide Area DGPS (WADGPS). Segundo MONICO (2000), as observações são coletadas em cada estação e são emitidas para a estação monitora que estima e analisa as componentes do vetor de correções (vide Figura 5.18). As correções diferenciais são retransmitidas por satélites estacionários ou por redes FM e captadas pelas antenas receptoras dos usuários. Estas correções são então aplicadas nas pseudodistâncias observadas e efemérides coletadas. A acurácia das correções da WADGPS é relativamente constante dentro de uma área monitorada e degrada-se a medida que se afasta da mesma.

Figura 5.18: Ilustração do funcionamento do sistema WADGPS.

Desde a sua criação, este tipo de serviço passou a visto como um grande impulso do uso do sistema de posicionamento global na coleta de dados para um SIG. A facilidade de obtenção das correções diferenciais, a precisão alcançada e a necessidade de apenas uma antena remota e seus acessórios, são alguns dos fatores que contribuíram para o uso desta tecnologia pelos usuários de SIG. Maiores detalhes a respeito desta tecnologia e suas aplicações podem ser adquiridos em KEE (1996), MUELLER (1994).

5.5.6 Método WAAS

Sem sombra de dúvidas, desde o momento em que o sistema GPS entrou em operação, o número e a diversidade de aplicações do sistema ultrapassaram todas as expectativas. O setor aéreo não poderia ficar de fora do uso do sistema, uma vez que um dos princípios básicos da navegação aérea é obter informações do posicionamento da aeronave em determinados instantes para verificação da fidelidade à rota de viagem projetada. O sistema GPS ganhou grande espaço de aplicação nesta área devido a facilidade, rapidez e precisão na obtenção de coordenadas e a sua potencialidade de auxiliar nas operações de pouso e decolagem de aeronaves.

Esta tecnologia é um refinamento do WADGPS, com características adicionais. A idéia inicial foi idealizada devido a necessidade de um sistema posicionamento que fosse mais confiável para servir de apoio para a navegação aérea em território americano. A Federal Aviation Association – FAA – sentiu a necessidade da criação de um sistema onde a navegação de uma aeronave não poderia ficar sujeita à limitação decorrente de um mau funcionamento de um satélite GPS. O simples fato de um satélite apresentar problemas, certamente afeta a geração de posicionamento de uma grande área geográfica. Desta forma, foi concebida uma forma de ampliação do WADGPS, com a possibilidade de se observar uma distância adicional, através de um sinal transmitido por um satélite geoestacionário, o mesmo utilizado para transmitir as correções calculadas pelo WADGPS.

A partir das preocupações lançadas pela FAA, universidades e empresas privadas começaram no início da década de 90 a investigarem este assunto e a proporem soluções, AQUINO (1996).

5.5.7 Método LAAS

Este método surgiu por exigência da FAA para garantir precisão, confiabilidade e segurança à aviação, uma vez que estes tipos de usuários recebem as correções diferenciais calculadas por uma rede de estações monitoras que fazem parte do sistema WAAS (nos EUA) e o EGNOS (na Europa). Com o intuito de oferecer um serviço de melhor qualidade e de garantir a permanência da correlação entre as antenas receptoras de referência e as antenas receptoras remotas (acopladas nas aeronaves), partiu-se para a implantação de uma rede de estações que densificassem a rede existente, gerando assim o sistema LAAS, nos EUA. Esta rede de densificação será apoiada por uma constelação de pseudo-satélites, que serão colocados em órbita próximos aos aeroportos, e que emitirão sinais semelhantes aos sinais GPS, garantindo assim a permanência da correlação de sinais recebidos pelas antenas de referência e remotas. O projeto prevê que este sistema esteja em operação grande parte dos aeroportos americanos no ano 2003.

5.5.8 Método “Precise Point Positioning” (PPP)

O termo “point positioning” tem sido historicamente referente a estimativa de posição de uma antena receptora a partir de medições de pseudodistâncias da mensagem de navegação. A qualidade dos resultados é limitada por algumas razões enumeradas a seguir:

- (a) A pseudodistância é naturalmente “ruidosa”;
- (b) Os parâmetros transmitidos na mensagem de navegação apresentam precisão de poucos metros para as órbitas dos satélites GPS e algumas dezenas para erros provenientes dos relógios dos satélites;

Desde a sua criação em 1993, o International GPS Service (IGS) tem rotineiramente produzido efemérides precisas GPS e outros produtos disponíveis aos usuários através da coleta de dados em mais de 150 estações de rastreamento permanente distribuídas nos diferentes continentes. O uso das informações coletadas por estas estações melhorou muito a precisão, a qualidade e a confiança no uso dos produtos oferecidos pelo IGS. Normalmente o IGS oferece três classes de produtos: as predictas, rápidas e solução final. A solução final apresenta uma precisão superior a 5 centímetros para as efemérides precisas e 0,3 ns para as informações do relógio (NEILAN et al. (1997), KOUBA et al. 1998). O produto final do IGS está normalmente disponível aos usuários num prazo inferior a duas semanas a partir do dia observado. Os dados de efemérides precisas pode ser obtido via Internet através do seguinte endereço: <http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/product/>. A acurácia e disponibilidade dos produtos IGS são apresentadas na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Acurácia e disponibilidade aproximada dos produtos IGS

Produtos IGS		Disponibilidade	Intervalo	Acurácia
Satélites GPS	Efemérides			
	Predictas	Tempo real	15 min	50 cm
	Rápida	1-2 dias	15 min	10 cm
	Final	10-12 dias	15 min	5 cm
	Relógios			
	Predictas	Tempo real	15 min	150 ns
	Rápida	1-2 dias	15 min	0.5 ns
	Final	10-12 dias	15 min	0.3 ns

Fonte: (NEILAN et al. 1997, KOUBA et al. 1998)

Devido a acuracidade dos produtos IGS, surgiu um novo conceito para análise do posicionamento com um esquema para se alcançar altas precisões que não era possível no passado. As informações da órbita e dos relógios dados pelo IGS são dados com intervalos de 15 minutos, enquanto que Jet Propulsion Laboratory (JPL), um dos sete centros de análises do IGS, oferece estas informações com intervalos de dados de 30 segundos. As informações de órbita e dos relógios do JPL apresentam acurácia no nível de poucos centímetros. As órbitas IGS são tão boas quanto ao JPL e talvez até melhores, entretanto as informações dos relógios IGS não são tão boas quanto as do JPL, ZUMBERGE (1999b).

Desde meados de 1988 o JPL vem oferecendo um serviço via Internet para o posicionamento de pontos denominado de Precise Point Position (PPP) para estações simples, (ZUMBERGE 1999a). Os dados coletados para serem analisados pelo PPP devem conter pelo menos uma hora de observação no formato RINEX. Não é necessário o arquivo de mensagem de navegação, uma vez que no processamento utiliza-se de efemérides precisas e informações dos relógios obtidas pelas estações fiduciais de uma rede global JPL, HEFLIN (1992), ZUMBERGE et al. (1997a).

O programa GIPSY-OASIS-II é utilizado para análise dos dados. Este serviço disponível é chamado Automated GPS Data Analysis Service (ZUMBERGE 1999a). Além disso, na análise do

PPP o efeito relativo ao efeito AS é minimizado pela aplicação de um produto JPL que garante alta qualidade dos serviços dos relógios, melhores que as informações transmitidas pelos satélites, (ZUMBERGE et al. 1997b). As efemérides JPL podem ser obtidas pelo uso do seguinte endereço: <ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/jpligsac/hirate/>. A solução obtida é em 3D com alta acuracidade geodésica (latitude, longitude e altura geométrica) relativa ao International Reference Frame de 1996 - (ITRF96).

Este método de posicionamento é muito útil para pontos remotos ou para novos pontos de uma rede de referência. Deste modo, a análise PPP simplifica os problemas geodésicos uma vez que minimiza a dependência de pontos de redes existentes, antenas de referência, satélite de referência, etc. A análise PPP passa a ser independente de uma rede pré-existente. A solução da determinação da coordenada do ponto é livre das distorções da rede e tem sido melhorada cada vez mais pela melhoria do programa envolvido no processamento (ZUMBERGE et al. 1997a).

O posicionamento relativo é dado a partir da posição relativa de um ponto de coordenadas conhecidas. O posicionamento relativo é normalmente conhecido como GPS diferencial (DGPS), cujo objetivo é cancelar todos os termos comuns de erros específicos dos receptores e dos satélites. Entretanto, quanto maior a linha base, maiores serão os erros ao nível de receptor e de satélites e com isso dificulta o cancelamento dos erros comuns. Isto, impõe erros na análise da linha base os quais serão muito importantes nos trabalhos que requerem alta precisão. A análise PPP é uma alternativa para resolução destes problemas.

WITCHAYANGKOON e SEGANTINE (1999) realizaram duas experiências para testarem este novo método de posicionamento. Os experimentos foram realizados em duas etapas, a repetibilidade do posicionamento simples e a repetibilidade e a acurácia de uma base curta. A primeira experiência foi realizada testando o método de posicionamento PPP. O objetivo deste experimento foi determinar a relação entre a repetibilidade e o tempo de coleta de dados. Os dados da estação CMP9 - Southern California Integrated GPS Network (SCIGN). As Figuras 5.19 e 5.20 apresentam a repetibilidade em 3D para a solução do PPP. Pode-se verificar que a repetibilidade para as primeiras três horas de observação varia consideravelmente. Conforme se esperava, verificou-se a existência de relação entre a repetibilidade em 3D e o tempo de observação.

Figura 5.19: Repetibilidade da posição da estação CMP9, considerando 1 hora de observação.

Fonte: WITCHAYANGKOON e SEGANTINE (1999)

Figura 5.19: Repetibilidade da posição da estação CMP9, considerando 24 horas de observação.

Fonte: WITCHAYANGKOON e SEGANTINE (1999)

Estas figuras mostram que o máximo de repetibilidade para 1 e 24 horas são 20 centímetros e 1 centímetro, respectivamente.

O segundo experimento examinou a performance do método PPP para a determinação de uma base curta. A idéia foi determinar linhas bases curtas com o PPP e comparar os resultados com um programa comercial usando bases conhecidas. Utilizou-se três estações localizadas no terraço do prédio Boardman Hall, da Universidade do Maine-EUA, para se determinar as bases curtas para testar o PPP. Este método, mostrou apresentar boa repetibilidade da ordem de 10 a 20 centímetros para uma hora de observação e de poucos centímetros para 12 horas de observação.

6 SISTEMA DE REFERÊNCIA

Este capítulo tem por objetivo apresentar os principais sistemas de coordenadas usados para definir a posição de pontos no plano e no espaço. Em adição apresentar os sistemas de referências usados pelo GNSS bem como as relações e a sistemática de transformações de coordenadas entre sistemas de referências.

*“O universo é a verdadeira revelação da
divindade, uma prova da ordem universal da
existência de uma inteligência acima de tudo o que
podemos compreender”.*
(Edgar D. Mitchell, 1930-
Astronauta Americano – Apolo XIV)

6.1 Generalidades

O conceito de nível de medições é normalmente aplicado para atributos. Para se trabalhar com “informações”, é muito importante considerar o conceito de medições e situá-las no tempo e no espaço. Ao contrário das medições de atributos, as medições de tempo e de espaço exigem o conhecimento do conceito de sistema de referência.

Os usuários de SIGs normalmente fazem confusão com alguns termos geodésicos pelo fato de que a maioria deles não tem conhecimentos básicos de Geomática. Para entender alguns termos, é necessário familiarizar-se com a Geodésia, Cartografia, Fotogrametria, etc.

A Geodésia é uma ciência que aplica conceitos matemáticos para estudar a forma, a dimensão da Terra e o campo gravitacional por ela envolvido através de medições espaciais, geométricas e geofísicas. O conhecimento de algumas definições e parâmetros geodésicos é muito importante para os cartógrafos, geógrafos, etc. visto que a integração dos dados requer muitas vezes conversão de medidas angulares, tais como latitude e longitude para medidas lineares tais como coordenadas cartesianas X, Y e Z . Para este tipo simples de transformação é necessário no mínimo o conhecimento do raio médio da terra para o local desejado.

A preocupação do conhecimento da forma e dimensão da terra não é uma novidade de nosso século. O cientista grego Eratóstenes (300 A.C.) realizou uma experiência objetivando medir a circunferência terrestre. Esta experiência passou a ser um marco histórico no conhecimento das características físicas da terra. No passado, foram realizadas várias experiências para se medir a Terra. Alguns resultados apresentaram valores muitos distantes dos valores conhecidos atualmente, mas vale destacar que apesar da rudimentaridade dos instrumentos usados na época foram obtidos valores muito próximos dos atuais. Eratóstenes, por exemplo, obteve em sua experiência o valor para o raio da Terra com erro inferior a 2% do valor reconhecido atualmente. Os erros cometidos por outros pesquisadores poderiam levar a questão: porque ocorriam as diferenças? Uma resposta que satisfaz é afirmar que os erros davam-se na consideração que a Terra tinha uma forma geométrica esférica, o que sabemos em nossos dias que isto não é uma verdade, visto que a forma geométrica que mais se adapta à Terra é a forma de um elipsóide de revolução.

No século XVII, Isaac Newton estudou o campo gravitacional terrestre e considerou a terra como uma superfície muito próxima da superfície gerada pelo nível médio do mar. A força centrífuga gerada pela rotação do planeta causaria uma distorção maior no plano equatorial do que na linha dos pólos. Depois da idéia de Newton, vários geodestas mediram a terra em diferentes regiões e mediram a diferença entre o Equador e a linha dos pólos e chegaram a conclusão da existência de uma fator da ordem de 1/300 entre eles. Conforme afirmação anterior, estas experiências levaram a resultados de grandes discrepâncias que pode ser creditado pelas diferentes técnicas e equipamentos utilizados na época.

Normalmente, as medições são reconhecidas pelo nome do pesquisador que a realizou ou pela organização/instituição responsável pela campanha das observações. Como exemplo pode-se citar o caso do geodesta britânico Alexander Ross Clarke que em 1866 foi responsável por uma campanha e o resultado das medições recebeu a denominação “Elipsóide de Clarke 1866”.

Existe um grande número de valores de elipsóides propostos por vários pesquisadores e instituições. Este fato causa confusões e problemas porque muitos países usam diferentes elipsóides como referências geodésicas para a elaboração de seus mapas. A comunidade internacional aceita o uso de determinados elipsóides para cada continente – o elipsóide de Krasovsky é o elipsóide aceito

para a antiga União Soviética (hoje a Rússia e países do bloco socialista ligada àquele país), o elipsóide australiano para a Austrália, o elipsóide **SAD69**⁷³ para alguns países da América do Sul, etc. A questão que pode surgir neste ponto é porque não existir um único e simples elipsóide que melhor represente o planeta?. A primeira tentativa realizada neste sentido foi em 1924 onde foi proposta a adoção do Elipsóide Internacional⁷⁴. Nos dias atuais, após o advento da tecnologia GPS, existe a proposta da adoção do **World Geodetic System - WGS84** para representar a forma geométrica terrestre.

Devido a não-uniformidade de materiais que compõe a crosta terrestre, não se pode considerar que a terra tenha uma forma regular e sim que tenha uma forma aproximada do nível médio do mar. Os geodestas propuseram que a forma da terra seja dada por um *geóide*. Então, o termo *geóide* refere-se a verdadeira forma da terra. Diferente da forma de uma esfera e do elipsóide, a forma do *geóide* desafia a sua representação por modelos matemáticos. Um modelo matemático que pretenda representar uma superfície geoidal requer uma série com ordem superior a 18th grau.

A definição de um sistema de referência não é uma tarefa fácil e fica limitada em razão dos erros das observações utilizadas na sua realização e da imprecisão das constantes adotadas por convenção. A realização nada mais é que uma lista de coordenadas e velocidade dos objetos que materializam o sistema, que pode ser denominada conjunto de coordenadas de referência. A acurácia das coordenadas de referência de ser compatível com a da tecnologia de posicionamento utilizada na operação.

No posicionamento por satélites, os sistemas de referência adotados são, em geral, globais e geocêntricos, haja vista que o movimento dos satélites ocorre ao redor do centro de massa da Terra. As estações terrestres são, normalmente, representadas num sistema fixo a Terra, que rotaciona com ela. O movimento dos satélites é mais bem descrito no sistema de coordenadas equatoriais. Como ambos os sistemas são geocêntricos, têm-se referenciais “quase-inerciais”. Dessa forma, as leis da relatividade geral deveriam ser levadas em consideração, MONICO (2000).

Os profissionais brasileiros da área de Mensuração devem estar atentos ao fato de que a grande maioria dos levantamentos executada é referenciado à sistemas referenciais regionais, ou quasi-geocêntrico, tal como a maioria dos documentos cartográficos. Em nosso país, o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é coincidente com o Sistema de Referência da América do Sul - SAD69 - que não é geocêntrico. Uma vez mais a relação matemática com satélites deve ser conhecida.

Do exposto, existe uma tendência mundial, a médio prazo, no sentido da adoção de um sistema geocêntrico para fins geodésicos e de mapeamento. O grande impedimento para esta ação é que implicaria na mudança de toda a cartografia dos países e isto significa o consumo de alguns milhões, ou até bilhões, de dólares para o total mapeamento de um país.

6.2 Sistema de coordenadas

Os corpos celestes estão sujeitos a diversos tipos de movimentos tais como rotação, translação, acelerações e deformações, mostrando que o universo não é estático. A Geodésia, a Astronomia e a Geofísica preocupam-se com o estudo da cinemática e da dinâmica destes corpos.

⁷³ SAD69: South American Datum de 1969.

⁷⁴ Elipsóide Internacional também é reconhecido como Elipsóide de Hayford.

Os efeitos da rotação da Terra, o movimento do pólo, a tectônica de placas, as marés terrestres e oceânicas, o campo gravitacional e o campo magnético são alguns dos fenômenos dinâmicos que o homem vem estudando e tentando compreender. O movimento e a posição dos corpos não são conceitos absolutos, pois dependem de referências para serem descritos. Assim sendo, faz-se necessário adotar um sistema de coordenadas que seja considerado estável dentro do que se pretende estudar.

Calcular a posição de um ponto, em Mensuração, significa determinar as suas coordenadas. E determinar as coordenadas de um ponto significa estabelecer a posição relativa desse ponto em relação a um sistema de coordenadas previamente escolhido. O uso de um sistema de coordenadas para o estabelecimento da posição de um ponto possui várias vantagens conforme descrevemos a seguir.

Em primeiro lugar, o uso de um sistema de coordenadas facilita e permite a padronização dos métodos de cálculos, para que cada ponto seja definido de maneira unívoca. Deve-se também considerar que não existem propagações de erros quando se calculam as coordenadas de um ponto a partir das observações de campo. Além disso as coordenadas impedem que haja a propagação dos erros de plotagem nas representações gráficas. Finalmente, o uso de um sistema de coordenadas evita também a propagação de erros nos processos de locação de pontos sobre o terreno.

Em segundo lugar, o uso de sistemas de coordenadas permite a unificação de vários sistemas individuais em um único sistema geral e simplifica a identificação e o gerenciamento dos pontos em um projeto.

Existem basicamente quatro sistemas de coordenadas que são utilizados na Geomática:

- ❖ O Sistema de Coordenadas Geográficas Geodésicas;
- ❖ O Sistema de Coordenadas Cartesianas;
- ❖ O Sistema de Coordenadas Planas Retangulares, e
- ❖ O Sistema de Coordenadas Polares

O Sistema de Coordenadas Geográficas Geodésicas ou, simplesmente, Coordenadas Geodésicas é definido sobre um elipsóide de referência. Ele baseia-se, fundamentalmente, no eixo médio de rotação e no plano do Equador terrestre.

As linhas desenhadas no sentido Norte/Sul são denominadas meridianos e as linhas desenhadas no sentido Leste/Oeste são denominadas de *paralelos*. Essas linhas estabelecem o sistema de coordenadas denominado de Sistema de Coordenadas Geográficas Geodésica, cuja origem é um ponto situado sobre o meridiano que passa por Greenwich (mais especificamente o Meridiano de Referência IERS), na Inglaterra e o Equador. As coordenadas definidas por esse sistema são denominadas latitudes e longitudes geodésicas.

A latitude geodésica ϕ de um ponto da superfície terrestre é o ângulo que forma a normal à superfície, nesse ponto, com o plano que contém a linha do equador. As latitudes geodésicas são referenciadas a partir do equador de 0° a 90° , no hemisfério Norte e de 0° a -90° , no hemisfério Sul, ou simplesmente de 0° a 90° , seguido da indicação da latitude Norte ou Sul.

A longitude geodésica λ de um ponto da superfície terrestre é o ângulo diedro que forma o plano meridiano, que passa pelo ponto, com o plano que passa pelo meridiano de origem (Greenwich).

As longitudes geodésicas são referenciadas a partir de Greenwich, de 0° a 360° , na direção Leste, ou de 0° a 180° , na direção Leste, e de 0° a -180° , na direção Oeste. A Figura 6.1 ilustra a latitude e a longitude de um ponto P situado sobre a superfície de referência.

Figura 6.1: Sistema de coordenadas geográficas geodésicas.

A latitude e a longitude geodésicas são indicadas, normalmente, em graus sexagesimais. Como exemplos, apresentamos na Tabela 6.1 as coordenadas geográficas geodésicas dos pontos BASE-STT e STT-1, situado em uma torre sobre caixa d'água e na lateral do Departamento de Transportes da EESC/USP, respectivamente. É importante citar que os pontos apresentados nesta tabela estão conectados a rede geodésica GPS do Estado de São Paulo.

Tabela 6.1: Exemplos de Coordenadas Geográficas Geodésicas de dois pontos na cidade de São Carlos (SP), referentes ao elipsóide WGS84.

NOME DO PONTO	Latitude	Longitude	Altura elipsoidal
BASE-STT	-22° 00' 17,80085"	-47° 53' 56,99582"	822,039 m
STT-1	-22° 00' 17,13990"	-47° 53' 56,30133"	812,273 m

O Sistema de Coordenadas Cartesiano Espacial possui a sua origem no centro da Terra, os eixos X e Y pertencem ao plano do equador e o eixo Z coincide com o eixo médio de rotação da Terra. O eixo X passa pelo meridiano de referência. A Figura 6.2 apresentada a seguir mostra, graficamente, a posição do Sistema de Coordenadas Cartesiano Espacial em relação ao elipsóide de referência.

Figura 6.2: O Sistema de Coordenadas Cartesiano Espacial.

Como exemplos, apresentamos na Tabela 6.2 as coordenadas cartesianas espaciais dos pontos BASE-STT e STT-1, situados na caixa d'água e na lateral do Departamento de Transportes da EESC/USP, respectivamente

Tabela 6.2: Exemplos de Coordenadas Cartesiano Espaciais de dois pontos na cidade de São Carlos (SP), referentes ao elipsóide WGS84.

NOME DO PONTO	X [m]	Y [m]	Z [m]
BASE-STT	3 967 006,652	-4 390 244,710	-2 375 228,550
STT-1	3 967 020,471	-4 390 230,287	-2 375 206,040

As coordenadas cartesianas são usadas no posicionamento de satélites. Para as medições topográficas em geral, esse sistema não é adequado devido ao fato dele não representar convenientemente as altitudes. A coordenada Z é vertical em relação ao plano do equador enquanto que a altura elipsoidal h , é normal a superfície de referência. Assim, um aumento no valor de h não produzirá um aumento igual em Z .

O sistema de coordenadas mais utilizado na Geomática é o Sistema de Coordenadas Plano Retangular. Este sistema é baseado no Sistema de Coordenadas Retangular criado pelo filósofo francês, Renée Descartes (1569-1650), no século XVII. Ele é também chamado de Sistema Cartesiano Plano.

O Sistema de Coordenadas Retangular consiste de dois eixos geométricos, localizados num mesmo plano, perpendiculares entre si. O cruzamento dos dois eixos é a origem do sistema. O eixo primário é denominado *abscissa* X , no sentido horizontal. O eixo secundário é definido por uma rotação anti-horária de um ângulo de 90° em relação ao eixo das abscissas e é denominado *ordenada* Y . Os dois eixos são igualmente graduados de acordo com a escala definida para o sistema. O eixo Y é positivo da origem “para cima” e o eixo X é positivo da origem “para a direita”. As coordenadas retangulares de um ponto são dadas por dois números que correspondem a projeção deste ponto sobre o eixo das abscissas e a projeção do ponto sobre o eixo das ordenadas. Os ângulos são contados a partir da abscissa X (ou suas paralelas) no sentido anti-horário. Vide Figura 6.3.

Figura 6.3: Sistema de Coordenadas Retangulares.

Uma modificação básica foi feita nesse sistema para o seu uso na Geomática. Trata-se da inversão do sentido da leitura angular. Para a Geomática os ângulos são medidos no sentido horário, em conformidade com o sentido da graduação do limbo na maioria dos instrumentos topográficos mecânicos. No Brasil mantém-se a direção das ordenadas e das abscissas. Nos países da Europa, porém, inverte-se também o sentido dos eixos das ordenadas e das abscissas, ou seja, o eixo das ordenadas (Y) torna-se o eixo horizontal e o eixo das abscissas (X) torna-se o eixo vertical. Vide Figura 6.4.

Figura 6.4: Sistema de Coordenadas Planas Retangulares usado na Geomática, no Brasil.

Para a determinação das coordenadas de um ponto no Sistema de Coordenadas Planas Retangulares é necessário conhecer as coordenadas de um ponto de origem, a orientação e a distância entre essa origem e o ponto a ser determinado. Da Figura 6.4, tem-se:

$$X_Q = X_P + d_{PQ} \sin \phi_{PQ} \quad (6.1)$$

$$Y_Q = Y_P + d_{PQ} \cos \phi_{PQ}$$

O uso do Sistema de Coordenadas Planas Retangulares na Geomática não pode ser feito sem algumas considerações especiais. Devido a esfericidade terrestre, não é possível representar pontos da sua superfície nesse sistema sem que haja algum tipo de deformação na figura representada. Deformação, neste caso, significa deformação dos ângulos entre as direções representadas e/ou deformação das distâncias representadas ou deformação da superfície. Para resolver esse problema existem duas soluções: a primeira consiste em utilizar uma **Projeção Cartográfica**, através da qual se estabelece uma relação matemática pontual e biunívoca entre a superfície de referência (elipsoidal) e a superfície plana, convenientemente posicionada em relação a superfície elipsoidal de referência. A deformação gráfica não é suprimida, porém, ela é conhecida através da relação matemática estabelecida para a transformação. Existem vários tipos de projeções cartográficas, cada uma com suas peculiaridades e vantagens. A maioria delas não é plana retangular. No Brasil, utiliza-se a Projeção Cartográfica Plano Retangular denominada **Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM**, que no passado também foi denominada **Projeção de Gauss-Krüger**. Na projeção cartográfica UTM, adota-se a letra E para a abscissa, ao invés de X e adota-se a letra N par a ordenada, ao invés de Y. Vide Figura 6.5.

Figura 6.5: Sistema de Coordenadas Plano Retangular usado na Projeção UTM.

Uma outra solução consiste em representar diretamente os pontos medidos sobre o Sistema de Coordenadas Planas Retangulares sem que se aplique algum tipo de relação matemática de transformação entre a superfície elipsoidal e a superfície plana. Neste caso, visto que a superfície terrestre é esférica, é preciso restringir as distâncias a serem representadas em função do nível de precisão que se deseja obter. A esses dois tipos de representações gráficas dá-se o nome genérico de Sistema de Coordenadas Planas Retangulares. Nos capítulos seguintes esse assunto será tratado com maiores detalhes.

O Sistema de Coordenadas Polares é determinado por um ponto fixo O, denominado origem ou pólo, e por uma direção ou eixo passando por esse pólo, sobre o qual se representam as distâncias. A posição de um ponto é então definida através da medida de um ângulo β e uma distância d , tomados a partir da origem (pólo). As coordenadas do ponto obtidas a partir deste procedimento, denominam-se *coordenadas polares*. Vide Figura 6.6.

Figura 6.6: Sistema de Coordenadas Polares.

6.3 Sistema de referência temporal

A referência temporal, com extrema consideração de ordem linear, é mais simples que a referência espacial. Um sistema completo de referência temporal simplesmente requer uma origem (normalmente tomada a partir de zero) e uma unidade de medida. Alguns aspectos do tempo apresentam repetições ou elementos cíclicos. A convenção internacional estabelece um calendário e os relógios sincronizados com o tempo médio de Greenwich.

6.4 Sistema de referência de atributos

Assim como os sistemas de referências temporários aplicam a determinação no tempo e no espaço, o mesmo conceito é também aplicado para os atributos. Cada atributo requer seu próprio sistema de referência. Para cada intervalo, são necessárias as definições do ponto inicial (ponto de origem) e a unidade usada na medição. A Tabela 6.3 apresenta um esquema básico do conteúdo de informações destes sistemas de referências.

Tabela 6.3: Conteúdo de informações de um sistema de referência de atributos.

Nível de medição	Informação necessária
Nominal	Definição das categorias
Ordinal	Definição das categorias e a ordem
Intervalo	Unidade de medida e o ponto inicial (origem)
Relação extensiva	Unidade de medida (critério adicional)
Relação cíclica	Unidade de medida e o comprimento do ciclo
Relação derivada	Unidade de medida (unidade da razão; critério do peso)
Cálculos	Definição dos objetos calculados
Absoluto	Tipos (probabilidade, proporções, etc.)

Informações geográficas envolvem três componentes (tempo, espaço e atributo), cada um conectado ao seu próprio sistema de referência que lhe seja significativo.

6.5 Sistema de referência espacial

A definição de espaço é mais complexa que a de tempo. As medições espaciais exigem um conjunto de considerações geométricas para criar um sistema de referência espacial. Estas considerações geométricas envolvem muito mais conceitos do que aqueles que são considerados ao nível das medições.

De uma forma simples, um sistema de referência espacial é um mecanismo para localizar medições num corpo geométrico, como por exemplo a Terra. É necessário estabelecer um ponto de origem, um eixo de referência para orientação e uma legenda de significados geométricos para as medições, bem como um sistema de unidade para as medições. O ponto de origem é denominado de *sistema de referência geodésica*, incluindo um *datum geodésico*. Este, contém todos os elementos necessários para localizar um ponto relativo a superfície terrestre. Um sistema de referência geodésico pode ser unicamente reconhecido pela abreviação do nome completo, como por exemplo SAD69 que advém do nome completo South American Datum de 1969. A origem, a orientação e a rotação do sistema de coordenadas são definidas pelas atribuições de definição do datum. É importante entender que o conceito de base cartográfica é muito útil no entendimento de posicionamentos de pontos a partir de levantamentos com o sistema GPS.

A maioria dos sistemas de referencias tem somente um *datum*⁷⁵. Entretanto, devido a dificuldades históricas de levantamentos e os cálculos de posicionamentos horizontais (bi-dimensional) e posicionamentos verticais ou de altitudes (unidimensional), as componentes horizontais e verticais são normalmente definidas separadamente. Logo, o sistema de referências de coordenadas pode conter dois *data*⁷⁶, um datum geodésico (horizontal) e um vertical. SEEGER (1999). No caso do Brasil, o datum geodésico é o ponto VT-CHUÁ, próximo a cidade de Uberaba (MG), e o datum vertical é o ponto do marégrafo de Imbituba (SC).

Um SIG deve ser estabelecido sobre um sistema de referência, uma vez que os registros espaciais são a base para os métodos de análises dos dados. Um SIG deve ser estabelecido sobre monumentos geodésicos e as determinações de coordenadas serão obtidas a partir de monumentos (marcos) públicos ou privados estabelecidos durante o levantamento. É importante ter isso em mente pois o resultado das análises será embasado num sistema de referência espacial e terá uma base legal para a descrição das propriedades.

O sistema de coordenadas define o conceito de posicionamento de pontos. Isto é essencial para o processo de elaboração de um mapa ou uma planta e para a realização de buscas de elementos espaciais e análises de informações geográficas. Para plotar feições num mapa, é necessário definir a posição de pontos relativos a um sistema de referência de coordenadas.

O sistema de coordenadas pode ser usado para orientar uma busca (procura) através de bancos de dados no sentido de determinar quais as feições que ocorrem nas proximidades de um ponto ou numa região expressa em termos de suas coordenadas. Os sistemas de coordenadas que constituem a estrutura de referência necessária para o mapeamento e buscas de informações

⁷⁵ Datum: é um modelo matemático para a Terra para uma dada área.

⁷⁶ Data: é o plural do termo *datum*.

geográficas permitem identificar posições em termos de distâncias ou direções de pontos fixos, linhas ou superfícies.

De uma forma bem simples, a posição de um ponto pode ser definida por dois sistemas de coordenadas:

- ❖ **Sistema de coordenadas Cartesiano:** as posições dos pontos são definidas por suas distâncias perpendiculares a partir de um ponto inicial (origem). O exemplo mais simples e familiar é o caso de dois eixos interceptando-se num ângulo reto, vide Figura 6.7_a,b.
- ❖ **Sistema de coordenadas Polares:** as posições dos pontos são definidas por suas distâncias a partir de um ponto inicial (origem) e um ângulo, ou ângulos, as quais apresentam as direções relativas a um eixo ou a um plano que passe pela origem, vide Figura 6.7_c,d).

Além das definições anteriores, as posições na superfície terrestres podem ser definidas por um *sistema de coordenadas geográficas* relativas com o grau de latitude e longitude. Esta é a forma de definição do *sistema de coordenadas esféricas polar* no qual dois ângulos são medidos a partir de dois planos que passam pelo centro de uma esfera ou aproximadamente um esfera (esferóide), representando a forma da Terra, vide Figura 7.1_d). A distância não é especificada no sistema de coordenada mas é implícita, ou seja é o raio da terra para qualquer posição sobre superfície terrestre. Pelo fato da latitude e longitude referir-se a um posicionamento em 3D (espacial), é necessário para finalidades de cartografia a transformação do posicionamento para um sistema de coordenadas planas (2D) ou um mapa plano. Este tipo de transformação é chamado de *projeção* e pode ser realizada de várias maneiras.

Figura 6.7: (a) Sistemas de coordenadas Cartesiano, no plano (2D); (b) Sistema de Coordenadas Cartesiano, no espaço (3D); (c) Sistema de Coordenadas Polar; (d) Sistema de Coordenadas e Polar Geodésico (Geográficas).

A maneira mais simples de se definir um ponto no espaço é usar o sistema de coordenadas Cartesiano (tri-dimensional). Assim, o sistema de referência geodésico, é dado por:

1. Uma origem, O , geralmente coincidente com o centro de massa da terra;
2. Um eixo, Z , coincidente com o eixo de rotação da terra;
3. Um eixo, X , coincidente com o plano do Meridiano de Origem (Greenwich);
4. O eixo Y é perpendicular aos demais eixos e complementa um sistema dextrógiro.

Para qualquer ponto P no espaço, a ser definido por um sistema de referência geodésico, pode ser conhecido por suas coordenadas Cartesianas X , Y , e Z , conforme apresentado na Figura 6.8.

Figura 6.8: Coordenadas Cartesianas num sistema de referência geodésico.

Os principais tipos de projeções cartográficas da superfície terrestre são realizadas diretamente sobre um plano, ou sobre um cilindro ou uma superfície cônica as quais tendo sido conceitualmente envolvente ao redor da terra, pode ser “desenrolada” para a forma de uma superfície plana. Quando as linhas de latitude e longitude são plotadas num mapa, elas são apresentadas em forma de *grades reticulares* ou simplesmente identificadas por *malhas*, vide Figura 6.9. As coordenadas geográficas são um caso especial de coordenadas esféricas nas quais um ponto P é definido por um ângulo de latitude que medido relativo ao plano equatorial (perpendicular ao eixo de rotação) e um ângulo de longitude que é medido relativo a um plano de meridiano tomado como origem (Greenwich) passando pelo eixo de rotação. As famílias de linhas de mesma latitude e longitude constituem uma grade reticular ou malha.

Figura 6.9: Representação das coordenadas geográficas geodésicas de um ponto.

Todos os sistemas de projeções a partir de coordenadas geográficas na superfície terrestre para mapas em 2D envolvem com certeza algumas distorções. A escolha do sistema de projeção é usualmente dada pelo anseio de minimizar ao máximo as distorções sejam entre ângulos, dimensões lineares ou áreas. Por esta razão, é importante o conhecimento dos processos de projeções de mapas e as maneiras nas quais eles introduziram as correções internas de escala que são a grande fonte das distorções.

A consequência direta da variedade de sistema de projeções de mapas é que existem uma grande quantidade de mapas com diferentes sistemas de referências, sendo que alguns destes sistemas são particulares de algumas instituições. Isto significa dizer que quando há necessidade de se trabalhar com mapas de diferentes sistemas de projeções, certamente exige a necessidade de realizar transformações entre os sistemas de coordenadas para torná-los possível de analisar os dados sobre a mesma base cartográfica. O uso de computadores tem sido muito importante no sentido de agilizar estas complexas transformações.

Conforme apresentado anteriormente, a prática da cartografia por computador exige que se trabalhe com sistemas de coordenadas locais as quais são específicas para certos tipos de apresentações e sistemas de aquisição de dados. O uso de tecnologia para aquisição secundária de dados pode requerer transformações de tabelas de coordenadas digitalizadas para coordenadas geográficas ou coordenadas de quadriculas (grelhas) de mapas. Quando da digitalização de um mapa se exige a necessidade de compensar distorções devido a alterações do papel, esta tarefa torna-se laboriosa. Alguns problemas podem também surgir quando o sistema de coordenadas marcadas no papel não é uma malha regular de latitude e longitude. Nestes casos, pode ser necessário o uso de procedimentos de interpolação para ajustar os pontos a um sistema de coordenadas geográficas.

Para mapas de escala pequena, tais como os usados para representar grandes áreas da Terra, é apropriado pensar a Terra como uma esfera de raio constante. Sob um ponto de vista global, esta aproximação é muito boa uma vez que existe apenas uma diferença da ordem de 10km para cada lado a partir de um raio médio de 6378km. Para mapas de escalas grandes que representem grandes extensões de terra, a aproximação esférica não é adequada e deve-se levar em consideração a variação a forma geométrica real da superfície terrestre. MALING (1991) apresenta

uma série de aplicações de SIG que utiliza dados obtidos a partir de mapas digitalizados os quais apresentam imprecisões devido a consideração em sua base cartográfica da terra apresentar a forma geométrica esférica.

De acordo com a teoria gravitacional, se a Terra tivesse uma composição homogênea, a sua forma geométrica seria um elipsóide de revolução, gerado a partir da rotação de uma elipse em torno do semi-eixo menor. Devido a isso ocorre a existência de um achatamento na direção norte-sul ao longo do eixo de rotação terrestre. Numa seção transversal vertical, a forma da Terra é uma elipse com o semi-eixo maior coincidente com o plano equatorial e o semi-eixo menor coincidente com o eixo de rotação. As variações do relevo devido as montanhas, oceanos e mares podem ser observadas ora ocorrendo acima ora abaixo da superfície do elipsóide, enquanto que a direção da gravidade é sempre normal a superfície elipsoidal. A forma da Terra representada pela superfície equipotencial gravitacional é denominada de *geóide*.

A composição geológica da Terra é muito variável onde existem grandes variações de densidades de rochas que geram aumento de anomalias no campo gravitacional e conseqüentemente na forma do geóide. O campo gravitacional é expresso através do potencial gravitacional que consideram os efeitos das forças gravitacionais e centrífugas. As observações através de satélites demonstram que o campo gravitacional pode ser representado por uma superfície aproximada de uma elipse com uma saliência no pólo sul e uma depressão no pólo norte, produzindo assim uma superfície aproximada de uma *pêra*. Estas variações na forma do geóide podem ser ignoradas na elaboração de mapas topográficos de escalas grandes, uma vez que sem cometer grandes erros pode-se considerar a Terra como um elipsóide de revolução.

Devido a múltiplos fenômenos físicos, o geóide não é uma superfície matematicamente definível. De uma simples, o geóide pode ser representado por um esferóide com uma série de condições harmônicas. Esta consideração resulta na obtenção de uma esfera achatada ou na forma de uma pêra.

O elipsóide de referência é usado para definir um datum geodésico o qual um sistema de coordenadas será referenciado. As dimensões do elipsóide podem ser definidas pelo comprimento do semi-eixo maior (a) e do semi-eixo menor (b). Algumas instituições publicam as dimensões do elipsóide em função do semi-eixo maior (a) e do achatamento (f). BOMFORD (1980), VANICEK & KRAKINWSKI (1986) e TORGE (1991) apresentam uma série de valores de elipsóide propostos por vários pesquisadores e instituições internacionais.

A escolha simultânea do sistema de referência geodésica e o elipsóide geodésico são os modelos básicos que distinguem informações horizontais e verticais das coordenadas geográficas. Quando é feita esta definição, assume-se que a origem do elipsóide coincide com a origem O do sistema de referência e que o semi-eixo menor coincide com o eixo polar do sistema de referência geodésico. Assim, um ponto pode ser definido em função de suas coordenadas geográficas geodésicas *latitude*, *longitude* e *altura geométrica* (ϕ, λ, h), veja Figura 6.10.

Figura 6.10: Coordenadas geográficas: Cartesianas X, Y, Z e geodésicas (ϕ, λ, h) .

6.6 Transformação de coordenadas

Uma mesma figura geométrica pode ser representada em vários sistemas de coordenadas diferentes mantendo-se as suas propriedades geométricas. É possível calcular uma função de transformação entre sistemas de coordenadas desde que se conheçam as propriedades dos sistemas e as relações entre eles. Diz-se nesse caso que se realiza uma transformação de coordenadas.

Neste texto, trataremos apenas dos três casos mais simples de transformação de coordenadas, que são a transformação de coordenadas polares em retangulares e vice versa, a transformação entre sistemas de coordenadas retangulares e a transformação de coordenadas geográficas geodésicas em cartesianas espaciais e vice-versa.

6.6.1 Transformação de coordenadas polares em coordenadas plano-retangulares

Da Figura 6.6, conhecendo-se as coordenadas planas retangulares do ponto P , a transformação das coordenadas polares em coordenadas plano-retangulares de um ponto Q qualquer, é dada por:

$$X_Q = X_P + d_{PQ} \sin \beta \quad (6.2)$$

$$Y_Q = Y_P + d_{PQ} \cos \beta$$

ou inversamente,

$$d_{PQ} = \sqrt{(X_Q - X_P)^2 + (Y_Q - Y_P)^2} \quad (6.3)$$

$$\tan(\beta) = \frac{X_Q - X_P}{Y_Q - Y_P}$$

6.6.2 Transformação de coordenadas entre sistemas de coordenadas plano-retangulares.

Este tipo de transformação de coordenadas é de uso bastante freqüente em Mensuração, principalmente na Fotogrametria. O procedimento para a transformação exige apenas que se tenha alguns pontos com as coordenadas conhecidas em ambos os sistemas. A esses pontos dá-se o nome de pontos de controle. A transformação é dividida em três etapas:

- **Fator de escala:** Em alguns casos pode ocorrer que as escalas dos dois sistemas de coordenadas retangulares não sejam iguais. Nesses casos basta calcular o fator de escala existente entre os dois sistemas e aplicá-lo convenientemente. O fator de escala pode ser calculado a partir do uso das coordenadas de dois pontos de controle em ambos os sistemas de coordenadas. Assim, se os pontos P e Q possuírem, por exemplo, as coordenadas X_P, Y_P e X_Q, Y_Q no primeiro sistema de coordenadas e X'_P, Y'_P e X'_Q, Y'_Q no segundo, o fator de escala será igual a

$$s = \sqrt{\frac{(X'_Q - X'_P)^2 + (Y'_Q - Y'_P)^2}{(X_Q - X_P)^2 + (Y_Q - Y_P)^2}} \quad (6.4)$$

- **Rotação:** Considere a Figura 6.11. Nessa figura, o sistema XY , após multiplicado pelo fator de escala “s”, foi rotacionado por um ângulo θ , para coincidir com o sistema de coordenadas $X'Y'$. Nessas condições, as coordenadas de qualquer ponto no sistema XY serão transformadas para as coordenadas no sistema $X'Y'$ aplicando-se as equações indicadas abaixo.

Figura 6.11: Rotação de um plano.

$$\begin{aligned} X'_p &= X_p \cos \theta - Y_p \sin \theta \\ Y'_p &= X_p \sin \theta + Y_p \cos \theta \end{aligned} \quad (6.5)$$

Matricialmente temos

$$\begin{bmatrix} X'_p \\ Y'_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \end{bmatrix} \quad (6.6)$$

Ou seja, $X' = R * X$ onde,

$$X' = \begin{bmatrix} X'_p \\ Y'_p \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \end{bmatrix}$$

O que nos permite calcular a transformação inversa como indicado a seguir.

$$X = R^{-1} * X' \quad (6.7)$$

➤ **Translação:** Após aplicar o fator de escala e a rotação, pode ser necessário ainda aplicar uma translação para se obter as coordenadas finais no novo sistema. Considerando ainda a Figura 6.11, considere que foram aplicadas as translações T_ξ e T_η , em relação a origem do sistema de coordenadas $X'Y'$, para se obter as coordenadas no novo sistema $\xi\eta$. Nestas condições, as coordenadas de qualquer ponto no sistema $E'N'$ serão transformadas para as coordenadas no sistema $\xi\eta$ aplicando-se as seguintes equações:

$$\begin{aligned} \xi_p &= X'_p + T_\xi \\ \eta_p &= Y'_p + T_\eta \end{aligned} \quad (6.8)$$

Generalizando os passos para a transformação de coordenadas, podemos utilizar a forma matricial geral como indicada abaixo:

$$\xi = sRX' + T \quad (6.9)$$

onde, s = fator de escala e

$$\begin{aligned} \xi &= \begin{bmatrix} \xi_p \\ \eta_p \end{bmatrix} & R &= \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \\ X' &= \begin{bmatrix} X'_p \\ Y'_p \end{bmatrix} & T &= \begin{bmatrix} T_\xi \\ T_\eta \end{bmatrix} \end{aligned}$$

6.6.3 Transformação de Coordenadas Geográficas Geodésicas em Coordenadas Cartesianas Espaciais e vice-versa

Se as origens do sistema de coordenadas geodésicas e das coordenadas cartesianas forem coincidentes no centro de massa da Terra, as relações entre as coordenadas cartesianas e geodésicas são dadas pelas fórmulas seguintes.

Figura 6.12: Relação entre coordenadas geodésicas e cartesianas.

Seja a Figura 6.12. Considerando as coordenadas Cartesianas X, Y, Z de um ponto P no espaço e assumindo a existência de um elipsóide de revolução que tenha um sistema de coordenadas cuja origem seja coincidente com o sistema de coordenadas do ponto P ; este ponto pode ser definido também por suas coordenadas geográficas geodésicas (ϕ, λ, h) . A relação entre os sistemas de coordenadas Cartesiano e geodésico é dada pela seguinte equação:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h)\cos\phi\cos\lambda \\ (N+h)\cos\phi\sin\lambda \\ [N(1-e^2)+h]\sin\phi \end{bmatrix} \quad (6.10)$$

onde N é o raio de curvatura da primeira vertical obtida através da seguinte equação:

$$N = \frac{1}{\sqrt{a(1-e^2\sin^2\phi)}} \quad (6.11)$$

a primeira excentricidade dada por

$$e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2} \quad (6.12)$$

e a e b são os semi-eixos definidores do elipsóide. A equação (6.10) transforma coordenadas geográficas geodésicas para Cartesiana. Nos casos de aplicações do sistema GPS é mais importante a transformação de coordenadas Cartesianas para geodésicas, isto é, transformar coordenadas X, Y, Z para $\rightarrow (\phi, \lambda, h)$. Esta transformação pode ser realizada pela aplicação das seguintes equações:

$$\phi = \arctan \left\{ \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) \left(\frac{1}{1 - \left(e^2 \frac{N}{N+h} \right)} \right) \right\} \quad (6.13)$$

$$\lambda = \arctan \frac{Y}{X} \quad (6.14)$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \phi} - N \quad (6.15)$$

Usualmente este problema é resolvido de forma iterativa uma vez que os parâmetros ϕ e h são apresentados nas equações (6.13) e (6.15). O problema existe porque ambos termos são dependentes da latitude e da altura geométrica. Então, a solução pode ser dada pela iteração dos parâmetros seguindo os seguintes passos e a convergência da solução será mais rápida nos casos $h \ll N$.

- 1) Calcule um valor aproximado ϕ_0 a partir de

$$\tan \phi_0 = \frac{Z}{(1 - e^2) \left(\sqrt{X^2 + Y^2} \right)} \quad (6.16)$$

- 2) Calcule um valor aproximado N_0 a partir de

$$N_0 = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \phi_0 + b^2 \sin^2 \phi_0}} \quad (6.17)$$

- 3) Calcule a altura geométrica através de

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \phi_0} - N_0 \quad (6.18)$$

- 4) Calcule um valor “melhorado” para a latitude através de

$$\tan \phi = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(\frac{1}{1 - e^2 \frac{N_0}{N_0 + h}} \right) \quad (6.19)$$

- 5) Verifique para uma nova iteração: se $\phi = \phi_0$ então a iteração é concluída, senão considere $\phi_0 = \phi$ e continue o procedimento a partir do passo 3.

Existem vários métodos para a solução deste tipo de problema, alguns deles não precisam de iterações. Um exemplo de transformação sem necessidade de iteração é apresentado (HOFMANN-WELLENHOF et al. (1997) descrito a seguir:

$$\phi = \arctan \frac{Z + e'^2 b \sin^3 \theta}{\sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 a \cos^3 \theta} \quad (6.20)$$

$$\lambda = \arctan \frac{Y}{X} \quad (6.21)$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \phi} - N \quad (6.22)$$

onde

$$\theta = \arctan \frac{Za}{\sqrt{X^2 + Y^2} b} \quad (6.23)$$

é uma quantidade auxiliar e

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (6.24)$$

A equação (6.24) define numericamente a segunda excentricidade. Não existe razão porque estas equações são menos populares que aquelas usadas nos processo iterativo uma vez que não existe diferença significativa entre os resultados.

Numa terminologia formal, a seqüência de coordenadas e os tipos de coordenadas são definidos pela natureza do sistema de coordenadas utilizado. O nome, a unidade de escala e a direção dos eixos são definidos para cada eixo pela entidade de descrição de coordenadas. A seqüência de coordenadas é definida de acordo com o eixo de coordenadas de um dado “datum”. Se as coordenadas são dadas num sistema de projeção, as informações necessárias são apresentadas pela entidade de projeção do mapa. As descrições dos tipos de coordenadas incluem os diferentes tipos de sistemas de alturas que podem ser usados. As possíveis variações dos tipos de sistemas de coordenadas compreendem, SEEGER (1999):

Sistema de coordenadas tri-dimensional: define a posição do ponto de origem em relação ao centro de massa da Terra e a orientação do eixo-Z em relação ao eixo de rotação convencional terrestre, o eixo-X em relação ao meridiano convencional zero (Greenwich) e a adição do eixo-Y para formar um sistema dextrógiro. Pode ser definido das seguintes maneiras:

- ❖ Sistema de coordenadas Cartesiano (geocêntrico);
- ❖ Sistema de coordenadas geodésico com altura elipsoidal;
- ❖ Sistema de coordenadas geodésico com altura normal;
- ❖ Sistema de coordenadas com altura ortométrica;
- ❖ Sistema de coordenadas com número geopotencial;
- ❖ Cartesiano local (topocêntrico);
- ❖ Astronômico.

Sistema de coordenadas bi-dimensional: define a posição de um corpo na superfície terrestre num sistema de coordenadas bi-dimensional. É definido pelas coordenadas geodésicas de um ponto tomado como origem (origem de um

datum), a deflexão da vertical no ponto e a altura geoidal da origem bem como os parâmetros definidores do elipsóide geodésico. Pode ser definido das seguintes maneiras:

- ❖ Geodésico;
- ❖ Plano;
- ❖ Cartesiano local;
- ❖ Astronômico

Sistema de coordenadas unidimensional: define a relação da superfície de referência em relação ao nível médio dos mares (vertical global); pelo nível médio do mar de uma dada região (vertical regional) ou por qualquer outro ponto tomado como referência. Pode ser definido ainda das seguintes maneiras:

- ❖ Altura geométrica ou elipsoidal;
- ❖ Altura ortométrica;
- ❖ Altura normal;
- ❖ Número geopotencial.

6.7 Sistema de coordenadas do GNSS

O sistema GPS determina as coordenadas dos pontos tomando como referência o **Sistema Geodésico Internacional 1984**⁷⁷.

As posições dos satélites do sistema GPS são relativas ao sistema de coordenadas Cartesiano no WGS84. Neste sistema, os eixos coordenados são considerados tendo suas origens coincidente como o centro da Terra onde o eixo-Z é coincidente com o eixo de rotação terrestre e a posição do eixo-X coincidente com a direção do meridiano de Greenwich.

A posição geodésica de um ponto na superfície terrestre é definida relativa a um modelo elipsoidal para a Terra. A latitude geodésica é a inclinação da linha normal que passa pelo ponto e o plano elipsoidal. Longitude geodésica é definida pelo ângulo entre o meridiano elipsoidal que passa pelo ponto e o meridiano de referência. Por isso, os cálculos de latitudes e longitudes são dependentes do modelo elipsoidal usado para representar a superfície terrestre. O elipsóide WGS84 usado pelo GPS é um modelo tomado como sendo aquele que mais se aproxima da forma da Terra determinada por observações do campo gravitacional da mesma.

O sistema de referência WGS84 original é fruto de observações utilizando dados coletados a partir do sistema TRANSIT. A precisão deste sistema original é da ordem de 1 a 2 metros. Desde a sua criação, este sistema de referência já passou por duas correções. Estas correções levaram em conta apenas observações realizadas com o sistema GPS, nas semanas G730 e G873. A letra “G” significa GPS, ou seja, considerou-se apenas dados coletados pelo sistema GPS e os números 730 e 873 são referenciado ao número de semanas a partir da meia noite de sábado para domingo do dia 6 de janeiro de 1980 (semana ZERO). As precisões das coordenadas das estações para cada medição são de 10 cm para o WGS84(G730) e de 5 cm para o WGS84(G873) e foram consideradas, respectivamente, a partir de 29/6/1994 e a atual a partir de 29/1/1997. É bom frisar que o sistema de

⁷⁷ World Geodetic System 1984.

referência atual para o GPS, para as efemérides transmitidas, é o sistema WGS84⁷⁸ relativo a semana GPS-873.

Devido às correções impostas ao WGS84, alguns parâmetros físicos e geométricos relacionados a este sistema sofreram modificações, apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Parâmetros físicos e geométricos do sistema WGS84.

Parâmetro (original)	Parâmetro (G873)	Descrição
$a = 6378137 \text{ m}$	Igual	Semi-eixo maior
$f = 1/298,2572221$	$f = 1/298,257223563$	Achatamento
$\omega_e = 7292115 \cdot 10^{-8} \text{ rad/s}$	Igual	Velocidade angular da Terra
$GM = 3986005 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$	$GM = 3986004,418 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$	Constante gravitacional da Terra

Fonte: <http://164.214.2.59/GandG/sathtml/gpsdoc2001.03.txt>.

O sistema de coordenadas WGS84 é um sistema do tipo CTRS (Conventional Terrestrial Reference System). A definição deste sistema de coordenadas segue o critério do International Earth Rotation Service (IERS). E estes critérios são:

- **Origem:** Centro de massa da Terra, incluindo oceanos e atmosfera;
- **Eixo Z:** Direção do IERS Reference Pole (IRP). Esta direção corresponde à direção do BIH (Bureau International de L'Heure) Conventional Terrestrial Pole (CTP) (época de 1984.0) com a incerteza de 0,005";
- **Eixo X:** Intersecção do Plano Meridiano do IERS (IRM) com o plano que passa entre a origem e a normal ao eixo Z. O IRM coincide com o Meridiano Zero definido pelo BIH (época 1984) com a incerteza de 0,005";
- **Eixo Y:** Completa o sistema dextrogiro, Earth-Centered Earth Fixed (ECEF) sistema ortogonal de coordenada;

Quanto ao GLONASS, este tem os mesmos conceitos atribuídos ao GPS, diferindo quanto ao sistema de referência o qual utiliza o **Sistema PZ-90**, o antigo Sistema Geodésico Soviético 1985/90 – SGS-85.

Do exposto, desde que o sistema GLONASS foi declarado operacional em janeiro de 1996, surgiu a grande expectativa do uso deste sistema em conjunto com o GPS visto que proporciona posicionamento absoluto mais preciso e garante uma constelação mínima de 8 satélites (GPS e GLONASS) simultaneamente. O aumento do número de satélites certamente melhora as condições de geometria e reduz os efeitos de obstrução de sinais em áreas de vegetação densa ou em áreas urbanas. O uso combinado de satélites GPS e GLONASS contribui positivamente no sentido de melhorar a precisão do posicionamento e a confiança nas medições.

Conforme vimos anteriormente, os sistemas GPS e GLONASS não diferem somente pelos receptores usados na coleta de dados, mas por vários outros fatores tais como diferentes sistemas de referências de coordenadas, efeitos que degradam os sinais emitidos pelos satélites, sistema de contagem do tempo, etc. Com respeito aos sistemas de referência o GPS considera o WGS84(G873) enquanto que o GLONASS considera o PE-90 ou PZ-90. As características destes sistemas são apresentadas no **ICD-GPS-200**⁷⁹ e o **GLONASS ICD**⁸⁰, respectivamente.

⁷⁸ As versões predecessoras do WGS foram: WGS60, WGS66, WGS72 e o WGS84.

⁷⁹ GPS Interface Control Document (ICD-GPS-200), ARINC Research Corporation, July 1991.

MISRA et al. (1994) apresentou a primeira proposta de parâmetros de transformação entre os sistemas GPS e GLONASS. Neste estudo foram observados pontos durante vários dias um conjunto de satélites de ambos sistemas, obtendo a equação (6.25). Os parâmetros foram obtidos a partir dados coletados de efemérides transmitidas de satélites GLONASS referenciados ao SGS85. Vide Figura 6.13.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{WGS84} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 4m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & -3 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 3 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{SGS85} \quad (6.25)$$

Figura 6.13: Ilustração da transformação de coordenadas entre os sistemas SGS85 e WGS84.

Como as posições dos satélites foram obtidas a partir de efemérides transmitidas, as coordenadas obtidas nas estações terrestres apresentaram um erro da ordem de 30 a 40 metros. Devido a este fato, foi realizado um segundo estudo coletando dados em várias estações em países europeus com receptores de dupla frequência com código-P. Estas estações tinham como características de possuírem suas coordenadas bem determinadas relativas ao ITRF-94. ROOSBACH (1998) apresenta o resultado final do trabalho onde é proposta a equação (6.26) para a transformação entre os sistemas WGS84(ITRF-94) e o PZ-90.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{WGS84(ITRF-94)} = \begin{bmatrix} 1 & -1,6 \cdot 10^{-6} & 0 \\ 1,6 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}_{PZ-90} \quad (6.26)$$

A comunidade científica tem adotado o Sistema Convencional Terrestre de Referência (CTRS)81, fixado no centro da Terra, como referência nos trabalhos práticos e científicos. Esta tarefa foi de responsabilidade do Bureau International de l'Heure (BIH) até 1987, e tem sido

⁸⁰ GLONASS Interface Control Document (Ver. 1995), Coordinational Scientific Information Center of the Russian Space Forces, 1995.

⁸¹ Conventional Terrestrial Reference System (CTRS).

atualmente a cargo do International Earth Rotation Service (IERS) desde 1988. Este sistema agora é denominado de IERS Terrestrial Reference Frame (ITRF), e é verdadeiramente geocêntrico e sua orientação é tomada como referência de orientação para estudos de rotação da Terra. Maiores detalhes podem ser adquiridos através da página do ITRF que <http://maia.usno.navy.mil/bulletin-a.html>.

O serviço IERS está concretizado em uma estrutura organizacional que permite processamento imediato de dados. É constituído por diversas instituições que contribuem na tarefa de observação e processamento. O IERS é composto de uma Agência Central, Subagências e Centros de Coordenação, para cada uma das principais técnicas de observação, como apresentado na Tabela 6.5, a seguir.

Tabela 6.5: Organização do IERS.

	Agência Central
	de referenciais celestes
Sessões	de referenciais terrestres
	de orientação da Terra
Sub-agências	para serviços rápidos e previsões
	para atmosfera e momento angular
	de coordenação VLBI
Centros	de coordenação LLR
	de coordenação SLR
	de coordenação GPS

Os referenciais IERS consistem do ICRF⁸² e do ITRF⁸³. São abordados neste texto os referenciais ITRF. O ITRF é um referencial terrestre do tipo CTRS (Conventional Terrestrial Reference Frame). O Sistema de Referência Convencional Terrestre segue os seguintes critérios (BOUCHER, 1990):

- ◇ É geocêntrico, o centro de massa definido para a Terra inclui oceanos e atmosfera;
- ◇ A escala é a de um sistema terrestre local, dentro do significado da teoria gravitacional;
- ◇ A orientação foi inicialmente baseada na orientação do BIH para a época 1984;
- ◇ A evolução temporal da orientação não deve permitir rotação global residual com relação à crosta.

O CTRS, monitorado pelo IERS é chamado de International Terrestrial Reference System (ITRS) e está especificado pelo IUGG⁸⁴, Resolução n°. 2, publicada no 20th IUGG General Assembly of Vienna, em 1991.

As publicações dos ITRS são realizadas pelo IERS com o nome de International Terrestrial Reference Frames (ITRF), o qual consiste de uma lista de coordenadas (e velocidades) para os locais selecionados pelo IERS (estações de monitoramento ou marcos terrestres) e por tabelas com parâmetros de transformação dos referenciais ITRF entre si e entre outros sistemas de referência. O ITRF é publicado anualmente pelo IERS nos Technical Notes (McCARTHY, 1996) e já está fazendo parte do dia-a-dia dos profissionais envolvidos com posicionamento.

⁸² ICRF: IERS Celestial Reference Frame

⁸³ ITRF: IERS Terrestrial Reference Frame

⁸⁴ IUGG: International Union of Geodesy and Geophysics

As coordenadas do ITRF são dadas em um sistema convencional onde os padrões e parâmetros estão publicados no IERS Technical Note 13 (McCARTHY, 1992). Nessa publicação é apresentado um conjunto de constantes e de modelos usados pelos centros de análise (VLBI, LLR, SLR e GPS) e a combinação de resultados realizada pela Agência Central. O GPS passou a fazer parte do ITRF em 1991.

O primeiro ITRF que surgiu foi o ITRF-0, na qual foi adotada a origem, orientação e escala do BTS87⁸⁵. As sucessivas realizações do ITRF foram ITRF-88, ITRF-89, ITRF-90, ..., ITRF-94, ITRF-96 e a atual ITRF-97. A orientação, a origem e a evolução temporal do ITRF-96 foram definidas de modo a serem iguais às do ITRF-94. MONICO (2000) apresenta um bom relato a respeito deste sistema de referência e na home-page <http://lareg.ensg.ign.fr>.

Em virtude na grande utilização do WGS84 e do surgimento do ITRF como um sistema de referência, que em virtude dos parâmetros que são utilizadas para o cálculo de suas coordenadas, é mais preciso que o WGS84, surgiu a necessidade de estabelecer parâmetros de correlação entre eles.

Esta correlação foi estabelecida com os conjuntos de coordenadas do WGS que passaram pelos refinamentos em 1994, resultando o conjunto denominado por 'WGS84 (G730)' e o realizado em 1996 denominado por 'WGS84 (G873)'.

O TECHNICAL REPORT (NIMA, 1997), mostra que após ajustamentos realizados com determinados parâmetros, chegou-se à conclusão de que as coordenadas do WGS84 (G730) correspondem às do ITRF92 $\pm 10\text{cm}$ e as coordenadas do WGS84 (G873) correspondem às do ITRF94 $\pm 2\text{cm}$. Afirma, também, que as dispersões diárias dos parâmetros que foram utilizados, mostram que estas diferenças são estatisticamente insignificantes e podem ser considerados os mesmos, respectivamente.

Com o objetivo de confirmar e adquirir mais informações sobre as conclusões apresentadas no TECHNICAL REPORT (NIMA, 1997), após pesquisas e contatos estabelecidos por e-mails encontrou-se as seguintes afirmações:

- ♦ MALYS et al. (1997), apresentam as considerações e os procedimentos realizados sobre os refinamentos do WGS84, mostrando, também, os parâmetros utilizados para a realização das comparações entre o WGS84 (G873) e o ITRF94, chegando à conclusão que podem ser considerados equivalentes;
- ♦ ALTAMINI (1999), MALYS (1999) e CORNMAN (1999), através de e-mails, relatam que o WGS84 (G730) e o ITRF92 podem ser considerados os mesmos, com incerteza de 10cm. Uma das mensagens recebidas por correio eletrônico está transcrita neste trecho: "The answer to your question is that there is no transformation parameters available between WGS84 (G730) and ITRF92. So you can consider them as the same (within 10cm uncertainty).(ALTAMINI, 1999)".

Em virtude da existência de diversos sistemas de referência, surgiu a necessidade de calcular parâmetros de transformação entre os sistemas. Estes parâmetros representam a translação de um elipsóide para o outro. (GEMAEL, 1981) Estes parâmetros devem ser aplicados às coordenadas cartesianas.

Sejam dois sistemas cartesianos, o primeiro X_1, Y_1, Z_1 com origem em O_1 e o segundo, X_2, Y_2, Z_2 com origem em O_2 , ilustrado na Figura 6.14.

⁸⁵ BTS: BIH Terrestrial System.

Figura 6.14: Relação entre sistemas cartesianos.

Se os ângulos de rotação forem pequenos, o que ocorre na maioria dos casos, a transformação entre estes dois sistemas pode ser feita através da seguinte equação:

$$\begin{Bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_3 & R_2 \\ R_3 & D & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{Bmatrix}$$

onde,

- ♦ X_2, Y_2, Z_2 são as coordenadas transformadas (sistema destino o_2);
- ♦ X_1, Y_1, Z_1 são as coordenadas originais (sistema origem o_1);
- ♦ T_1, T_2, T_3 são os parâmetros de translação de o_2 para o_1 , segundo os três eixos;
- ♦ R_1, R_2, R_3 são os parâmetros de rotação diferencial em torno dos eixos, X_2, Y_2, Z_2 respectivamente, para estabelecer o paralelismo com os eixos X_1, Y_1, Z_1 ;
- ♦ D é o fator de escala.

ALTAMIMI (1999) apresenta os parâmetros de transformação, apresentados na Tabela 6.6, ou podem ser obtidos através no endereço eletrônico: <ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/itrf/itrf94/ITRF94.TX>.

Tabela 6.6: Parâmetros de transformação entre o ITRF92 e ITRF94 e ITRF93 e ITRF94.

de → para	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3
ITRF92→ITRF94	-0,8	-0,2	0,8	0,08	0	0	0
ITRF93→ITRF94	-0,6	0,5	1,5	-0,4	0,39	-0,8	0,96

Fonte: ALTAMIMI (1999)

6.8 Sistema de referências no Brasil

A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE - é o órgão oficial nacional responsável pela definição, implantação e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro. O referencial horizontal do SGB é definido sob a condição de paralelismo entre o seu sistema de

coordenadas cartesianas e o do CTRS. O referencial altimétrico é materializado pela superfície equipotencial que coincide com o nível médio do mar, definido por observações maregráficas tomadas na baía de Imbituba, no litoral do estado de Santa Catarina, MONICO (2000).

Para surpresa de muitos, no Brasil existem hoje três sistemas de coordenadas amplamente utilizados. Por força de lei, a Geodésia e a Cartografia nacional utilizam, atualmente, o ponto VT-CHUÁ como marco fundamental da rede horizontal. Porém uma boa parte da produção cartográfica ainda está referenciada ao marco CÓRREGO ALEGRE. Este utiliza o modelo geométrico do Elipsóide Internacional para referência dos demais pontos, enquanto que o VT-CHUÁ utiliza o Elipsóide SAD69. A marinha e a aeronáutica utilizam o sistema WGS84 como referência devido a acordos internacionais. Com isso, percebe-se que nos dias atuais quando falamos em coordenadas de pontos é muito importante ter o conhecimento de qual sistema os pontos estão referenciados. Um mesmo ponto pode apresentar três coordenadas relativas a diferentes sistemas de referências.

O usuário deve ter em conta que existem diferenças entres estes três sistemas, chegando a ordem de algumas dezenas de metros, isto é, um dado ponto pode ter diferentes valores de coordenadas para cada um dos sistemas. A relação entre estes sistemas dá-se através de valores numéricos constantes, denominados de *parâmetros de transformação*. A aplicação destes parâmetros permite a transformação de coordenadas de um sistema para o outro. Os parâmetros a serem utilizados devem ser reconhecidos pelo IBGE.

O IBGE por vários anos, adotou para o Brasil o Elipsóide Internacional de Hayford de 1924, na representação que se denomina “CÓRREGO ALEGRE”. Este, é um vértice de uma rede geodésica da cadeia de triangulação do paralelo 20° S. Toda a rede brasileira estava referida a esse “datum”, e os parâmetros eram os do Elipsóide Internacional de Hayford (vide Tabela 6.7). Os elementos de fixação e orientação deste elipsóide eram os seguintes:

$$\begin{aligned} \diamond \quad \phi_g &= 19^{\circ} 45' 15,14'' S \\ \diamond \quad \lambda_g &= 48^{\circ} 57' 42,75'' W \\ \diamond \quad A_g &= 128^{\circ} 21' 48,96'' \\ \diamond \quad N = \xi = \eta &= 0 \end{aligned}$$

Antes do oficializar o SAD69 como referencial geodésico brasileiro, a cartografia nacional era fundamentada no datum CÓRREGO ALEGRE. É importante citar que, até os nossos dias, muitos de nossos mapas ainda estão referenciados a este datum. O usuário deve prestar muita atenção, no sentido de verificar qual foi a base cartográfica que foi utilizada para gerar o mapa em questão.

Posteriormente, foram realizados estudos gravimétricos, na mesma cadeia de Córrego Alegre, na região de Chuá, próximo a Uberaba (MG), para a determinação dos valores do desnível geoidal, do desvio da vertical e das novas coordenadas deste mesmo ponto físico. Nestes estudos, adotou-se o elipsóide da Associação Geodésica Internacional (AGI-1967), e o ajuste mostrou uma boa adaptação, não apenas para o Brasil mas também para toda a América do Sul. A partir de 1969, adotou-se o elipsóide da AGI, que recebeu o nome de SAD69 (South American Datum - 1969).

Tabela 6.7: Elementos definidores do elipsóide terrestre.

operador	semi-eixo maior (a) [m]	semi-eixo menor (b) [m]	f	$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$
BESSEL (1841)	6 377 397,16	6 356 078,767	1/299,15	0,08169721473
CLARKE (1858)	6 378 249,17	6 356 514,524	1/293,46	0,0824841017
HELMERT (1907)	6 378 200	6 356 818,170	1/298,30	0,08181333427
HAYFORD* (1909)	6 378 388	6 356 911,946	1/297	0,0819918888
GRS 1967	6 378 160	6 356 774,516	1/298,247167427	0,08182056845
KRASSOVSKY	6 378 245	6 356 863,019	1/298,3	0,08181333378
SAD69	6 378 160	6 356 774,719	1/298,25	0,08182018075
WGS-72	6 378 135	6 356 750,520	1/298,26	0,08181881158
PZ-90	6 378 136	6 356 751,362	1/298,257839303	0,08181910509
WGS84	6 378 137	6 356 752,314	1/298,257223563	0,08181918994

* Conhecido também como Elipsóide Internacional.

A Tabela 6.7 é modesta na apresentação dos elipsóides propostos pela comunidade científica ao longo dos anos. Na realidade, esta lista de elipsóides é superior a uma centena de valores. Neste sentido, o leitor deve ter sempre em mente que devido a diversidade de elipsóides a definição de coordenadas de pontos deve ser muito cuidadosa, uma vez que a coordenada de um ponto varia de elipsóide para elipsóide.

O IBGE estabeleceu que, a partir de 1977, o Datum Brasileiro seja adotado como sendo o DATUM SAD-1969, tendo como origem o vértice de triangulação CHUÁ, próximo da cidade de Uberaba (MG), cujas coordenadas geográficas geodésicas, azimuth do vértice, e o afastamento geoidal, são os seguintes:

◇ latitude	$\phi = 19^{\circ} 45' 41,6527''$ S
◇ longitude	$\lambda = 48^{\circ} 06' 04,0639''$ W
◇ azimuth	$A_z = 271^{\circ} 30' 04,05''$
◇ altura geoidal	$N = 0$ m
◇ componente meridiana	$\xi = -0,31''$
◇ componente 1ª meridiana	$\eta = 3,59''$

Os parâmetros do elipsóide do SAD69 são:

◇ $a = 6\,378\,160$ m
◇ $f = 1/298,25$

Como as atividades cartográficas em nosso país são oficialmente referenciadas ao SAD69, devem ser adotadas algumas soluções para que as coordenadas de pontos obtidos a partir do sistema GPS possam ser aplicadas para fins de mapeamento, ou quaisquer outras atividades que requeiram informações georreferenciadas.

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é um *sistema definido* caracterizado por um conjunto de pontos geodésicos implantados na superfície territorial, determinados por procedimentos operacionais e com coordenadas calculadas segundo modelos geodésicos de precisão

compatível com a finalidade a que se destinam. Desta forma, este sistema tem sido referido como um *sistema materializado*, FORTES et al. (1989). Quanto a orientação do sistema, tem-se as seguintes considerações:

- **geocêntrica:** o eixo de rotação é paralelo ao eixo de rotação da Terra. O plano meridiano origem é paralelo ao plano meridiano de Greenwich, conforme definido pelo BIH⁸⁶;
- **topocêntrica:** no vértice CHUÁ da cadeia de triangulação.

Conforme afirmação anterior, muitos de nossos mapas ainda estão georreferenciados ao datum de Córrego Alegre. Com isso, o IBGE publicou no Boletim de Serviço, Suplemento 602 de 1983 os parâmetros de transformação entre os data VT-CHUÁ para CÓRREGO ALEGRE:

$$Tx = 138,70m$$

$$Ty = -164,40m$$

$$Tz = -34,40m$$

LAZZARO & BLITZKOW (1988) realizaram experimentos para verificarem a eficácia destes parâmetros obtendo os seguintes valores:

$$Tx = 147,44m \pm 1,10m$$

$$Ty = -177,33m \pm 1,10m$$

$$Tz = -36,23m \pm 0,55m$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = 0,5212 * 10^{-2}''$$

Ainda neste trabalho, LAZZARO & BLITZKOW (1988) alertam ao IBGE a reavaliação dos parâmetros oficiais uma vez que os resultados obtidos apresentaram o maior resíduo em latitude e longitude da ordem de 0,093'' e 0,091'', respectivamente.

É muito importante o conhecimento a respeito do sistema WGS84 e a possibilidade de realizar transformações de coordenadas obtidas neste sistema para outros sistemas, como por exemplo o SAD69, o Elipsóide Internacional de Hayford, etc. A comunidade cartográfica nacional, usuária das técnicas de posicionamento por satélites, vem exigindo nos últimos anos a divulgação de parâmetros de transformação atualizados entre os diferentes referenciais vinculados às efemérides dos satélites de posicionamento – TRANSIT, GPS, etc. O IBGE é o órgão oficial responsável pela divulgação dos parâmetros oficiais de transformação de coordenadas entre os diferentes sistemas.

Com o uso crescente da tecnologia GPS, a nível internacional e nacional, o IBGE sentiu a necessidade de editar parâmetros oficiais de transformação entre os sistemas SAD69 e WGS84. Neste sentido, foi realizada uma campanha de rastreamento no VT-CHUÁ com o objetivo de coletar dados para o cálculo e posterior obtenção dos parâmetros de transformação. A campanha foi realizada durante 24 dias; os dados foram processados e os cálculos apresentaram os seguintes resultados para as coordenadas cartesianas, segundo o sistema WGS84:

⁸⁶ BIH: Bureau International de L'Heure.

$$X = 4010548,44m \pm 0,43m$$

$$Y = -4470076,61m \pm 0,44m$$

$$Z = -2143179,02m \pm 0,40m$$

Do mesmo modo, foram obtidas as coordenadas deste ponto, segundo o sistema SAD69, a partir das coordenadas geodésicas e ondulação geoidal definidas:

$$X = 4010615,31m$$

$$Y = -4470080,98m$$

$$Z = -2143140,50m$$

Comparando-se as coordenadas entre os dois sistemas, verifica-se a existência de parâmetros de transformação do sistema WGS84 para o sistema SAD69. Estes parâmetros são:

$$Tx = 66,87m$$

$$Ty = -4,37m$$

$$Tz = 38,52m$$

É importante citar que o uso de tais parâmetros, ou de outros, não garante uma transformação isenta de erros uma vez que eles não são capazes de corrigir as distorções, algumas de natureza local, que as redes, de um modo geral, possuem. Em outras palavras, os parâmetros trazem consigo erros residuais que são mais facilmente detectados quanto maior for a escala da representação gráfica.

Percebe-se pelos parâmetros apresentados que neste caso trata-se apenas de três translações, uma vez que foi admitido que os sistemas SAD69 e WGS84 são paralelos e com mesma escala. As coordenadas latitude e longitude são definidas em função da medida do ângulo a partir do centro de massa da Terra. A localização deste ponto pode ser alcançada com o uso da gravimetria.

Vimos que ao se realizar um posicionamento através da tecnologia GPS, as coordenadas obtidas para os pontos são relativas ao WGS84, que é um sistema de coordenadas geocêntrico, ou seja a origem do sistema está no centro de massa da Terra.

É muito importante ressaltar que ao considerar a precisão oferecida pelo sistema GPS, observa-se que as redes convencionais, bem como os parâmetros de transformação em uso, oferecem precisão muito inferior, degradando a qualidade dos resultados obtidos com o GPS. Além disso, os vértices das redes convencionais estão, de um modo geral, situado em locais de difícil acesso e mal conservado, limitando assim a capacidade do GPS em termos de agilidade e precisão da colocação da antena sobre o ponto. VERONEZ (1997) apresenta uma boa discussão sobre a precisão dos parâmetros de transformação entre os sistemas WGS84 e SAD69 para a região da cidade de São Carlos (SP). Neste trabalho fica muito clara a necessidade da revisão dos parâmetros de transformação para todo o território brasileiro. O uso dos parâmetros proposto pode levar os usuários a obterem erros de alguns metros nas coordenadas dos pontos. Para fins de aplicação de SIG os parâmetros podem ser aplicados, porém os usuários devem estar atentos ao grau de precisão que se deseja obter no trabalho.

Como consequência dos problemas advindos das redes geodésicas convencionais, começou a haver em nosso país no início da década de 90 um movimento para o estabelecimento de redes aplicando a tecnologia GPS em virtude das precisões alcançadas em outros países. SEGANTINE (1995) apresenta a primeira experiência no estabelecimento e ajustamento de redes geodésicas para

o estado de São Paulo. A experiência adquirida foi um grande passo para que outros estados brasileiros viessem a implantar suas redes estaduais, como por exemplo o estado do Paraná, Rio Grande do Sul, Espírito Santo e outros em implantação. A rede de São Paulo é composta por 25 estações sendo 24 espalhadas pelo estado e mais a estação fiducial do VT-CHUÁ. Os vetores desta rede apresentam um comprimento médio da ordem de 150km e os dados coletados foram obtidos por receptores de dupla frequência. Todo o trabalho de campo foi realizado pelo IBGE.

Conforme afirmamos anteriormente, existem hoje no Brasil três sistemas de coordenadas amplamente utilizados que são o CÓRREGO ALEGRE, SAD69 e o WGS84. O problema tornou-se um pouco mais envolvente após o IBGE ter divulgado, em 1996, uma nova listagem de coordenadas no SAD69 que vem sendo reconhecida como SAD96. Como esperado, existem diferenças entre as coordenadas do SAD69 e o SAD96 de até vários metros. Contudo, os parâmetros de transformação do SAD69/96 para o WGS84 permanecem os mesmos, o que nos parece muito estranho e que uma vez mais exige uma revisão, por parte do IBGE, dos parâmetros a serem adotados nesta transformação. Vale a pena citar que já existem cartas elaboradas no sistema SAD69/96. A divulgação da listagem de coordenadas SAD69/96 apresenta um fato inédito no Brasil que é a existência de duas redes nacionais associadas a um mesmo sistema de coordenadas, SANTOS (1999).

Recentemente o IBGE fez parte de uma campanha GPS para o estabelecimento do Sistema de Referência Geocêntrico da América do Sul – SIRGAS. As campanhas para a coleta de dados para este projeto foram realizadas no período de 26/05/95 a 14/06/95. O objetivo deste projeto era a determinação de um sistema de referência geocêntrico, usando algumas estações do International GPS Service – IGS -, como pontos fiduciais, as quais eram referenciadas ao ITRF-94. Naquele período foram rastreadas 65 estações espalhadas por toda América Latina, inclusive Cuba, sendo 7 das quais pertencentes ao IGS. É importante citar que 10 estações estão localizadas em território brasileiro. O resultado desta rede apresentou um erro da ordem de 4mm para cada uma das coordenadas. Maiores informações deste projeto pode ser obtido junto a *home-page* do IBGE: www.ibge.gov.br.

O maior avanço na área de Geodésia dado pelo IBGE recentemente foi a proposta do estabelecimento de uma rede de monitoramento ativo que é a RBMC, descrita no item 5.2.2. Esta rede engloba um conceito moderno que integra os mais recentes desenvolvimentos na área de posicionamento, e não só permitirá o acesso aos usuários do SGB como fará parte de uma rede mundial, reduzindo assim custos em campanhas internacionais.

Concluindo, devido a precisão alcançada pelo posicionamento gerado a partir da tecnologia GPS, tem sido o indicado pela comunidade científica que este sistema passe a ser o adotado na implantação de redes geodésicas. Sob o ponto de vista dos usuários do GPS o ideal é que seja adotado um sistema de coordenadas geocêntrico. Esta tarefa não é das mais fáceis e não podemos tomar atitudes intempestivas e passarmos a adotar o sistema WGS84 ou o SIRGAS como o nosso novo sistema de referência. Este assunto tem sido muito discutido por profissionais da área, pesquisadores e o IBGE para que seja traçada uma estratégia de mudança ao longo do tempo, ou seja, tem-se consciência da necessidade da mudança mas ela não pode ser realizada de uma hora para outra. Com certeza isto exigirá um tempo de transição para que toda a cartografia nacional vá introduzindo as alterações ao longo dos anos futuro.

7 APLICAÇÕES DE DADOS DO GNSS EM SIG

Este capítulo tem por objetivo apresentar uma discussão a respeito da precisão dos dados coletados por receptores do sistema de posicionamento global, como se realizam as transferências de dados e as principais aplicações destes dados em SIGs.

“O aspecto mais sublime da dignidade humana está na vocação do homem à comunhão com Deus”.
(Catecismo da Igreja Católica, Artigo 27)

7.1 Generalidades

Os usuários devem ter em mente que somente pouquíssimas aplicações de SIG (aplicações locais) podem negligenciar um sistema de referências geodésicas ou um sistema de coordenadas. Na grande maioria de casos, é essencial que as descrições geográficas sejam realizadas usando uma rede de referência. No passado, utilizava-se de uma rede de referência nacional definida e mantida por uma agência oficial.

Com o advento do **Global Navigation Satellite System (GNSS)**, passou-se a existir a possibilidade do uso de uma rede de referência uniforme para todo o planeta. A consequência deste fato é a determinação da posição de pontos relativos com uma rede de referência a baixo custo e instantaneamente. Fica evidente que o surgimento desta possibilidade beneficiou os usuários de SIG, SEEGER (1999). Na prática, o desenvolvimento destas técnicas gerou ramificações de aplicações para os usuários de SIG devido a facilidade de levantamento e a globalização de um sistema de referência.

Embora a tecnologia SIG ofereça uma tremenda capacidade de geração de informações para tomada de decisões, gerenciamento e manejo, ainda é dependente da qualidade e da confiabilidade dos dados. O grande crescimento na área de SIG como uma ferramenta de gerenciamento e manejo de informações têm sido acompanhadas pelo desenvolvimento de outras tecnologias, como por exemplo o GNSS, LANGE & GILBERT (1999).

Conforme definido anteriormente, o SIG oferece a facilidade de aquisição, armazenamento, manejo, manipulação e a geração de relatórios detalhados dos dados espaciais que auxiliam o processo de tomada de decisões. Basicamente, um SIG faz o computador pensar que os dados geográficos estão dispostos como um mapa – um mapa com uma poderosa capacidade de análise de informações espaciais.

O GNSS é um parceiro natural do SIG e suas funções primárias são ferramentas importantes para localizar um dado particular de interesse de aplicações de um SIG. O GNSS é um sistema complexo e permite ao usuário o conhecimento de sua posição geográfica através do uso de uma antena e um receptor de sinais. A precisão do posicionamento varia de poucos milímetros a alguns metros, dependendo do equipamento e/ou do método utilizado na coleta dos dados. O receptor de dados do GNSS pode apresentar ao usuário a sua posição atual ou posições anteriormente ocupadas. Então, pode-se afirmar que o GNSS serve como uma boa fonte de dados de entrada para os SIGs. Conforme apresentado anteriormente, os SIGs podem captar dados a partir de mapas, fotos aéreas, etc. Estes, podem ser escaneados por algum meio automático ou, mais comumente usado, através a digitalização manual usando um “mouse” percorrendo sobre as feições dos mapas. Com o GNSS, a superfície da terra passa a ser uma mesa digitalizadora; a antena do receptor passa a ser o “mouse”. Esta aproximação inverte todo o processo tradicional de coleta de dados de um SIG; onde o dado espacial vem diretamente do campo e o mapa passa a ser um documento pronto a ser plotado. Durante os últimos anos, o GNSS tem sido reconhecidamente um meio muito importante para aquisição e no controle da qualidade dos dados na área de SIG. Conforme afirmamos no capítulo 5, este texto centraliza a maioria de seus comentários relativos ao sistema GPS uma vez que este é o sistema mais utilizado por toda a comunidade científica e usuários civis.

Alguns fabricantes de receptores estão fornecendo modelos de instrumentos que possibilita a coleta de dados e ao mesmo tempo em que se registre na coletora alguns atributos de entes levantados. Estes instrumentos possibilitam a obtenção de coordenadas de pontos nos formatos exigidos pelo SIG o qual se deseja operar na aplicação do projeto.

É muito importante que o usuário tenha uma clara descrição de suas necessidades de projeto antes de procurar um representante vendedor de receptores, uma vez que existem umas

séries de modelos disponíveis no mercado. Normalmente, a acurácia é o primeiro critério a ser avaliado na escolha do modelo. A acurácia dos receptores pode ser, de uma forma resumida, apresentada na Tabela 7.1⁸⁷. O usuário deve ter em mente que apesar do GPS oferecer a acurácia desejada, ele pode deixar de oferecer outras características importantes para um SIG.

Tabela 7.1: Níveis de acurácia de receptores GPS

Nível	Acurácia [m]
Baixa	50 - 100
Média	2 - 10
Alta	0.1 - 2

Conforme apresentado anteriormente, na sessão 1.10, os dados coletados e processados são responsáveis por 60-80% dos custos de implantação de um SIG. O maior custo na aquisição dos dados não é devido ao custo de aquisição dos equipamentos, mas sim devidos aos custos inerentes aos trabalhos de campo.

A solução obtida por posicionamento de navegação a partir da tecnologia GPS oferece um excelente método de levantamento expedito de uma rede dentro de uma área previamente mapeada ou fotografada. O hábito de se realizar um pré-levantamento com um receptor GPS manual pode ser muito útil numa análise inicial de bancos de dados. Um levantamento mais preciso pode ser realizado através de uma navegação diferencial usando fase da portadora, LOGSDON (1995).

Os usuários de SIG, vêm nos últimos tempos, aprendendo a explorar toda a capacidade de informações oferecidas pelo GPS. Este sistema oferece um flexível, eficiente e relativamente uma técnica barata na coleta direta de medições de coordenadas de pontos no campo. O nível de acurácia que se pode obter depende do método de coleta de dados no campo. O usuário deve ter em mente que existem um grande número de problemas significantes quando as coordenadas obtidas a partir do GPS são combinadas com outros dados de posicionamento. Em particular, isto se torna mais evidente quando informações de posicionamento são originárias de mapas digitais.

Os dados coletados com GPS podem ser diretamente usados como dados de entrada num SIG, de modo a oferecer uma estimativa da posição dos atributos. Da mesma forma é possível captar um ente a partir de um SIG e encontrar a sua posição no campo usando um GPS. Esta técnica tem sido muito útil no desenvolvimento de aplicações GPS em áreas tais como florestas, onde normalmente é muito difícil a identificação precisa no campo, ou na agricultura de precisão. O GPS pode também ser usado na atualização de bancos de dados de um SIG através do oferecimento de locações mais precisas de entes tais como o cruzamento de vias, intersecções, etc.

A tecnologia GPS, em várias aplicações, oferece a oportunidade de reduzir os custos na captura de alguns dados, especialmente nos casos de locais onde não existem mapas analógicos ou que ainda não possuam registros de levantamentos prévios. Várias decisões que podem ser feitas ao longo do processo mas que também necessitem de resultados a partir de análises de um SIG e que podem ser verificadas no campo. Nestes casos, o GPS oferece uma solução simples para confirmar a posição no campo para os usuários de SIG e Sensoriamento Remoto, MASTERS et al. (1994).

Os aspectos que tornam o GPS aplicável na área de SIG são que os custos de aquisição dos equipamentos estão cada vez mais acessíveis, fáceis de usar, aplicável em qualquer lugar do planeta, pode ser tão preciso quanto se necessite, posicionamento de pontos em 3D e informações de velocidade e tempo. O GPS também possibilita o monitoramento de fenômenos dinâmicos, demonstrando assim o grande campo de aplicações que pode integrar o seu uso com o SIG, como por exemplo, na locação de entes e mapeá-los, MASTERS et al (1994).

⁸⁷ Vale a pena lembrar que esta tabela é válida nas situações onde o efeito SA está ativado. Nas situações onde o este efeito esteja inativo, esta tabela deve ser revista uma vez que os valores de precisão mudam consideravelmente.

Os usuários devem ter em mente três importantes características do GPS que determinam a utilidade desta tecnologia: a acurácia dos métodos de posicionamento na captação dos dados, os diversos métodos de posicionamento e as transformações dos sistemas de coordenadas. Estas recomendações devem ser cuidadosamente consideradas quando a tecnologia GPS está sendo usada na aquisição de dados para um SIG.

A Tabela 7.2 apresenta um indicativo dos métodos de processamento que podem ser usados na captação de dados para um SIG. Normalmente, os dados de um SIG têm sido derivado a partir de uma escala específica de um mapa.

Tabela 7.2: Sugestão para modo de processamento de dados GPS para aplicações em SIG.

Escala do mapa	Precisão do mapa	Modo de processamento dos dados GPS
100 000	50m	Navegação
20 000	10m	DGPS
10 000	5m	DGPS
5 000	2.5m	DGPS – com a fase
1 000	1m	DGPS – com a fase
500	0.5m	Cinemático, Rápido-estático

Adaptado de MASTERS (1994)

Para alguma aplicação específica, a acurácia dos bancos de dados do SIG necessitaria ser mais cuidadosamente acessada antes de se decidir qual o tipo de processamento que seria necessário. A Tabela 7.2 assume que os dados GPS podem ser transformados de um datum local para qualquer datum geodésico com o mínimo de erro. É evidente que um receptor manual, onde a posição do ponto é dada por navegação, será conveniente para aplicações de SIG que não requeiram grandes precisões.

7.2 Obtenção de dados para um SIG com receptores GPS

Sob o ponto de vista da computação, um SIG pode ser definido como o casamento de bancos de dados gráfico (ou geográfico) - **GDB**⁸⁸ - com outros bancos de dados, mais comumente bancos de dados relacionais - **RDB**⁸⁹. Alguns outros bancos de dados, que contém atributos sobre feições no GDB, são usualmente de natureza textual, mas podem ser imagens ou sons. A combinação do GDB e RDB permite aos usuários fazer questões textuais e obter respostas gráficas.

Se um SIG é formado por bancos de dados com informações de atributos de feições geográficas, então parece ser razoável coletar-se atributos ao mesmo tempo em que se obtêm as posições dos pontos. A maneira mais eficiente e precisa seja o uso do receptor GPS na coleta dos dados para os bancos de dados de um SIG e ao mesmo tempo gerar os atributos dos pontos. Visto que é necessário um operador na coleta de posições com o GPS, em algumas situações também se julgue necessário a presença de um operador para entrar com os atributos dos dados. Alguns receptores oferecem uma pequena de lista de atributos que facilitam muito a operação em campo.

O GPS não é o melhor equipamento para avaliar variações graduais numa vegetação de uma região. Nestes casos, as imagens de satélites são as mais recomendadas para realizar este tipo de tarefa. Entretanto, é uma excelente ferramenta para coletar dados nos mais diferentes meios onde o usuário possa ver o céu aberto e aproximar-se ou estar sobre o ponto o qual deseja-se conhecer suas coordenadas. Atualmente, o GPS se apresenta como um sistema eficiente na coleta de dados

⁸⁸ GDB – graphic (ou geographic) database.

⁸⁹ RDB - relational database.

propiciando precisão e acurácia. A combinação das tecnologias SIG e GPS tornam-se cada vez mais usada através de “laptops”, deixando de lado todo o tipo de pré-conceito do passado.

Um sistema de mapeamento GPS/SIG tem várias vantagens em relação a outras técnicas de mapeamento. Os mapas são feitos diretamente no campo para qualquer nível de detalhamento que se deseje. A localização do ninho de uma águia, a estimativa de áreas de inundação e a evolução de uma erosão podem ser facilmente mapeados. O mapeamento através do GPS/SIG torna possível a execução destes tipos de tarefas. O conhecimento preciso destes tipos de eventos facilita o planejamento para o desenvolvimento de projetos.

Uma maneira típica de se coletar dados através do GPS é usar um receptor manual conectado via cabo com um “laptop”. Existem no mercado várias opções de combinações destes tipos de equipamentos que possibilitam a coleta de dados.

Sem sombra de dúvidas, os receptores GPS são valiosos parceiros nas aplicações de SIG no que tange a coleta de dados. Antes de se realizar o trabalho de campo, o usuário deve definir qual o tipo de receptor será utilizado na coleta de dados. Dependendo da precisão exigida escolher-se-á o equipamento mais apropriado para a operação de campo. O usuário deve ter em mente que o equipamento deverá atender algumas características:

- (a) **Acurácia:** O uso de apenas um receptor GPS estima a posição sempre com a mesma acurácia, independentemente de seu custo. O efeito SA, quando ativado, é um das fontes que causam os maiores erros no posicionamento, uma vez que ele pode provocar uma acurácia do posicionamento horizontal e vertical para ordem de 100 metros e 150 metros, respectivamente. Devemos lembrar que após a liberação do efeito SA esta precisão melhorou muito e hoje em dia é comum obter-se precisão absoluta, no plano horizontal, da ordem de 15 metros. Devido a este nível de acurácia, o GPS apresenta uma certa limitação de seu uso em certos tipos de aplicações para um SIG. Para que seja possível a sua aplicação, é necessária a utilização de uma segunda antena receptora tomada como estação de referência. O objetivo desta estação de referência é para calcular as correções diferenciais devidos aos erros dos sinais. Dependendo do tipo de receptor, as correções podem ser obtidas das seguintes maneiras:
- ⇒ Uma estação fixa contendo uma antena receptora coleta dos dados e o receptor calcula as correções desta estação e são transmitidas por um serviço diferencial GPS. Estas correções podem ser usadas para operações diferenciais em tempo-real;
 - ⇒ As correções podem ser coletadas e armazenadas no receptor de referência e serem pós-processadas posteriormente no escritório com os dados de outras antenas receptoras.

A técnica que calcula a posição de estações remotas a partir da estação de referência é conhecida com *Diferencial GPS* (DGPS). O uso desta técnica, possibilita a obtenção de acurácia de 1 centímetro a 5 metros. O DGPS é necessário para se obter a acurácia do GPS para as aplicações de SIG, principalmente sob o efeito SA. Apesar de atualmente o efeito SA não está ativado, a técnica DGPS é ainda necessária para garantir posicionamentos precisos devido a erros sistemáticos advindos de outras fontes, como por exemplo, a influência da componente do atraso da ionosfera.

Os softwares oferecidos pelas empresas fabricantes de receptores GPS são, em sua grande maioria, capazes de integrar suas informações com bancos de dados a serem usados num SIG. Todos os softwares são compatíveis para operarem em ambiente Windows e são muito fáceis de serem usados. Todos os softwares pré-definem um datum geodésico, um

sistema de projeção cartográfica e um formato de dados RINEX⁹⁰. É recomendada aos usuários a verificação do formato dos arquivos de dados gerados pelos fabricantes.

- (b) **Custos:** é diretamente afetado pela qualidade do relógio, número de canais, os sinais que são captados e a capacidade de processamento dos sinais recebidos. Quanto maior o número de canais que o receptor consegue captar, maior é o número de medições que são por ele realizadas em cada época, possibilitando assim uma maior precisão do posicionamento do ponto medido. Atualmente, existe um número considerável de fabricantes de receptores, oferecendo uma variedade de modelos. A Tabela 7.3 apresenta um resumo de classificação de receptores.

Tabela 7.3: Resumo da classificação de receptores.

Classes de receptores GPS	Custo aproximado
Recreacional	\$150 - \$1,000 Receptores simples, portáteis (manual) com precisão da ordem de 100 metros sob o efeito SA.
Navegação	\$1,000 - \$15,000 Diferencial, acurácia de metros, especial para algumas feições de navegação.
SIG	\$3,000 - \$15,000 Diferencial, portátil, acurácia sub-métrica.
Topográfico/Geodésico	\$10,000 - \$50,000 Diferencial, dupla-frequência, fase e código, acurácia centimétrica e até milimétrica.
Medidor de tempo	até \$60,000 Usado exclusivamente para grandes precisões de medições do tempo, acurácia superior a microssegundo.
Militar	Até \$60,000 Apresenta acurácia de 16 metros no modo instantâneo (sob efeito SA). Alta acurácia no método diferencial. Recebe códigos que não estão disponíveis aos usuários civis.

- (c) **Capacidade:** A maioria dos receptores GPS pode ser usada nas aplicações em SIG. Alguns receptores apenas armazenam a posição dos pontos; outros oferecem a possibilidade de gravar a posição dos pontos e algumas informações de feições e atributos que podem inseridos pelo usuário no receptor, criando assim um dicionário de dados listando as feições e os atributos. Alguns dicionários de dados são elaborados seguindo um nível hierárquico.
- (d) **Portabilidade:** Os receptores GPS/SIG podem ser classificados em duas categorias: *manuais (portáteis)* e *convencionais*: Os primeiros, manuais, são totalmente contidos em uma única unidade e pesam menos de 1 Kg, considerando antena, baterias, monitor e teclado. Os receptores convencionais normalmente apresentam as suas várias partes separadas ou podem separadas em duas ou três partes, dependendo do fabricante. A antena pode ser instalada num bastão e o receptor, cabos e baterias podem ser transportados em mochilas.
- (e) **Tipos de medições:** Existem cinco possibilidades de medições com receptores GPS: código-C/A, código-P (na L1 e na L2) e a fase da portadora L1 e L2. Quanto mais medições se desejar, maior é o preço do receptor (vide Tabela 7.3). O usuário deve ter bem definido qual a precisão desejada e exigida no projeto. Isto é importante na seleção do

⁹⁰ RINEX : **R**eceiver **I**ndependent **E**xchange. Maiores detalhes podem ser adquiridos em GURTNER (1994).

equipamento a ser utilizando, evitando assim a aquisição de equipamentos que não atendam as precisões exigidas e o outro caso extremo é a aquisição de equipamentos caros. Para o caso de aplicações em SIG, normalmente, são usados receptores L1, código-C/A e dependendo do fabricante pode-se obter acurácia de 20 centímetros a 5 metros, dependendo do método diferencial de aquisição dos dados.

- (f) **Taxa de coleta de dados:** Dependendo da aplicação, os dados podem ser coletados a cada 15 segundos (aplicações estáticas) ou 10 medições por segundo (posicionamento de aeronaves). A frequência de armazenamento dos dados depende da dinâmica da antena do equipamento. Se o usuário está se movendo a uma velocidade de 100 km/h e deseja sua posição a cada 10 metros, então a taxa de armazenamento de dados deve ser da ordem de 4-5 vezes por segundo. O usuário deve ter certeza que o receptor o qual dispõe possibilita o uso taxa de armazenamento exigido pelo projeto.
- (g) **Baterias:** Um dos maiores problemas na prática com GPS é o problema referente a capacidade da bateria. A capacidade de armazenamento de dados num receptor é função da taxa de coleta, do número médio de satélites monitorado durante a sessão, do número de bytes necessário para cada satélite e a capacidade de memória. Por exemplo, uma sessão de 8 horas pode ser estimada para rastreamento de cinco satélites com taxa de coleta de 30 segundos. Se o usuário rastrear seis satélites com taxa de coleta de 10 segundos, a bateria seria suficiente apenas por um tempo de 2,2 horas. Se o projeto exigir sessões com tempos superiores a capacidade de tempo da bateria, deve-se prever custos adicionais para aquisição de baterias de reserva. O usuário deve ter certeza se o receptor usado na operação possibilita a troca de baterias durante o rastreo sem perda de sinal, ou se é possível deixar uma bateria de “stand-by” durante a sessão.
- (h) **Operação em tempo-real:** Alguns tipos de aplicações exigem posicionamentos diferenciais precisos no campo e não podem esperar que os dados sejam pós-processados para gerarem resultados de coordenadas de pontos. O usuário deve ter a certeza se o equipamento disponível para o projeto possibilita o uso do método de posicionamento em tempo-real. Na maioria dos casos, é necessária a compra de acessórios para este tipo de operação, pois na aquisição dos equipamentos é muito comum o esquecimento da inclusão desta possibilidade de uso. Isto é, normalmente, uma falha na elaboração do edital de licitação de compras.
- (i) **Antena:** Uma antena pequena e leve é a ideal para operações no campo. Se a antena é pesada, conseqüentemente as dimensões do bastão à sustentá-la também será robusta e com isso a dificuldade do manuseio tornar-se-á maior, causando desconforto ao operador ao longo do dia de trabalho.

7.3 A organização dos atributos dos dados

Antes do usuário partir para o campo para coletar dados GPS/SIG, é necessário a criação de um dicionário de dados, contendo uma estrutura de atributos/feições que é uma coleção

hierárquica de termos armazenados na memória do receptor GPS. Os termos, normalmente, são divididos em três categorias:

- **Feições:** Refere-se ao tipo de feições que é o sujeito de uma cobertura; é a “feição” da “tabela de atributos de feições” como uma Tabela de Atributos de Pontos (PAT) ou uma Tabela de Atributos de Arcos (AAT). Existem vários tipos de formato de feições: pontos, linhas (poli-linhas) e áreas (polígono). Exemplos de tipos de feições que podem ser úteis: um poste (ponto), uma rodovia (linha/poli-linha) e uma praça (área/polígono). Um ponto (ou uma média de uma série de pontos) coletado por um receptor sobre uma dada feição pode vir a ser a base para um PAT. Alternativamente, uma sequência de pontos ao longo de um arco pode ser a base de uma AAT.

A palavra “feições” tem pelo menos dois significados: pode representar o sujeito de uma cobertura (por exemplo, um marco histórico) e pode representar uma entidade particular (por exemplo, um marco histórico com um número específico, 864). Neste texto, será usado o termo “tipo-feições” para indicar uma classe geral das feições e o termo “feições” para designar uma entidade particular.

- **Atributos:** São os “itens” ou “colunas” de uma tabela de atributos de feições. O atributo associado para uma feição pode ser um dado numérico/alfanumérico, opção múltipla ou opção exclusiva.
- **Valores:** Referem-se as anotações de um tabela.

Como pode ser observado, existe uma hierarquia destes termos: feições contêm atributos; atributos são colunas de valores.

O segundo passo no desenvolvimento de um levantamento para um SIG é planejar a sequência dos eventos, isto é, o que será levantado primeiro, quais os pontos de interesse, etc. O pré-planejamento torna-se necessário quando uma estação particular GPS apresenta problemas quanto a visibilidade do horizonte, apresentando problemas quanto ao ângulo de corte que limitará o número de satélites a ser captado. O usuário deve ter em mente que o simples fato de se ter um número elevado de satélites no horizonte não garante um bom resultado no posicionamento. A geometria dos satélites e a possibilidade de ocorrência de multicaminhamento devem ser sempre analisadas.

Alguns aspectos do moderno sistema de coleta de dados GPS o tornam uma ferramenta de grande utilidade a coleta de atributos. Uma boa indicação é que o usuário de GPS, antes da coleta de dados, sempre elabore uma lista de feições e atributos que serão coletados no campo. Esta lista é então transferida para a coletora do GPS que facilitará os trabalhos de campo, onde o usuário irá colocar a antena sobre os pontos pré-definidos e então coletará os dados de observação. Por exemplo, se o usuário se aproxima no campo de um telefone público, o primeiro passo é selecionar o tema “telefone público” na tela da coletora de dados. Após a seleção do tema, o equipamento estará pronto para coletar os dados. Os atributos (estado do telefone, condições de uso, número de identificação etc) são também tomados a partir de uma lista criada pelo usuário e apresentada no visor da coletora na sequência de sua criação, formando assim uma tabela de valores para o ponto medido.

7.4 Considerações na aquisição de dados para um SIG

O usuário deve ter em mente que existem uma série de recomendações a serem exploradas na utilização do sistema GPS na aquisição de dados para um SIG. Primeiramente, é importante definir qual a precisão do posicionamento que se deseja dar aos pontos medidos. Se os pontos medidos forem usados para análises específicas, que requeiram acurácia na posição inferior a um metro, certamente o usuário necessitará usar um equipamento de melhor qualidade com capacidade de coletar dados do código e processar os dados considerando o método diferencial. Se o projeto exigir acurácia inferior a 10 centímetros, como por exemplo na definição dos limites de uma planta, certamente dever-ser-á utilizar equipamentos que colem dados da fase e processe os dados pelo método diferencial.

O segundo passo, quando o usuário trabalha utilizando-se do pós-processamento DGPS, ele está coletando basicamente três arquivos que fazem parte do processo de armazenamento de dados na coletora: um arquivo da antena remota, um arquivo da estação de referência e um arquivo SIG. O usuário deve ser capaz de identificar os dados, isto é, quais arquivos vieram da estação de referência e quais arquivos são relativos a antena remota. O receptor da antena remota coleta os dados no campo e o receptor na antena da estação de referência coleta os dados para os cálculos das correções diferenciais. Além disso, se o usuário estiver trabalhando no modo diferencial em tempo-real, ele não precisará dos dados da estação de referência, precisando apenas das correções diferenciais. O arquivo SIG é criado pelo software GPS/SIG e na maioria dos casos, o formato dos arquivos da estação de referência e das estações remotas são muito diferentes.

O terceiro passo importante é que o usuário use receptores GPS/SIG, para coletar os dados da estação de referência e das estações remotas, do mesmo fabricante e que o software usado no processamento seja capaz de processar os dados coletados. Entretanto, se os dados coletados forem obtidos por receptores de diferentes fabricantes, o usuário precisará ter a certeza se o software a ser utilizado no processamento possibilita o uso de múltiplos formatos de dados. Em caso negativo, a solução para este tipo de problema é a conversão de todos os dados coletados para o formato RINEX. O usuário deve estar atento para este tipo de solução, pois pode haver perdas de informações durante o processo de conversão dos dados, comprometendo assim a integridade das informações.

Conforme foi apresentado anteriormente, todos os bancos de dados SIG devem estar referenciado a um mapa, ou carta ou planta base onde a referência geodésica para todos níveis de informações devem ser as mesmas. Preferencialmente, os bancos de dados devem ser referenciados a um mapa, ou a uma carta ou a uma planta base bem definida, ou seja, bem precisa. Se, entretanto, o mapa base tiver uma escala igual ou menor que 1:25 000, pode haver problemas na tentativa de visualização de relações espaciais entre feições digitalizadas e feições cujas coordenadas forem captadas através do GPS. Isto pode vir a ser um problema real se o analista de SIG decidir usar uma camada de dados de SIG onde foi originariamente gerada usando um mapa base de escala pequena o qual se deseja gerar novos dados a serem referenciados. A melhor maneira para se evitar este tipo de incompatibilidade é desenvolver uma camada de dados base, baseados num controle geodésico, LANGE & GILBERT (1999).

Para aplicações de SIG, recomenda-se que todos os dados coletados sejam apresentados em relação a um datum oficial de cada país ou região. Nos EUA, por exemplo, o datum utilizado é o NAD-83 e no Brasil e na América do Sul o datum indicado é o SAD-69. É muito importante que se use o mesmo datum para todas as camadas de informações de modo a não haverem incompatibilidade na sobreposição de camadas na análise de um SIG.

7.5 Exportando dados GPS para um SIG

A última tarefa após a coleta de dados GPS para um SIG é a transferência de dados do receptor para um computador que tenha um software para processamento dos dados. A maioria dos receptores GPS armazena os dados coletados num formato específico do fabricante do equipamento, visando a menor ocupação de memória interna. A tarefa de transferência de dados do receptor para o computador normalmente utiliza um programa para converter os dados brutos coletados para um formato compactados escolhido pelo usuário quando da transferência dos dados.

Basicamente, a tarefa de transferência de dados pode ser acompanhada de uma forma bem simplista, isto é, simplesmente executa-se o descarregamento de coordenadas e atributos dentro de um arquivo específico. Entretanto, alguns usuários preferem utilizar programas de transformações que permitem modificar os dados. LANGE & GILBERT (1999) apresentam algumas considerações importantes a respeito destes programas de transformações, conforme a seguir:

- (a) ***Criação de metadados:*** um aspecto importante no programa de transformação de dados é a sua habilidade de gerar metadados. O(s) arquivo(s) resultante(s) conterá não somente valores de atributos que foram inseridos pelo operador no campo, mas também uma variedade de atributos adicionais que podem ser gerados pelo programa de transformação. Alguns destes atributos criados são comuns a todo o conjunto de dados, tais como o tipo de receptor usado na coleta dos dados ou o nome do arquivo de dados.
- (b) ***Criação de um arquivo macro:*** a transformação de um dado GPS para um formato apropriado pode ser facilitada pela criação automática de um macro ou um arquivo “batch”. Enquanto que os dados estão sendo transformados para o formato desejado, algum outro programa de transformação poderá ler e calcular as informações necessárias para a criar um conjunto de comandos pré-programados. Estes comandos pré-programados são únicos para a transformação dos dados e são usados para completar o processo de importação de forma mais rápida e simples. Eles podem criar automaticamente mais camadas de informações e tabelas (ou anexar alguma existente), associar automaticamente de valores de atributos com coordenadas ou mesmo criar dados adicionais tais como uma legenda posicionada no centróide de um polígono.
- (c) ***Transformação de datum geodésico:*** o sistema GPS usa o sistema geodésico WGS84 como referência de suas coordenadas. Os programas que transformam os dados GPS para dentro de um SIG ou um CAD ou para um formato compatível, são normalmente capazes de transformar as coordenadas para um sistema de coordenadas, para uma projeção cartográfica de acordo com o datum definido pelo usuário. A maioria destes programas de transformação possui uma lista de “data” e sistemas de coordenadas a ser escolhidos pelo usuário de

acordo com a necessidade do trabalho a ser executado. Quanto mais sofisticado for o programa, maiores possibilidades de opções de uso têm os usuários para definir um sistema de coordenadas.

- (d) **Tradução de dados:** Existem vários tipos de formatos compatíveis entre SIG e CAD. Apesar da abundância de formatos, os fabricantes de GPS têm descoberto que alguns usuários de SIG utilizam um formato próprio, ou seja um formato de importação “encomendado” para aquela instituição ou empresa. Mesmo que o programa de transformação possua os formatos mais populares, ainda parecerão incompletos para alguns tipos de usuários. A grande maioria dos receptores GPS é equipada com um poderoso, flexível e configurável programa de exportação no formato ASCII.

7.6 Aplicações de dados GPS em SIG

Durante os últimos anos, o sistema GPS tem sido utilizado para coletar dados para os SIG's. Uma das maiores vantagens do sistema de coleta de dados GPS/SIG perante os métodos clássicos é que os dados coletados são “diretamente digitais”. Já desde o levantamento no campo o usuário pode imediatamente observar e gravar os dados digitalmente, e mais tarde transferi-los para um computador com um mínimo de perda de informação, garantindo assim a integridade dos dados. O GPS oferece um método automático de gerar mapas digitais e também de demarcar estes mapas com posições de pontos notáveis nos bancos de dados.

O uso de dados digitais pode oferecer algumas vantagens, como por exemplo, os dados podem ser facilmente compartilhados, manipulados e transferidos sem perda de sua integridade. Os usuários devem tomar cuidado quando se inicia o trabalho com dados digitais e/ou tentar mover dados de uma locação ou software para outro. É importante garantir o formato do arquivo e a sua habilidade de fazer algumas transformações.

Existem várias razões as quais a tecnologia GPS pode ser usada em SIG. Algumas das aplicações, incluem:

- (a) O GPS pode ser usado para identificar e melhorar as coordenadas geográficas associadas com imagens de satélites. O GPS é usado para reduzir distorções e melhorar a acurácia da posição destas imagens. Quando três ou mais pontos distintos (quanto maior o número melhor) podem ser localizados tanto na imagem quanto no terreno, a tecnologia GPS pode ser usada para obter coordenadas mais precisas destes pontos. O restante da imagem pode ser ajustado melhorando assim a precisão na obtenção de coordenadas;
- (b) O GPS pode ser usado no campo para identificar uma imagem de satélite. Quando uma particular imagem tem uma região que apresenta dificuldades de reconhecimento, como por exemplo devido a excesso de refletividade, as coordenadas da região pode ser facilmente obtida com um receptor GPS para identificar a área imageada;
- (c) O GPS tem sido uma ferramenta de baixo custo efetivo para atualização de sistemas tais como SIG e CAD. O uso do GPS para a obtenção de dados GPS é análogo a digitalização de um mapa pelo movimento de um “mouse”. O operador do GPS percorre com a antena receptora sobre os pontos de interesse na superfície terrestre e

- por onde a antena passar são coletados coordenadas geográficas dos pontos e são armazenadas no receptor como uma série contínua de pontos;
- (d) Coleta de dados digitais do levantamento de uma rodovia através do monitoramento do movimento de um veículo com uma antena receptora;
 - (e) coleta de posições de mudança de direção e da sinalização de pista e de outros caracteres e feições ao longo de uma rodovia para efeito de planejamento e projeto de uma via;
 - (f) coleta do posicionamento de utilidades tais como transformadores, hidrantes, etc.

A seguir descrevemos algumas aplicações das tecnologias SIG e GPS. O leitor pode encontrar maiores detalhes na bibliografia apresentada.

7.6.1 Agricultura

Desde meados dos anos 80 pesquisas indicaram que a integração das tecnologias SIG e GPS na agricultura poderiam gerar significantes melhorias nos métodos de aplicação de produtos químicos e na distribuição de sementes. Pesquisas iniciadas na Universidade Estadual de Montana, EUA iniciaram seus projetos desenvolvendo um sistema preciso de posicionamento destacando bancos de dados de SIG e GPS. Os bancos de dados do campo foram preparados previamente através do uso de mapas de solos, fotografias e testes de solos e foi subsequentemente transferido para um computador. Eles desenvolveram um software que integrava a informação das posições de uma antena receptora GPS com os dados no campo e informações de previsão de colheitas para criar um sistema automático de orientação.

Dificuldades na aplicação de sementes, fertilizantes, produtos químicos nos locais aonde eles realmente são necessários são algumas das dificuldades para se gerar uma produção de colheita econômica. A precisão de sistemas medidores controlando a quantidade dos insumos a serem aplicados numa determinada área de plantação, influencia substancialmente as suas aplicações. Além disso, diferentes tipos de solos no campo variam consideravelmente na sua capacidade de produzir plantações vigorosas e saudáveis.

Com um espírito empreendedor, a agricultura de precisão pode ser dividida em três grandes categorias GIBBONS (1999):

- ❖ a safra (colheita), solo e sensores de posicionamento – incluindo remotos e veículos preparados que detectem níveis de mistura, proteína, doenças e infestação de ervas daninha;
- ❖ o controle de máquina que guia os equipamentos de campo pode variar a taxa, mistura, localização e direção da água, sementes, nutrientes ou sprays químicos;
- ❖ o mapa computadorizado SIG e os bancos de dados que processam dados produzidos pela primeira categoria e gera “prescrições” que guiam a segunda categoria.

Nos últimos anos, os equipamentos agrícolas vêm se tornando cada vez mais complexos para os operadores que simultaneamente têm que observar as condições do campo e operar precisamente os controles da máquina. A inabilidade do operador pode causar algumas sobreposições com outras faixas. Os veículos agrícolas equipados com sistema preciso de posicionamento, como por exemplo um GPS, podem reduzir a produção de problemas associados com sobre-posição ou falhas entre faixas. O desenvolvimento de um sistema de informação geográfico computadorizado e técnicas de coletas de dados tem melhorado substancialmente, onde uma pequena área no campo (inferior a um metro quadrado) pode ser facilmente identificada.

Atualmente, os sinais de navegação diferencial emitido por estações de rádio FM estão sendo usados proporcionando locações com precisões inferiores a 2 metros. Nos Estados Unidos, as empresas de levantamento agrícolas indicam que o número de fazendas que aplicam a tecnologia SIG vem crescendo a cada ano, abrindo o mercado de trabalho para profissionais de áreas diferentes da Agronomia. O objetivo atual é alcançar um melhor nível de precisão na aplicação de fertilizantes e herbicidas líquidos. Este processo é chamado de **Agricultura de Precisão**⁹¹. A Figura 7.1 apresenta uma descrição da estrutura básica usada na Agricultura de Precisão.

Figura 7.1: Estrutura de um SIG para a Agricultura de Precisão.

Um elemento essencial na agricultura de precisão é a utilidade de um SIG em armazenar, combinar e analisar medições e dados derivados necessários para efetivamente e precisamente preparar um mapa. Um outro componente essencial para todas as operações da agricultura de precisão é que a tecnologia GPS determina instantaneamente a posição do equipamento no campo e oferece esta informação para um computador em formato conveniente, vide Figura 7.2.

Figura 7.2: Princípios básicos da agricultura de precisão.

Adaptado de LACHAPPELLE et al. (1996).

⁹¹ Nos Estados Unidos têm-se usado diferentes denominações tais como: *precision agriculture*, *site-specific farming*, *site-specific soil management*, *soil-specific crop management* or *variable-rate application technology*

É necessário um alto nível de integração entre os segmentos do GPS do SIG durante a operação. A medida em que o veículo que detém o fertilizante vai se deslocando ao longo da trajetória pré-determinada, a prescrição da dosagem de fertilizante vai sendo oferecida pelo SIG, LACHAPELLE et al. (1996).

Em termos de agricultura de precisão, a precisão do posicionamento deve ser inferior a 1 metro e deve ser oferecida em tempo-real. Atualmente, o método de posicionamento de tempo-real tem oferecido precisão sub-métrica e a taxa de atualização da posição pode ser da ordem de várias vezes por segundo, se necessária. O GPS diferencial oferece capacidade de posicionamento e através da integração com outros sensores, permite a obtenção de mais dados que o necessário, coletados durante a operação normal no campo.

O uso do SIG e do GPS na agricultura tem sido desenvolvido ao longo dos anos. Diferentes tipos de aplicações são relatadas na bibliografia conveniente, como por exemplo LACHAPELLE (1994) relata sobre medições de salinidade. O uso da agricultura de precisão tem melhorado a produtividade na agricultura, qualidade dos produtos bem como os benefícios ao meio-ambiente devido ao fato de otimizar a distribuição dos produtos, químicos e orgânicos, prescritos.

7.6.2 Levantamento Cadastral

O Departamento de Análises Espaciais da Universidade de Ohio, EUA desenvolveu um projeto denominado de GPSVAN. Este projeto consistiu de um sistema de coleta de dados GPS num veículo o qual pode-se mapear rodovias, ferrovias, e infraestrutura de transportes (placas de sinalização, pontes, viadutos etc) enquanto o veículo se move ao longo de uma trajetória com velocidade normal de tráfego. Um Sistema de Mapeamento Móvel (SMM)⁹² pode ser definido como uma plataforma móvel, sob as quais sistemas múltiplos sensores/medidores foram integrados para fornecer coordenadas tridimensionais contínuas da antena receptora sob o veículo. O Centro para mapeamento foi o pioneiro desta tecnologia, constatando que os SIGs requerem atualizações e alta qualidade espacial dos dados para melhorar o processo de tomada de decisão nos transporte e no planejamento urbano.

O Sistema GPSVan tinha originalmente o objetivo de coletar projetado como sendo um sistema de coleta de dados para infra-estrutura de transportes. Ele foi inicialmente designado para ser capaz de determinar o alinhamento de uma rodovia, localizar a sinalização, localização de pontes, utilidades e obstruções, gerar imagens da rodovia e inventários dos tipos de pavimentos. Os atributos da rodovia podem ser localizados com uma precisão da ordem de 1 a 3 metros, COETSEE et al (1994).

O módulo de posicionamento da GPSVan integra o Sistema de Posicionamento Global (GPS) no método diferencial e um sistema independente de navegação para posicionamento que grava a posição do veículo durante um curto intervalo de tempo o qual a antena receptora não consegue receber os sinais dos satélites (bloqueio dos sinais devido a presença de obstáculos), vide a Figura 7.3.2a. A posição do veículo tem uma precisão da ordem de 10 centímetros quando os dados observados são coletados a uma taxa de 3 segundos. Uma perda de sinal de 30, 60 e 120 segundos causam uma degradação da posição a um nível de 20 centímetros, 40 centímetros e 1 metro, respectivamente. Maiores detalhes podem ser obtidos através do seguinte endereço eletrônico <http://www.cfm.ohio-state.edu/research/gpsvan.html>.

⁹² Sistema de Mapeamento Móvel advém do inglês Mobile Mapping System (MMS).

Figura 7.3: GPSVan.

Fonte: <http://www.cfm.ohio-state.edu/research/gpsvan.html>.

Um projeto similar ao GPSVan foi desenvolvido pela Universidade de Calgary, Canadá. O projeto Video Inertial and Satellite (VISAT) integrou o GPS, um sistema de navegação inercial e uma câmera CCD. A aquisição de dados foi realizada usando um veículo equipado com os equipamentos citados. Subseqüentemente, o processamento de dados fotogramétricos e de SIG foi realizado numa estação de trabalho. Maiores detalhes deste projeto podem ser obtidos em LI (1994).

Atualmente, o mapeamento de rodovias é uma atividade importante de aplicação de SIG. Ao se trafegar uma via, o usuário pode gravar a posição da faixa central, dos meio-fios dos acostamentos, das faixas laterais e de todas as feições de interesse. Além disso, pode ser gravado um número de atributos tais como o nome da via, largura, condição de rolamento, materiais, etc. A quantidade de atributos que pode ser armazenado é limitada somente pela habilidade do operador (ou do auxiliar) em gravar os dados a medida em que o veículo se move ao longo da via. Os conceitos usados no mapeamento de uma via podem ser aplicados a qualquer tipo de feição linear ou poligonal, tais como linha de condutos, limites de vegetação, caminhos, limites de proteção de fogo nas florestas, linhas de tensão e variados tipos de utilidades. Existem atualmente várias empresas de consultoria que utilizam a tecnologia GPS para armazenar atributos e posições de milhares de quilômetros de rodovias nos EUA e países europeus e alguns países asiáticos..

O armazenamento de locações e atributos de pontos de feições é uma aplicação típica da tecnologia GPS. Para gravar a posição geográfica de um ponto o usuário simplesmente instala a antena receptora sobre o ponto de interesse ou ao se passar sobre o ponto com um veículo grava-se a posição instantânea gerada no receptor.

Com o intuito de ilustrar um exemplo de aplicação, apresenta-se um experimento realizado em 9/4/1999 (DOY109, 1999) nas dependências da Universidade do Maine, EUA. O experimento foi realizado no campo de futebol utilizando um receptor Ashtech Z12 Sensor de 12 canais. A estação CORS ORO_ foi considerada como estação de referência. O objetivo deste experimento foi de coletar dados com receptor GPS e apresentar o quanto a tecnologia GPS pode ser útil na obtenção de dados para aplicações em SIG. A demarcação de um campo de futebol americano e as raias de uma pista olímpica são um bom exemplo para este teste uma vez que feições são bem definidas e servem como uma boa comparação para os resultados do levantamento com os valores reais. A Figura 7.4 apresenta alguns passos realizados durante a coleta dos dados e o resultado gráfico do pós-processamento dos dados coletados.

(a) Campo de futebol da Universidade do Maine, EUA.

(b) Coleta de dados GPS na pista de atletismo do campo de futebol da UMaine.

(c) Resultado do pós-processamento da pista de atletismo.

(d) Linhas divisórias do campo de futebol.

(e) Coleta dos dados nas linhas divisórias do campo de futebol.

(f) Pós-processamento das linhas do campo de futebol e da pista de atletismo.

Figura 7.4: Aplicação do método cinemático de coletado de dados com o sistema GPS no campo de futebol da UMaine, EUA.

O resultado do pós-processamento apresenta boa precisão das coordenadas dos pontos uma vez que o receptor utilizado era um receptor geodésico de dupla-freqüência. As coordenadas dos pontos apresentaram um desvio padrão inferior a 5 centímetros e comprovou a eficiência da tecnologia GPS na captação de dados para aplicações em SIG. O usuário deve ter em mente que a

precisão dos resultados é função de vários fatores, como por exemplo com as características do receptor utilizado na operação

7.6.3 Operação de socorro

Nos últimos anos, o número de visitantes em alguns parques ecológicos em todo o mundo vem aumentando gradativamente. Devido a este fato, uma atividade muito comum é o atendimento de socorro a pessoas ou a equipes de visitantes. Estes procuram os parques para a observação da natureza, cavalgar, para acampamentos, realização de alpinismo, caminhadas nas trilhas, enduros, etc. Estes usuários são dos tipos mais variados e com diferentes níveis de conhecimento de como se comportar nestes parques. Em alguns casos, os usuários não têm habilidade de manusear mapas e senso de direção e com isso comumente se perdem ao longo do parque, obrigando assim, a realização de buscas das equipes de salvamento dos parques. Em alguns parques americanos e canadenses, os municípios investem na criação de mapas computadorizados de toda a área do parque de modo a auxiliar as equipes de salvamento de busca e bombeiros, de modo a reduzir o tempo de atendimento das solicitações. No verão americano é muito comum a ocorrência de incêndios nos parques devido a erros dos visitantes e em muitos casos ocorrem grandes danos à natureza e a vida humana. A combinação das tecnologias GPS e SIG são muito poderosas nestes casos. Com um exemplo desta combinação, pode-se citar o caso do China Camp State Park no noroeste do California's Marin County. O parque tem uma área da ordem de 650 ha (· 265 alqueires paulista) localizada próximo Marin County Civic Center na cidade de San Rafael..

7.6.4 Meio ambiente

O meio ambiente é dinâmico na natureza, constantemente sofre alterações com variações nas condições climatológicas e pela influência do homem. Nos últimos anos, a preocupação com o meio ambiente tem sido crescente. As agências governamentais estão protegendo as áreas públicas de maneira mais eficiente que no passado. Em todos os projetos de meio ambiente tem sido evidenciado o uso crescente das tecnologias GPS e SIG e empregando grandes números de especialistas em mapeamento, na qualidade do ar e da água, solos, vegetação e a vida selvagem biológica. Atualmente, novas tecnologias de mapeamento de campo têm demonstrado ser eficiente no estabelecimento de precisão de posicionamento dos dados coletados que auxiliam os cientistas no entendimento e na proteção da vida animal e vegetal.

Na literatura e em algumas revistas especializadas podem ser encontrados vários artigos que relatam da combinação das tecnologias GPS e SIG. A seguir, apresentam-se alguns exemplos de publicações e relatam esta combinação na área do meio ambiente:

- (a) GPS/GIS help monitor the great Grizzly bear on Cabin Creek Wildlife Management Area, Montana (PETERSON, 1996);
- (b) GPS/GIS monitoring snow at the National Weather Service, (ANDERSON, 1996);

7.6.5 Monitoramento de veículos

As tecnologias GPS e SIG são complementares que se auxiliam otimizando a qualidade dos dados e expandindo os seus potenciais de aplicações. Na área de transportes é evidente que esta

combinação de tecnologias é altamente proveitosa, especialmente quando relacionada no monitoramento de veículos. Um veículo que possua um sistema de monitoramento GPS/SIG permite as centrais de controle identificar a posição dos veículos tais como ambulâncias, ônibus escolares, táxis, carros de bombeiros, carros patrulhas, caminhões, carros de correios, entregadores de pizza, etc. em tempo real, ou seja a posição do veículo no momento desejado. A informação que sistema de monitoramento oferece é especialmente importante quando decisões importantes (perguntas e respostas) precisam ser tomadas baseadas na localização do veículo.

Esta técnica de *locação automática de veículos*⁹³ tem sido uma prática constante em nossos dias por diversas empresas de transporte de cargas e passageiros. O sistema consiste basicamente de uma central de controle, um link de comunicação entre esta central e as unidades móveis e os veículos propriamente ditos, equipados com um hardware específico para este fim. A central necessita de um software de monitoramento, dos mapas digitais da área de cobertura do sistema e de um dispositivo de comunicação, que pode ser um rádio ou modem. Alguns softwares permitem o gerenciamento de vários tipos deferentes de links de comunicação e até mesmo acesso a bancos de dados de um SIG ou a qualquer outro tipo de bancos de dados.

A comunicação entre as unidades móveis e a central de controle pode ser realizada através de rádio convencional, celular ou por satélites. Os sistemas que utilizam o rádio convencional são os mais econômicos e ideais para soluções onde o número de informações entre os móveis e a central é intenso. Bons exemplos para estes tipos podemos citar os carros de polícia, distribuidoras de mercadorias e unidades de manutenção de concessionárias de energia elétrica e telefones. Quando se necessita de um sistema que tenha uma grande área de cobertura, como por exemplo o transporte de cargas intermunicipais, interestaduais e internacionais, deve-se lançar mão de tecnologias de comunicação via telefonia celular ou por satélites.

Até o mês de maio de 2000 a precisão da tecnologia AVL era muito discutida, uma vez que a posição de um veículo era da ordem de 100 metros. Com certeza para alguns tipos de aplicações esta precisão não era aceitável. Após a desativação do efeito AS, a precisão absoluta do posicionamento por GPS melhorou muito e garantiu à esta tecnologia uma maior e melhor aplicação. Outro fator que muito contribui para o crescimento do uso da tecnologia AVL foram os avanços alcançados pelo método de posicionamento por DGPS.

A tecnologia AVL tem sido de vital importância para a segurança pública (polícia, bombeiros, etc.), transportadoras, concessionárias de serviços (coleta de lixo, energia elétrica, telefonia, saneamento, etc.), seguradoras e empresas privadas de segurança, táxis, grandes frotas, etc., pois aumenta a eficiência na segurança e diminui custos de transportes e em breve será incorporado como um serviço cotidiano em nossas vidas. Sem sombra de dúvidas é o sistema GPS com o SIG cada vez mais se firmando como uma grande utilidade em nosso dia-a-dia.

Entre vantagens que as tecnologias GPS/SIG oferecem, a informação mais útil para um veículo que detenha um sistema de monitoramento e a sua capacidade de alteração de rota. Com uma informação precisa da posição do veículo na via pode-se gerar qual é o menor caminho a ser seguido pelo veículo durante a sua operação de atendimento. Com ou sem um veículo que detenha um sistema de monitoramento, o sistema de roteamento baseado num SIG é útil numa grande variedade de aplicações comerciais, tais como entrega de encomendas, rotas de veículos escolares, etc.

Hoje em dia em vários países os veículos médicos de atendimento de emergência possuem um sistema de monitoramento GPS que permite aos operadores das centrais um monitoramento contínuo dos veículos em tempo real. Em resposta a qualquer chamada, o veículo mais próximo da área solicitada pode ser identificado instantaneamente. Se o motorista não for familiarizado com a

⁹³ A localização automática de veículos advém do termo inglês Automatic Vehicle Location designada pela sigla AVL.

região do atendimento, ele pode utilizar uma função do sistema que é o auxílio a rota que utiliza o sistema de roteamento baseado no GPS que gera a rota a ser seguida pelo motorista.

Talvez as mais importantes discussões em torno do potencial das tecnologias GPS/SIG sejam as conveniências dos equipamentos para uma aplicação particular e a qualidade das interfaces dos softwares com os softwares dos bancos de dados e de mapeamentos o qual o usuário pretende utilizar. Recomenda-se a realização de testes para a seleção do melhor sistema de modo a gerar resultados que tragam satisfação e segurança aos usuários do sistema.

8 INFORMAÇÕES DO GNSS APLICADAS AO SIG

Este capítulo retrata um tipo de aplicação de um tipo de informação que pode ser obtida a partir de dados coletados da tecnologia GNSS e serem inseridos num SIG. Além disso, apresenta-se um breve relato sobre a ionosfera e sua influência na precisão das coordenadas obtidas pelo posicionamento global.

*“A palavra de Deus é útil para ensinar,
para repreender, para corrigir e para formar a
justiça. Por ela o homem de Deus se torna perfeito,
capacitado para toda boa obra”.*
(II Tim 3, 16-17).

8.1 Generalidades

Neste texto abordaremos, a título de exemplificação, o uso de informações obtidas a partir de dados GPS coletados por receptores de dupla frequência. A informação de interesse é aquela que reflete a variação do Total Electron Contents – TEC – que acontece ao longo do caminho de percurso entre as antenas dos satélites e a antena receptora dos sinais emitidos pelos satélites. A informação do TEC é importante pois retrata o momento de atividade dos elétrons na atmosfera. Esta atividade varia ao longo do dia e também depende da latitude local. Em trabalhos geodésicos de precisão o usuário deve estar atento quanto ao momento da coleta de dados, uma vez que nos momentos de alta atividade dos elétrons na atmosfera causa uma redução na precisão das coordenadas do ponto ou dos pontos de interesse.

Passaremos a descrever a seguir a principal camada da atmosfera que interfere diretamente na precisão das coordenadas de pontos obtidos a partir da tecnologia de posicionamento global. Maior atenção será dada à ionosfera, uma vez que esta camada é a que mais contribui nos erros inerentes do sistema GPS.

8.2 Ionosfera

A ionosfera é uma camada da atmosfera da Terra cuja radiação de ionização (principalmente a ultravioleta e os raios-X emitidos pelo Sol) provocam os elétrons livres e por existirem em quantidades suficientes afetam a propagação das ondas de rádio que por ela transitam. Isto pode ser caracterizado como parte da alta atmosfera onde elétrons e íons estão presentes para afetar a propagação das ondas de rádio. Regiões diferentes da ionosfera são produzidas por diferentes componentes químicos. A ionosfera é um plasma ionizado fraco, ou gás, o qual pode afetar a propagação de ondas de rádio em várias direções.

Como a composição da atmosfera varia com a altitude, a taxa de produção de íon também varia e isso induz a formação de vários picos de ionização distintos, que são as camadas “D”, “E”, “F1” e “F2”. Elas são nomeadas em ordem crescente de altitude (ver Figura 8.1)

- ❖ **Região-D:** Região entre, aproximadamente, 75 e 95 Km sobre a superfície terrestre cuja ionização (relativamente fraca) é a principal responsável pela absorção de altas-frequências de ondas de rádio.
- ❖ **Região-E:** Região entre 95 e 150 Km, aproximadamente, sobre a superfície terrestre, representada pela marca da altura de um dia normal. Outras subdivisões, separadas por camadas irregulares ocorrem com essa região, e também são niveladas com o prefixo E, como a densa camada E2, e uma alta variação entre camadas, a Sporadic E. Íons nessa região são principalmente O_2^+ .
- ❖ **Região-F:** Região sobre, aproximadamente, 150 Km, na qual a importante camada de reflexão, F2, é encontrada. Outras camadas nessa região também são descritas usando-se o prefixo F, como a latitude-temperada de regular estratificação, F1, e a baixa-latitude, estratificação semi-regular, F1.5. Íons na parte mais baixa da camada F são principalmente NO^+ e são predominantes O^+ na parte mais alta. A camada F é a região de interesse primário para as comunicações via rádio.
- ❖ **Topside:** Essa parte da ionosfera começa numa altura de máxima densidade da camada F2 e se estende acima com decréscimo da densidade até a altura de transição onde íon O^+ são menos numerosos que H^+ e He^+ . A altura de transição varia, mas raramente cai abaixo de 500 Km à noite ou 800 Km durante o

dia, contudo pode ser confusa à alturas superiores à 1100 Km. Acima da altura de transição, a fraca ionização tem pouca influência sobre os sinais de rádio.

Figura 8.1: As camadas e a densidade eletrônica da ionosfera.

Fonte: <http://server5550.itd.nrl.navy.mil/projects/HAARP/ion1.html>

Para as frequências GPS, que são acima de 1,2 GHz, o atraso do caminho zenital da ionosfera tende a variar e isto varia ao longo do dia, e a variação diurna flutua consideravelmente, de um dia para o outro o que torna uma tarefa difícil a previsão do seu comportamento de um dia para o outro.

Satélites GPS são difundidos por duas frequências distintas para os quais a diferença do tempo de chegada para dois sinais pode ser usada para corrigir os efeitos ionosféricos. Alternativamente, a correção pode ser usada para estudar a ionosfera.

8.3 Refração ionosférica

A ionosfera se estende em várias camadas diferentes aproximadamente de 50 a 1000 Km sobre a superfície terrestre. Nesse meio disperso, induzem-se algumas interferências sobre a velocidade de propagação das ondas, por exemplo o sinal dos satélites GPS, de acordo com o índice de refração.

A ionosfera pode causar dois efeitos principais sobre os sinais emitidos pelos satélites GNSS. O primeiro é uma combinação *group delay* e *carrier phase advance*, os quais variam com o caminho e densidade de elétrons através dos quais os sinais emitidos pelos satélites atravessam a ionosfera. O segundo efeito é a **cintilação**⁹⁴ que pode causar, para algumas latitudes, o recebimento da amplitude do sinal e fase flutuantes rapidamente com o tempo. Fortes efeitos de cintilação que eventualmente foram observados em regiões próximas ao equador, são limitados a

⁹⁴ Estruturas irregulares das regiões da ionosfera podem causar difração e dispersão dos sinais de rádio trans-ionosféricos. Quando recebidos por uma antena, esses sinais apresentam flutuações em tempo aleatório em ambos amplitude e fase. Isso é conhecido como efeito cintilante da ionosfera (ionospheric scintillation).

aproximadamente 1 hora depois do por do sol até a meia noite local. Ambos os efeitos dependem da frequência de rádio e da influência do sinal GPS.

A ionosfera, é um meio de dispersão para ondas de rádio; Isto é, o índice de refração é uma função da frequência. SEEGER (1993) apresenta uma série aproximada de índice de refração e fase.

$$n_{ph} = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots \quad (8.1)$$

Os coeficientes c_2, c_3, c_4 não dependem da frequência, mas do número de elétrons N_e por metro cúbico (densidade de elétrons) ao longo do caminho de propagação. A equação (8.1) pode ser simplificada desprezando os termos após o termo ao quadrado, ou seja,

$$n_{ph} = 1 + \frac{c_2}{f^2} \quad (8.2)$$

Diferenciando a equação (8.2)

$$dn_{ph} = -\frac{2c_2}{f^3} df \quad (8.3)$$

HOFMANN-WELLENHOF et al. (1997), p. 100, apresenta uma equação considerando a velocidade do grupo para o correspondente índice de refração.

$$n_{gr} = n_{ph} + f \frac{dn_{ph}}{df} \quad (8.4)$$

Substituindo as equações (8.2) e (8.3) em (8.4) produz-se

$$n_{gr} = 1 - \frac{c_2}{f^2} \quad (8.5)$$

SEEGER (1993) apresenta um termo estimado c_2 como equação $c_2 = -40.3N_e [\text{Hz}^2]$. Como se pode notar, a fase e o índice de refração do grupo de fase desviam-se da unidade com sinal oposto. Completando, observando as equações (8.2) e (8.5), podemos concluir que $n_{gr} > n_{ph}$.

A propagação das ondas é função do índice de refração n . A velocidade de propagação pode ser estimada por

$$v = \frac{c}{n} \quad (8.6)$$

A equação (8.6) pode ser aplicada para representar a fase e a velocidade do grupo conforme a seguir

$$v_{ph} = \frac{c}{n_{ph}} \quad (8.7)$$

$$v_{gr} = \frac{c}{n_{gr}} \quad (8.8)$$

Observando as equações (8.2) e (8.5), também pode-se concluir que $v_{ph} > v_{gr}$. Isto representa que as fases transportadas GPS são avançadas e o código medido é atrasado. Por essa razão, os códigos das pseudodistâncias são medidos bem longos e a pseudodistância da fase da portadora são medidos bem curtos comparando-se a distância geométrica entre a antena do satélite e a antena receptora. O total da diferença é a mesma em ambos os casos, HOFMANN-WELLENHOF et al. (1997).

A medida do alcance pode ser estimada pelo princípio de Fermat

$$s = \int n \, ds \quad (8.9)$$

A integral poderia ser aplicada para o caminho do sinal. A distância geométrica s_0 ao longo da linha reta entre o satélite e a antena receptora, pode ser obtido analogamente considerando $n = 1$,

$$s_0 = \int ds_0 \quad (8.10)$$

A refração ionosférica pode ser estimada pela diferença Δ^{Iono} entre a medida e o alcance geométrico como o seguinte

$$\Delta^{Iono} = \int n \, ds - \int ds_0 \quad (8.11)$$

A equação (8.11) pode ser escrita para uma fase de índice de refração n_{ph}

$$\Delta_{ph}^{Iono} = \int \left(1 + \frac{c_2}{f^2} \right) ds - \int ds_0 \quad (8.12)$$

e para um índices do grupo de refração n_{gr}

$$\Delta_{gr}^{Iono} = \int \left(1 - \frac{c_2}{f^2} \right) ds - \int ds_0 \quad (8.13)$$

As equações (8.12) e (8.13) podem ser simplificadas integrando o primeiro termo ao longo do caminho geométrico. Nesse caso, ds torna-se ds_0 e as equações

$$\Delta_{ph}^{Iono} = \int \frac{c_2}{f^2} ds_0 \quad \Delta_{gr}^{Iono} = - \int \frac{c_2}{f^2} ds_0 \quad (8.14)$$

Substituindo o termo $c_2 = -40.3N_e$ na equação (8.14), obtemos

$$\Delta_{ph}^{Iono} = - \frac{40.3}{f^2} \int N_e \, ds_0 \quad \Delta_{gr}^{Iono} = \frac{40.3}{f^2} \int N_e \, ds_0 \quad (8.15)$$

O conteúdo total de elétrons (**T**otal **E**lectrons **C**ontents - **TEC**) é definido como uma integral da densidade de elétrons ao longo do caminho do sinal, computado por

$$TEC = \int N_e \, ds_0 \quad (8.16)$$

O TEC é medido ao longo do caminho do sinal entre a antena do satélite e a antena receptora. Uma medida extremamente precisa do TEC relativo pode ser formada através de fases de portadoras de dois sinais. Medidas de fases de portadoras da distância entre uma antena de um satélite e uma antena receptora instalada sobre a superfície terrestre, ou próxima dela, são reduzidas pela presença da ionosfera (a fase é antecipada). Por outro lado, as medidas de pseudodistâncias são aumentadas (o sinal é atrasado) - pelo mesmo resultado, TEUNISSEN e KLEUSBERG (1998).

O TEC é altamente variável com o tempo e com a posição geográfica do ponto medido. A variação dominante é diurna. Existe também o ciclo solar e as periodicidades sazonais bem como pequeno termo de variações com períodos de notação comum de 20 até acima de 100 minutos. O valor para um dia normal de um TEC vertical para um local de média latitude está na ordem de 10^{18} por m^2 e a noite correspondendo a um valor da ordem de 10^{17} por m^2 . Entretanto, semelhante ao valor do dia típico pode ser excedido pelo fator de dois ou mais, especialmente em regiões próximas a zona equatorial.

A ionosfera tende a manter o equilíbrio do TEC como um todo, sendo assim, jatos de elétrons livres migram do lado iluminado da Terra para o lado que acabou de escurecer da ionosfera. Estes jatos de elétrons são mais intensos e comuns na região equatorial e provocam severas perturbações no sinal do GPS.

A integral é assumida para incluir os elétrons numa coluna com seção de $1m^2$ e que se estende da antena receptora ao satélite. Substituindo a equação (8.16) em (8.14)

$$\Delta_{ph}^{Iono} = -\frac{40.3}{f^2} TEC \quad \Delta_{gr}^{Iono} = \frac{40.3}{f^2} TEC \quad (8.17)$$

WILD et al. (1989) apresenta uma estimativa verdadeira para o TEC. A expansão da série de Taylor como função da latitude e do tempo local é considerada dentro dessa estimativa. Existem alguns modelos para estimar o termo TEC, por exemplo, o KLOBUCHAR (1986), KATO et al. (1987), JORGENSEN (1989), etc.

O TEC é muito difícil para modelar, porque é dependente da influência do tempo. O valor do TEC varia substancialmente como consequência das mudanças na composição química neutra. O valor do TEC pode entretanto crescer ou decrescer sob condições serenas. Durante um dia de inverno em médias latitudes, a resposta é usualmente crescente. Esse conceito pode ser consequência das mudanças da composição química neutra na atmosfera superior alterando a eficiência da ionização, MUSMAN et al (1998).

O método mais eficiente para modelar o TEC, portanto, é eliminar a refração ionosférica usando dois sinais com diferentes frequências. Esse método de frequência dupla é o mais importante razão porque o sistema GNSS usa dupla onda transportadora L_1 e L_2 .

A equação (5.4) pode ser simplificada e adicionando a frequência dependente da refração da ionosfera

$$P_{L_1} = \rho + c\Delta\delta + \Delta^{Iono}(f_1) \quad (8.18)$$

$$P_{L_2} = \rho + c\Delta\delta + \Delta^{Iono}(f_2) \quad (8.19)$$

Onde f_1 e f_2 são as frequências que levam L_1 e L_2 . Das equações (8.18) e (8.19) pode ser feita uma combinação linear

$$P_{L_1, L_2} = n_1 P_{L_1} + n_2 P_{L_2} \quad (8.20)$$

Os parâmetros n_1 e n_2 são arbitrários e podem ser estimados. O leitor deve ter em mente que todos os cálculos devem ser realizados com o intuito de cancelar o efeito da refração ionosférica. Substituindo as equações (8.18) e (8.19) em (8.20)

$$n_1 \Delta^{iono}(f_1) + n_2 \Delta^{iono}(f_2) \equiv 0 \quad (8.21)$$

A equação (8.21) deve tornar-se igual a zero. Como podemos ver na equação (8.21), temos duas incógnitas, mas uma delas pode assumir arbitrariamente $n_1 = 1$. Então,

$$n_2 = -\frac{\Delta^{iono}(f_1)}{\Delta^{iono}(f_2)} \quad (8.22)$$

Usando o conceito apresentado nas equações (8.17), a equação (8.22) pode ser escrita como

$$n_2 = -\frac{f_2^2}{f_1^2} \quad (8.23)$$

Substituindo esses valores n_1 e n_2 na equação (8.20), obtêm-se a combinação linear da ionosfera-livre para pseudo-distância.

$$P_{L_1, L_2} = P_{L_1} - \frac{f_2^2}{f_1^2} P_{L_2} \quad (8.24)$$

Da mesma forma, podemos derivar a expressão para combinação linear da ionosfera-livre para pseudodistância considerando a fase da portadora. O modelo simples para fase da portadora é:

$$\Phi_{L_1} = \frac{1}{\lambda_{L_1}} \rho + f_1 \Delta \delta + N_{L_1} - \frac{1}{\lambda_{L_1}} \Delta^{iono}(f_1) \quad (8.25)$$

$$\Phi_{L_2} = \frac{1}{\lambda_{L_2}} \rho + f_2 \Delta \delta + N_{L_2} - \frac{1}{\lambda_{L_2}} \Delta^{iono}(f_2) \quad (8.26)$$

Das equações anteriores, podemos escrever uma combinação linear

$$\Phi_{L_1, L_2} = n_1 \Phi_{L_1} + n_2 \Phi_{L_2} \quad (8.27)$$

Substituindo e desenvolvendo as equações (8.25) e (8.26) em (8.27)

$$\begin{aligned} \Phi_{L_1, L_2} = & \rho \left(\frac{n_1}{\lambda_{L_1}} + \frac{n_2}{\lambda_{L_2}} \right) + \Delta \delta (n_1 f_1 + n_2 f_2) + n_1 N_{L_1} + n_2 N_{L_2} - \\ & \frac{n_1}{\lambda_{L_1}} \Delta^{iono}(f_1) - \frac{n_2}{\lambda_{L_2}} \Delta^{iono}(f_2) \end{aligned} \quad (8.28)$$

HOFMANN-WELLENHOF et al. (1997) apresenta para a combinação linear para a ionosfera-livre, a seguinte equação

$$\frac{n_1}{\lambda_{L_1}} \Delta^{iono}(f_1) + \frac{n_2}{\lambda_{L_2}} \Delta^{iono}(f_2) \equiv 0 \quad (8.29)$$

Consideramos nesta equação que a fase medida é contínua (sem perdas de ciclos), isto é, elas continuam constantes. Para achar a solução da equação (8.29) precisamos arbitrar um valor para n_1 ou n_2 que são desconhecidos. Fazendo $n = 1$, conseqüentemente

$$n_2 = -\frac{\lambda_{L_2}}{\lambda_{L_1}} \frac{\Delta^{Iono}(f_1)}{\Delta^{Iono}(f_2)} \quad (8.30)$$

Usando os conceitos apresentados na equação (8.17) e considerando $c = \lambda f$, a equação (8.30) pode ser escrita como

$$n_2 = -\frac{f_2}{f_1} \quad (8.31)$$

Considerando $n = 1$ e a equação (8.31), a equação (8.27) torna-se

$$\Phi_{L_1, L_2} = \Phi_{L_1} - \frac{f_2}{f_1} \Phi_{L_2} \quad (8.32)$$

A equação (8.32) reflete a variação do TEC no tempo. Conseqüentemente, a medida da fase da portadora pode ser usada para determinar a variação no atraso ionosférico – o então chamado atraso diferencial, mas não o atraso absoluto de uma época. Infelizmente, a equação (8.32) não permite computar o valor absoluto TEC, por causa das ambigüidades iniciais N_{L_1} e N_{L_2} não conhecidas.

O leitor pode ter em mente que as equações (8.24) e (8.32) onde se deduziu considerando $n = 1$, apresentam diferentes combinações. Note que na aproximação da correção da dupla-frequência, são assumidos que os sinais L1 e L2 seguem o mesmo caminho através da ionosfera. Quando não é completamente verdadeiro, o erro induzido é geralmente negligenciado exceto abaixo de condições de severa turbulência ionosférica.

MUSNAM et al. (1998) apresenta uma experiência que usou dados das estações CORS⁹⁵ para estimar o valor do TEC e encontrou mudanças associadas com distúrbios solares. A Figura 8.2 mostra os valores TEC, o gradiente Norte-Sul relatado com baixo ângulo de elevação e um gradiente distinto Leste-Oeste.

⁹⁵ CORS: Continuously Operating Reference System.

Figure 8.2: GPS derivados de valores TEC além do continente dos EUA.
Adaptado de MUSNAN et al (1998).

A Figura 8.2 foi criada usando os dados coletados de 52 estações CORS considerando nove dias no intervalo de 6 a 15 de Janeiro de 1997 e percebe-se nitidamente a relação entre os valores de TEC com a latitude, ou seja, para valores baixos de latitude foram encontrados grandes valores de TEC. A Figura 8.3 apresenta um mapa das estações CORS. O gradiente Norte-Sul é um tanto largo no leste do que à oeste e a razão para esse efeito não são claras. Entretanto, o maior fator determinando a máxima amplitude é a latitude. A avaliação para mais radiação de ionização para baixas latitudes é crucial, MUSNAN et al (1998).

Figura 8.3: Estações CORS .

Fonte: http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Cors_coverage.html

8.4 Atraso de valores devido à variação ionosférica

Antes que os sinais emitidos pelas antenas dos satélites atinjam as antenas receptoras dos usuários, os sinais precisam atravessar a ionosfera. Devido a este fato, o sinal original sofre um atraso pelo proporcional aumento no número de íons livres sobre a ionosfera, definido anteriormente como o TEC. A densidade dos íons é função de alguns parâmetros como hora local, latitude magnética, época da luz solar, e outros fatores. KEE apud PARKINSON AND SPILKER (1996) afirmam que o pico ocorre às 14:00 horas, hora local.

Neste texto, procuramos realizar um experimento com o objetivo de mostrar a variação do TEC com a latitude e com o tempo. Neste sentido, foram utilizados dados de seis pontos das estações U.S. CORS à leste da costa dos Estados Unidos e Caribe. Os pontos utilizados foram: ORO_ localizada em Orono (ME), SHK1 localizada em (NJ), GAIT localizada em Gaithersburg (MD), ATL1 localizada em Atlanta (GA), MIA3 localizada em Miami (FL) e PUR3 localizada em Isabela (Porto Rico). Os dados são referentes a três dias consecutivos DIA152, DIA153 e DIA154, 1999. Este experimento foi realizado no ano de 1999, período que o relator desenvolveu seu programa de pós-doutoramento no Spatial Information Science Engineering Department da Universidade do Maine-EUA. As Figuras 8.4 à 8.9 mostram os valores da variação TEC para os três dias consecutivos citados. A Tabela 8.1 apresenta as coordenadas para esses locais.

Tabela 8.1: Coordenadas Geodésicas de estações CORS, relativas ao ITRF97.

Estação CORS	Latitude	Longitude	Altura geométrica
ORO_ (ME)	44° 54' 07.34643"	-68° 40' 07.22175"	23.429m
SHK1 (NJ)	40° 28' 17.37110"	-74° 00' 41.74719"	-24.589m
GAIT (MD)	39° 08' 02.36873"	-77° 13' 15.52723"	107.643m
ATL1 (GA)	33° 56' 08.25994"	-84° 31' 13.42410"	295.321m
MIA3 (FL)	25° 43' 58.11465"	-80° 09' 36.61018"	-16.163m
PUR3 (PR)	18° 27' 46.71223"	-67° 04' 01.04884"	89.552m

Os dados usados para esta análise foram obtidos da U.S. National Geodetic Survey (NGS) considerando 24 dados de 1 hora para cada estação e cada dia para todos os três dias. Foi elaborado usado um programa, em linguagem FORTRAN – apresentado no **ANEXO “A”**, para ler os arquivos de observação RINEX e disponibilizá-lo em extensão .xlz para o aplicativo EXCEL. Neste aplicativo foi elaborada uma planilha de cálculo, utilizando a equação (8.32), que reflete a variação do TEC com o tempo. As Figuras 8.4 a 8.9 ilustram o resultado dos cálculos da planilha EXCEL para as estações CORS: ORO_, SHK1, GAIT, ATL1, MIA3 e PUR3.

Figura 8.4: Variação TEC na estação CORS_ORO localizada em Orono, ME.

Figura 8.5: Variação TEC na estação CORS_SKH1 localizada em Sand Hook 1, NJ.

Figura 8.6: Variação TEC na estação CORS_GAIT localizada em Gaithersburg, MD.

Figura 8.7: Variação TEC na estação CORS_ATL1 localizada em Atlanta, GA.

Figura 8.8: Variação TEC na estação CORS_MIA3 localizada em, FL.

Figura 8.9: Variação TEC na estação CORS_PUR3 localizada em Isabela, Porto Rico.

Observando as Figuras 8.4 a 8.9 podem ser observadas as seguintes conclusões:

- (a) O valor da variação TEC é função da latitude do local e do tempo. As três estações de maior latitude, a amplitude da variação TEC é, em média, menor que as demais estações de menor latitude. Por outro lado, as estações de maiores valores de latitude apresentam menores variações de TEC que as estações de menores latitudes devido a densidade de íons na ionosfera;
- (b) As estações de maior latitude apresentam uma variação média positiva de TEC mais curta que as estações de menor latitude. Enquanto as estações de maiores latitudes apresentam uma variação média positiva entre as 9:00 horas e 13:00 horas, as estações de menores latitudes apresentam entre as 8:00 horas e 16:00 horas;
- (c) As estações CORS_GAIT, CORS_ATL1 e CORS_MIA3 apresentam, em média, variação positiva de TEC maior que a estação CORS_PUR3, para o período analisado. Não podemos tomar este fato como uma regra geral e para tanto é necessário uma análise temporal maior para que tenhamos uma conclusão mais efetiva;
- (d) Todas as estações apresentam uma grande variação TEC negativa antes do amanhecer e depois do pôr-do-sol para UT local. O valor da variação depende da latitude local.

A figura 8.10 mostra a variação do TEC usando os valores médios para todas as estações estudadas.

Figura 8.10: Variação média TEC para as estações CORS ORO_, SHK1, GAIT, ATL1, MIA3 e PUR3 para DIA152, DIA153 e DIA154, 1999.

Com o intuito de comprovar a viabilidade do uso de informações do GPS nos SIGs, os dados obtidos no experimento descrito foram aplicados no software ArcView versão 3.1 da Environmental Systems Research Institute (ESRI), para ilustrar os resultados obtidos. Vide Figura 8.11. Nesta figura, apresentamos a variação do TEC para o período de maior atividade da atmosfera, ou seja, entre as 9:00 horas e 13:00 [UT]. Nesta figura, percebe-se a variação da variação do TEC com a latitude. As discrepâncias que ocorreram não podem ser tomadas como uma regra geral pelo curto período analisado no experimento e carece de maiores análises em pesquisas futuras.

Dentre várias razões, a decisão pelo uso do ArcView fez-se pelo fato de que algumas pesquisas orientadas pelo autor e por outros pesquisadores do STT/EESC/USP, demonstraram-no

ser de grande valia para os tipos de análises realizadas. CHAVES (1998) e SOUZA (2000) apresentam aplicações interessantes de recursos deste software, descrevendo-os detalhadamente.

Figura 8.11: Variação do TEC para as estações CORS_ORNO, SHK1, GAIT, ATL1, MIA3 e PUR3 para DOY152, DOY153 e DOY154, 1999.

Como um segundo exemplo deste tipo de aplicação, foram usados os dados da rede geodésica do estado de São Paulo⁹⁶. Os arquivos RINEX de observação das estações foram processados e gerados valores de variação de TEC, para aquela época. A Figura 8.12 ilustra mais uma aplicação do ArcView para apresentar dados obtidos a partir do GPS.

Figura 8.12: Variação do TEC para as estações da rede geodésica do estado de São Paulo para os dados relativos as campanhas realizadas em 1994.

⁹⁶ Os dados da rede geodésica do estado de São Paulo foram coletados nos meses de março e novembro de 1994. As campanhas de observações foram realizadas pelo Departamento de Geodésia do IBGE e serviram de base para o processamento e ajustamento desta rede.

Nesta figura também podemos perceber que a variação do TEC é função da latitude do ponto analisado. A partir destes dados, percebemos que existem algumas distorções quanto aos valores da variação do TEC quanto a latitude, ou seja, existem pontos de latitudes pequenas com pequenas variações do TEC. Este fato merece uma investigação mais apurada para termos conclusões mais contundentes. Daí, o autor propõe no capítulo seguinte, na sessão de projetos futuros, a necessidade de um monitoramento nestes pontos da rede. Ainda com relação a esta figura, as estações estão designadas por números que identificam as cidades onde estão localizados os marcos geodésicos. A Tabela 8.2 apresenta a identificação das cidades como o código de números adotado nesta figura.

Tabela 8.2: Código numérico para identificação dos marcos geodésicos da rede geodésica GPS do estado de São Paulo e a cidade de sua localização.

Código numérico	Nome do marco geodésico	Código numérico	Nome do marco geodésico
1	CHUÁ (Uberaba-MG)	14	ILHA (Ilha Solteira)
2	AVER (Água Vermelha)	15	USPP (Pilar 1 – USP/SP)
3	SJRP (São José do Rio Preto)	16	BELA (Ilha Bela)
4	JABO (Jaboticabal)	17	BUNA (Paraibuna)
5	PIRA (Pirassununga)	18	VALI (Valinhos)
6	LIMO (Limoeiro-Caconde)	19	CAPA (Cachoeira Paulista)
7	FRCA (Franca)	20	REGI (Registro)
8	FERN (Fernandópolis)	21	ITAP (Itapetininga)
9	AVAN (Avanhandava)	22	IEVA (Itapeva)
10	IBIT (Ibitinga)	23	BOTU (Botucatu)
11	UEPP (Presidente Prudente)	24	MARI (Marília)
12	TAQU (Taquarussú)	25	PANO (Panorama)
13	SAGR (Salto Grande)		

Fonte: Segantine (1995)

Estes exemplos corroboram com o objetivo geral deste texto que é apresentar a viabilidade do uso de informações obtidas, a partir do uso da tecnologia de posicionamento de pontos através de sinais emitidos por satélites artificiais, no SIG. Este sinergismo existe e devemos a cada dia buscar o uso conjunto destas tecnologias.

9 PESQUISAS REALIZADAS

Este capítulo tem por objetivo apresentar um resumo dos trabalhos orientados pelo relator e propor trabalhos futuros a serem desenvolvidos em sua linha de pesquisa.

*“Não tenhais medo de propor todo o ensinamento de Cristo, árduo mas que jamais decepciona”.
(Papa João Paulo II)*

O Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos vem consolidando, nos últimos anos, a sua posição como importante centro de pesquisas na área de Transporte. Uma das áreas de concentração exploradas pelo autor é a de *Mensuração aplicada a transportes*. Esta é hoje uma área já expressiva, com alguns trabalhos concluídos, além de outros em desenvolvimento. Algumas das linhas de pesquisas conduzidas estão relacionadas com a Infraestrutura e projeto geométrico de vias, Cartografia Básica, Aplicações do Sistema de Informação Geográfica, Aplicações do Sistema de Posicionamento Global por satélites artificiais.

A área de Mensuração já é, por si só, bastante ampla. No entanto, pesquisar nessa área sem considerar sua aplicação a transportes e áreas afins, é, no mínimo inadequado. Foi com este estímulo que o autor, desde o início de sua vida acadêmica propôs, inicialmente, uma linha de pesquisa intitulada *Sistema de Posicionamento global aplicado a transportes e áreas afins*. A partir daí, foi proposto um conjunto de temas de pesquisas a serem desenvolvidas, apresentadas a seguir:

1. Avaliação dos parâmetros geométricos de vias utilizando o sistema de posicionamento global por satélites;
2. Avaliação de parâmetros de transformação entre sistemas de referências;
3. Aplicação do sistema de posicionamento global como fonte de obtenção de dados para o sistema de informação geográfica;
4. Análise e avaliação das técnicas de posicionamento de pontos usando a tecnologia de posicionamento global;
5. Estudo do processamento de dados GPS para o estabelecimento de redes geodésicas;
6. Análise da aplicação de métodos topográficos clássicos e modernos na avaliação da deformação de obras civis.

A partir destes primeiros temas de pesquisas, novos temas foram surgindo com o desenvolvimento dos trabalhos orientados a nível iniciação científica, mestrado e doutorado. Dentre as mais importantes podemos citar:

1. O uso da tecnologia GPS para localização de pontos para a calibração de imagens digitais;
2. Análise e comparação de levantamentos com a Topografia clássica e com GPS, de acordo com a norma brasileira NBR 13133;
3. Análise e comparação de dados obtidos por Astronomia clássica e por GPS;
4. Estudo de um modelo geoidal aplicando os fundamentos de redes neurais;
5. Análise de estratégias de otimização do ajustamento de vetores de uma rede geodésica estabelecida pela tecnologia GPS;

Alguns dos temas, acima citados, foram desenvolvidos com pequenas alterações que descrevemos a seguir.

- ❖ ***Análise de parâmetros geométricos de curvas verticais de vias, à luz do sistema de posicionamento global – GPS:*** Este trabalho foi desenvolvido, no nível de mestrado, e tinha como objetivos utilizar o sistema GPS para levantar um trecho de rodovia de

classe II, segundo a classificação do DNER⁹⁷, e mostrar a situação real (as-built) da localização das faixas de proibição de ultrapassagem. Além disso, tinha como objetivos secundários avaliar o comprimento mínimo de curvas verticais levantadas no perfil obtido pelo levantamento clássico topográfico com instrumentos eletrônicos e por último localizar as marcações de pista e comparar com os valores propostos pelas normas do DNER. A conclusão do trabalho indicou que o sistema GPS é uma ótima ferramenta para a atualização da situação real e localização das marcações de uma rodovia, em tempo relativamente curto e de custo compatível quando comparado com outros métodos, MARQUES (1997).

- ❖ ***Proposta de parâmetros de transformação entre os sistemas WGS84 e o SAD69, para a região de São Carlos-SP:*** Este trabalho foi desenvolvido, no nível de mestrado, e abordou como principal problema as discrepâncias encontradas na transformação de coordenadas ao utilizar os parâmetros de transformação entre os sistemas de referências WGS84 e SAD69, divulgados pelo IBGE. Além disso, os objetivos secundários eram apresentar alguns modelos matemáticos de transformação de coordenadas, utilizado em combinação de redes geodésicas, com o intuito de estimar os parâmetros de transformação entre os sistemas WGS84 e SAD69, para a região de São Carlos-SP. O trabalho comprovou a existência de problemas no que diz respeito à compatibilização estes referenciais, VERONEZ (1998).
- ❖ ***Análise da qualidade de dados georreferenciados utilizando a tecnologia GPS:*** Este trabalho foi desenvolvido, no nível de mestrado, e tinha como objetivos principais apresentar os conceitos cartográficos básicos de cartas analógicas e digitais, descrever os métodos de obtenção de cartas digitalizadas e planejar e executar um estudo de caso, numa área da cidade de São Carlos-SP, utilizando as técnicas de digitalização e o sistema GPS na análise de qualidade dos dados georreferenciados. Os objetivos foram todos alcançados e comprovou-se que o GPS é um meio adequado à obtenção de coordenadas de pontos de controle, utilizados nestes tipos de análises, e atentando-se ao fato de que é muito importante a escolha dos pontos GPS, CHAVES (1998).
- ❖ ***Estudo e análise de poligonais segundo a NBR 13133 e o sistema de posicionamento global:*** Este trabalho foi desenvolvido, no nível de mestrado, e tinha como objetivo principal o ajustamento das observações de poligonais levantadas por GPS e por estação total e comparar os resultados das coordenadas e precisões com as precisões estabelecidas pela NBR 13133 de 1994. Além disso, os objetivos secundários eram a elaboração de programas de transformação de coordenadas entre os sistemas utilizados para o Sistema Geodésico Brasileiro e a elaboração de programas de ajustamento das observações obtidas e comparar os resultados obtidos do ajustamento com as tolerâncias indicadas pela norma brasileira. Este trabalho comprovou a limitação do GPS em se trabalhar em áreas com alta densidade de vegetação arbórea, e a grande influência das condições atmosféricas (principalmente a temperatura) nas medições angulares e distâncias e a influência da refração atmosférica no momento da medição com estação total, MAIA (1999).
- ❖ ***Análise de estratégias para processamento de redes geodésicas com o sistema de posicionamento global – GPS:*** Este trabalho foi desenvolvido, no nível de mestrado, e os objetivos principais deste trabalho eram analisar, através dos dados GPS da rede do estado de São Paulo, a influência da utilização de valores observados de dados atmosféricos ao invés de se utilizar os valores propostos pelos programas de

⁹⁷ Departamento Nacional de Estrada de Rodagem.

processamento, processar os dados observados considerando as efemérides transmitidas e as precisas e analisar as possíveis divergências, dentre outros. As principais conclusões deste trabalho são: os dados coletados apresentam muita perda de ciclo o que compromete a qualidade dos resultados obtidos, sugerindo assim que a rede seja observada novamente em futuro próximo com receptores com tecnologia mais atualizada; o ajustamento comprovou que o tempo gasto na captação dos dados foi excessivo e que não garantiu melhoria na precisão dos resultados; a rede apresenta um comprimento de vetores variados, sendo alguns excessivamente grande o que compromete os resultados, LARocca (2000).

- ❖ ***Obtenção e análise de azimutes por Astronomia clássica e pelo sistema de posicionamento global:*** Este trabalho foi desenvolvido, no nível de mestrado, e o principal objetivo desse trabalho era caracterizar os métodos e processos que podem ser utilizados para obter melhores resultados dos azimutes sob a ótica da Astronomia Clássica e pelo Sistema de Posicionamento Global, levando em conta as diferentes naturezas do tratamento aplicado às observações. Procurou-se também estabelecer a fronteira no comprimento das linhas base, em que os resultados obtidos através de processos da Astronomia Clássica tenham melhor precisão que os obtidos através dos recursos do Sistema de Posicionamento Global, além da caracterização e definição dos sistemas de referência e posicionamento, tratamentos necessários para minimizar os erros das observações e definição dos azimutes tratados pelas Engenharias. A conclusão do trabalho mostrou que comparar a qualidade dos azimutes obtidos por processos astronômicos e por GPS não é uma tarefa das mais simples, pois são grandezas referenciadas a diferentes superfícies e que exige complexo tratamento matemático. Além disso, comprovou a existência de diferença entre azimutes obtidos por Astronomia Clássica e por GPS e que esta diferença é da ordem de 15,1", em outras palavras, o azimuth astronômico é superior ao obtido por GPS deste valor, ROCHA (2000).
- ❖ ***Análise de precisão dos posicionamentos relativa e por pontos simples para bases curtas, com o sistema NAVSTAR/GPS: estudo de caso em Belém-PA:*** Este trabalho foi desenvolvido, no nível de mestrado, e constitui-se num método para estudo, implantação e análise de precisão do posicionamento relativo e ponto simples para vetores de linhas base curta com o GPS. Para tanto foram observados pontos geodésicos na região metropolitana de Belém-Pa, denominada de malha GPS99. Simultaneamente mediram-se dados meteorológicos "in loco" através de medições psicrométricas. As condutas organizadas para processamento dos dados diferiram entre si em: tipos de correções inseridas e resultados analisados. Os resultados foram comparados entre si para a apresentação de análises, conclusões e recomendações acerca de diferentes fatores: PPP, L1 versus L3, Resolver ou fixar ambigüidade, inserir ou não variáveis meteorológicas reais para bases curtas, posicionamento relativo versus ponto simples, variação do ponto simples e influência da pressão atmosférica na precisão final de uma observação GPS. Adicionalmente, apresenta-se e discute-se uma nova metodologia desenvolvida pela NASA, o PPP, que executa o processamento automatizado de dados GPS, a partir de dados coletados por um receptor de dupla frequência de fase e de código. Dentre as conclusões deste trabalho aponta-se a importância de valores reais de dados meteorológicos na etapa de processamento de dados GPS; no caso de linhas bases curtas a solução "float" e a "fix" apresentam valores de ambigüidades muito próximas; a medida em que o comprimento da linha base vai aumentando, aumenta a diferença entre as soluções "float" e a "fix", SILVA (2000).

- ❖ ***Uso do sistema de informações geográficas na análise e otimização do atendimento a locais de potencial risco de incêndios, para a cidade de São Carlos-SP:*** : Este trabalho foi desenvolvido, no nível de mestrado, e os objetivos principais eram de efetuar um levantamento de áreas de potencial risco de incêndio da cidade de São Carlos-SP, elaborar um estudo de disponibilidade do serviço do corpo de bombeiros desta cidade, utilizando como ferramenta de análise um SIG. Como objetivos específicos podemos citar: Determinar a localização dos pontos de potencial risco de incêndios, das centrais de atendimento do Corpo de Bombeiros e dos hidrantes na área urbana da cidade de São Carlos (SP), utilizando a tecnologia do Sistema de Posicionamento Global (GPS) para a integração de dados no Sistema de Informações Geográficas (SIG); verificar o posicionamento das centrais de atendimento do Corpo de Bombeiros e subdividir o espaço urbano da cidade tomando como parâmetro de relação a quantidade de centrais e número de pontos de risco de incêndios; propor a otimização do atendimento de serviço do Corpo de Bombeiros, visando à necessidade de novas localizações de centrais de atendimento, ou seja, alocar melhor tais centrais em relação aos pontos de risco de incêndios, utilizando como ferramenta de decisão o Sistema de Informações Geográficas (SIG) implantado; apresentar os principais parágrafos da legislação de prevenção contra incêndios vigente no município de São Carlos (SP); e verificar a necessidade de implementação de novas medidas de prevenção contra incêndios na área urbana do município. O trabalho conclui a eficiência da integração entre as tecnologias SIG e GPS onde possibilitou efetuar o mapeamento da cidade de São Carlos-SP e localizando, com precisão, os pontos com eventuais riscos a ocorrência de incêndios, bem como a distribuição espacial das centrais de atendimento do corpo de bombeiros da cidade, SOUZA, (2000).

- ❖ ***Comparação entre coordenadas geográficas-geodésicas transportadas pelo método clássico e por GPS:*** Este trabalho foi desenvolvido, no nível de mestrado, com o objetivo de apresentar a revisão do clássico procedimento geodésico, adotado pela DSG - Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, para o cálculo do transporte de coordenadas geográficas-geodésicas dos vértices da rede fundamental implantados no Brasil entre 1940 e 1970, antes do surgimento das técnicas de posicionamento. Neste trabalho, uma aplicação prática do método foi desenvolvida, empregando-o na solução de um problema específico da projeção cartográfica UTM, que é o transporte de coordenadas na passagem do limite entre fusos. Para isto foi escolhida uma área localizada na divisa entre os municípios de São Carlos e Ibaté no Estado de São Paulo, atravessada pelo meridiano de 48°, limite entre os fusos 22 e 23 desta projeção. Na área implantaram-se duas bases geodésicas determinadas através de técnicas de observação do Sistema de Posicionamento Global, sendo uma base posicionada no fuso 22 e outra no fuso 23. Inicialmente, entre estas bases, desenvolveu-se uma poligonal de adensamento constituída de 7 vértices, que teve seus lados e ângulos observados com estação total, possibilitando o cálculo de suas coordenadas geográficas-geodésicas pelo método clássico em pauta. Numa segunda etapa do trabalho, foram observados com receptores GPS de uma frequência, os 8 vetores relativos aos lados da poligonal de adensamento, empregando o método diferencial estático. Cada um dos 7 vértices da poligonal teve suas coordenadas geográficas-geodésicas determinadas por pós-processamento, permitindo a comparação entre os resultados obtidos nos dois procedimentos utilizados. Na etapa final, comparando-se os resultados obtidos pelos dois diferentes métodos, pode-se verificar que apesar da técnica em desuso empregada pelo método clássico, ela conduziu os cálculos com o rigor e aproximação adequados, produzindo coordenadas de valores significativamente próximos aos valores determinados pela mais avançada tecnologia empregada nos dias atuais que é a tecnologia GPS. O trabalho conclui que o método aplicado pela Diretoria do Serviço

Geográfico do Exército foi extremamente eficiente e cuidadoso no transportes de coordenadas entre fusos cumprindo o seu papel como instrumento de produção cartográfica. A tecnologia GPS veio substituir o método clássico com a mesma eficiência, mostrando que veio para ficar, MENSORI (2001).

- ❖ ***Uso da tecnologia GPS na monitoração de deformação: sistemas, etapas e experimentos:*** : Este trabalho foi desenvolvido, no nível de doutorado, com os seguintes objetivos principais: revisar sistemas, métodos e programas que empregam a tecnologia GPS para monitorar deformação; submeter os dados GPS ao processamento do programa científico GIPSY, com efemérides precisas não fiduciais do JPL, com o intuito de obter resultados de repetibilidade na monitoração de pontos em estruturas de obras civis; simular o deslocamento de pontos e verificá-los com o uso de dados GPS processados pelo programa GIPSY. Este trabalho conclui com a comprovação do uso do GPS na tarefa de controle na monitoração de deformação de estruturas. A precisão alcançada por este sistema de posicionamento o habilita à este tipo de aplicação, CHAVES (2001).

9.1 Projetos futuros

A experiência é fundamental na vida profissional do homem.

As pesquisas até então realizadas e as orientadas pelo autor, em nível de mestrado e de doutorado, vêm proporcionando um conjunto de trabalhos para a área de Mensuração, em especial para a linha de pesquisa proposta. Todos os trabalhos vêm servindo como textos básicos para os cursos ministrados, aprimorando assim os conhecimentos por parte dos alunos capacitando-os ao competitivo mercado de trabalho. Deste modo o autor tem, dentre vários outros objetivos, a elaboração de dois livros versando sobre assuntos relativos a Geomática e quanto aos Sistemas de Informação Geográfica e Posicionamento Global por satélites. O autor já vem desenvolvendo toda a preparação do material, utilizada nas disciplinas ministradas, com recursos visuais e preparando todo este material para o oferecimento de cursos a longa distância, via Internet. Numa primeira etapa, tão logo seja oficializado pela Universidade de São Paulo, os cursos serão oferecidos para todas as unidades da USP.

O autor no momento vem orientando trabalhos em nível de mestrado e doutorado cujos objetivos principais são descritos a seguir:

- ❖ ***Metodologia para previsão de impactos do tráfego intra-urbano sobre a qualidade do ar:*** Este trabalho vem sendo realizado, como projeto de doutoramento, pela Arquiteta Mônica Kofler de Freitas, e tem por objetivo específico Desenvolver uma metodologia para o controle das vias urbanas, adequando a capacidade viária em função do uso do solo e qualidade do ar, utilizando o modelo em Redes Neurais Artificiais. Este trabalho encontra-se em fase terminal de coleta de dados e elaboração do texto. O mês provável para a defesa é maio/2002.
- ❖ ***Proposta de um modelo geoidal para o estado de São Paulo, à luz dos recursos de redes neurais:*** Este trabalho tem por objetivos apresentar os diversos métodos de obtenção de modelos geoidais e propor um novo modelo geoidal resultante dos recursos de redes neurais. Para tanto, utilizará marcos da rede fundamental de nivelamento do estado de São Paulo e marcos oficiais de RNs do IBGE. Estes pontos serão observados com receptores GPS, de dupla frequência, e a partir das alturas geoidais obtidas será “treinada” a rede para que possa gerar alturas geoidais de

qualquer ponto do estado. Este trabalho será em nível de doutorado e desenvolvido pelo Engenheiro Tule César Barcelos Maia que já conclui o número de créditos exigidos pela Área de Pós-graduação do STT/EESC/USP e está na fase final da elaboração do projeto de tese e investigando os pontos geográficos a serem utilizados no trabalho de campo para coleta dos dados.

- ♦ ***Uma nova metodologia de ajustamento de redes, aplicando conceitos de inteligência artificial:*** Este trabalho tem por objetivo analisar os diversos métodos usados para o ajustamento de redes e propor uma nova estratégia utilizando como ferramenta a técnica de inteligência artificial para analisar a geometria da rede, o comprimento e o desvio padrão dos vetores gerados pelo processamento de dados GPS. Este trabalho será em nível de doutorado e desenvolvido pelo Engenheiro Carlos Augusto Uchoa da Silva que já conclui o número de créditos exigidos pela Área de Pós-graduação do STT/EESC/USP e está na fase final da elaboração do projeto da tese e estudando os métodos clássicos utilizados pelas rotinas de cálculos para a execução de ajustamento.
- ♦ ***Determinação de coordenadas de pontos utilizando o método de pontos simples:*** Este trabalho tem por objetivos estudar e propor uma rotina de cálculo para o processamento de dados GPS para gerar coordenadas de pontos simples, a partir de informações do código e da fase da portadora dos sinais GPS. Além disso pretende-se incluir nas rotinas de cálculos diferentes modelos de troposfera e de ionosfera para análises durante o processamento dos dados. Esta alternativa de obtenção de coordenadas é muito importante para aplicações em SIG, uma vez que as coordenadas de um ponto pode ser obtida de forma rápida e com precisão espacial inferior a 1 metro a partir de dados coletados de apenas um receptor. Este trabalho será desenvolvido, em nível de mestrado, pelo Engenheiro Rodrigo Figueiredo Leandro que está complementado no número de créditos exigidos pela Área de Pós-graduação do STT/EESC/USP e elaborando a revisão bibliográfica sobre o assunto para o exame de qualificação previsto para o mês de março de 2002.

Além dos trabalhos em andamento, o autor pretende em futuro próximo desenvolver alguns projetos, ou dar continuidade aos já realizados, como por exemplo:

- ⇒ realizar a re-observação da rede geodésica do estado de São Paulo considerando um maior número de estações, ou seja, realizar a densificação da mesma de modo a reduzir o comprimento dos vetores e assim minorar os efeitos ionosféricos nos resultados das coordenadas;
- ⇒ realizar o nivelamento geométrico da rede de modo que todos os pontos tenham suas coordenadas altimétricas relativas a altura ortométrica;
- ⇒ realizar o monitoramento da RBMC para analisar a variação do TEC ao longo do tempo e com isso criar mapas temáticos temporais para auxiliarem nas decisões de quais são os melhores períodos para se realizarem observações com o GPS de modo a melhorar a precisão dos resultados;
- ⇒ criar uma base de calibração de equipamentos eletrônicos para averiguar se os mesmos atendem às exigências das normas brasileiras e se estão de acordo com as especificações dos fabricantes.

O conhecimento é dinâmico e a cada dia, nós acadêmicos, somos levados a está a par do que sucede no momento presente quanto a conceitos e tecnologias de modo a mantermos atualizados os cursos ministrados e os textos elaborados como referência no ensino.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo tem por objetivo apresentar as conclusões finais, a luz deste texto.

“Os livros me levaram a gostar das ciências mas a palavra de Deus me ensinou a amá-lo sobre todas as coisas, com todo o meu coração, com toda a minh’alma e com toda a minha força. Quero a cada dia ser mais digno de recebe-lo na Santa Eucaristia e levar suas palavras aos meus irmãos.”

O autor reuniu, neste texto, parte de sua obra recente que versam sobre os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de Posicionamento Global por satélites artificiais (GNSS) e também sobre conceitos básicos de Geomática e suas áreas de conhecimento.

Com o intuito de tornar este texto didático, dividiu-se o mesmo em dez capítulos, incluindo este em questão, e os assuntos foram divididos caracterizando uma interdependência entre eles, de modo a mostrar o sinergismo existente entre as tecnologias SIG e GNSS. Sem sombra de dúvidas, a integração destas tecnologias contribui de forma fantástica na execução de diferentes tipos de aplicações. Para tanto, os usuários devem ser qualificados e bem treinados para que aproveitem ao máximo o que estas tecnologias oferecem quanto em precisão e acurácia e no grau de conclusões que podem ser obtidas nas análises das informações.

É importante ressaltar que após o advento da tecnologia de posicionamento de pontos através de uso de satélites artificiais, houve uma grande revolução nas geotecnologias. A precisão do posicionamento deixou de ser um problema que tanto afligia os profissionais da Mensuração. O surgimento das estações total, os avanços na captação de imagens, seja por fotografias aéreas seja por satélites, são alguns exemplos de evolução tecnológica da Mensuração no sentido de resolver problemas de locação e definição de pontos. Apesar de todos estes avanços, a obtenção de dados era uma tarefa onerosa devido ao período tomado na captação da posição de pontos. Além disso, existia sempre a preocupação com precisão das coordenadas obtidas. A tecnologia GNSS veio acelerar o processo de aquisição e também garantir repetibilidade, precisão e redução dos custos de obtenção de dados, tarefa esta responsável por grande parte dos custos de um projeto de implantação de um SIG.

Apesar de sua pouca idade, a tecnologia de posicionamento por satélites já mostrou que veio para ficar. A importância desta tecnologia já foi comprovada por centenas ou até milhares de vezes por artigos publicados em diferentes meios de comunicação. A sua potencialidade de aplicação fica restrita a imaginação do usuário. Com o crescimento do número de fabricantes, o mercado recebeu um grande número de modelos de equipamentos a preços bem variados, mas não podemos negar que houve uma redução do custo de aquisição dos mesmos. Devido a este fato, as empresas que trabalham com Mensuração passaram a adquirir estes instrumentos e aplica-los em seus trabalhos de levantamentos de campo. A consequência imediata disso é a obtenção de trabalhos com alto índice de precisão e acurácia.

Não podemos negar a eficácia dos SIGs nas tomadas de decisões e quanto são úteis aos planejadores e administradores de bens públicos. Num país como o nosso, de recursos escassos, nós acadêmicos temos o dever, através do ensino e da pesquisa, de sensibilizar nossos governantes federais, estaduais e municipais a buscarem auxílio nesta tecnologia para melhor administrar e tomar decisões tecnicamente corretas e justas. A utilização efetiva dos recursos dos SIGs nas atividades administrativas e planejamento não deve ser encarada somente como de ordem prática mas no anseio de melhorar as tarefas impostas.

Quanto ao uso do GNSS nos SIGs podemos afirmar que é um grande avanço na melhoria do georreferenciamento das imagens e na precisa definição de pontos. Este “casamento” veio para ficar. Não podemos em nossos dias imaginar que trabalhos de SIG não tenham um georreferenciamento preciso. A crítica inicial quanto a precisão do GNSS já é coisa do passado assim como negar a aquisição de receptores GNSS, imagens de satélites precisas, imagens fotogramétricas digitais, sistemas computacionais, etc. alegando os altos seus custos de aquisição.

Estes custos vêm sendo reduzidos a cada dia com os avanços da eletrônica e a informática. As indústrias de equipamentos vêm no dia a dia oferecendo novos modelos mais eficientes a custos cada vez mais acessíveis. Não podemos continuar vendo as ciências caminharem em paralelo sem produzir frutos em conjunto. Neste sentido, os geodestas, cartógrafos, geógrafos, engenheiros civis, administradores e profissionais de áreas afins têm que unirem esforços para trabalharem em conjunto usando uma nomenclatura única e a usarem os mesmos critérios na definição dos entes e atributos.

Do exposto, o autor tem por objetivo se dedicar ao ensino e a pesquisa utilizando os recursos tecnológicos provenientes dos Sistemas de Informação Geográfica e os de Posicionamento Global por satélites. De forma prioritária, pretendemos elaborar textos didáticos atualizados referentes a Geomática e suas áreas de conhecimento que são escassos na nossa literatura.; produzir recursos didáticos visuais para serem utilizados nas disciplinas de graduação de pós-graduação oferecidas pelo Departamento de Transportes da EESC/USP para os cursos de Engenharia Civil e Arquitetura; propor cursos à distância utilizando recursos da Internet, em princípio para alunos de outras unidades da USP. Quanto a pesquisa, os resultados obtidos até o momento nos encorajam a continuar não medindo esforços na produção de pesquisas básicas de Cartografia, Topografia Clássica e nas aplicações do SIG e do GPS. A formação básica destas áreas de conhecimento é essencial no sentido de formarmos uma base conceitual forte para que possamos partir para pesquisas mais apuradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, Diógenes S. (1990). "Geoprocessamento". *Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Maio, págs. 66-77.
- Anderson, Don (1996). "Snow stats: GIS and snow monitoring at the National weather service". *GIS World*. May, pags. 40-43.
- Aquino, Márcio. (1996). "Avanços em WADGPS e WAAS". *Recista FATOR GIS*. Jun/Jul. págs. 49-50.
- Aronoff, Stanley (1993). "Geographic Information Systems: A management perspective". *WDL Publications*. ISBN 0-921804-91-1.
- Aronoff, Stanley. (1989). "Geographic Information Systems". *WDL Publications, Canada*
- Ashkenazi, V.; Moore, T.; Dumville, Mark, Chen, W. (1998b). "GNSS and WGS84: Implication for Marine Navigation around the UK". *11th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation – ION GPS'98*. September 15-18, Nashville, Tennessee. Pages 1307-1312.
- Ashkenazi, Vidal; Moore, Terry (1993). "GPS coordinates as a GIS attribute". *Proceedings of ION GPS'93*. 6th. *International Technical Meeting of Satellite Division of Institute of Navigation*. Salt Lake City, Utah. Sept. 22-24. Pags.85-88.
- Ashkenzi, V.; Hein, G.; Levy, D.; Campagne, P. (1998a). "GNSS Sage: SATNAV Advisory Group of Experts". *11th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation – ION GPS'98*. September 15-18, Nashville, Tennessee. Pages 1097-1101.
- Assumpção, Aline. (2001). "Recado aos prefeitos: como arrecadar mais com a geoinformação". *Revista InfoGeo*. Ano 3, Nº 17. Págs. 40-45. Jan/Fev.
- Batty, M. (1999). "New technology and GIS". *Geographical Information Systems. Principles and technical issues*. John Wiley & Sons, Inc. Vol. I, pag. 309-316.
- Bazlov Y., Galazin V., Kaplan B., MaksimovV., Rogozin V. (1999). "GLONASS to GPS. A new coordinate transformation". *GPS World*. January, 54-58.
- Behr, Jeffrey A.; Hudnut, Kenneth W.; King, Nancy E. (1998). "Monitoring structural deformation at Pacoima Dam, California using GPS". *Proceedings of ION GPS'98*. *11th International Technical Meeting of Satellite Division of Institute of Navigation* Nashville, Tennessee. Sep 15-18
- Beutler G.; Bauersima I.; Gurtner W.; Rothcher M.; Schildknecht T.(1988). "Static positioning with the Global Positioning System (GPS): stae of the art. In : Groten E, Strauß R (eds): *GPS-techniques applied to geodesy and surveying*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 363-380 [Bhattacharji S, Fiedman GM, Neugebauer HJ, Seilacher A (eds): *Lecture Notes in Earth Sciences*, vol 19]
- BÍBLIA SAGRADA JERUZALÉM. Editora TEB.
- Bomford, G. (1980). "Geodesy". 4th. Edition. Oxford, Clarendon Press.
- Buehler, Kurt (1994). "OGIS augments data transfer". *GIS World*. October, pags. 60-63.
- Bueno, Régis (2000). "O papel das geotecnologias no desenvolvimento da agricultura". *Revista InfoGeo*. Ano 2, Nº 11, Jan/Fev. Págs. 27-29.
- Bueno, Régis Fernandes (2001). "O cadastro e o desenvolvimento sustentável". *Revista InfoGeo*. Ano 3 , Nº 18. Págs. 16-18. Mar/Abr.
- Burrough, P. A. (1986). "Principles of geographical information systems for land resources assessment. *Monographs on soil and resources surveys Nº 12*" Oxford University Press. ISBN 0-19-854563-0. New York.
- Calijuri, Mª Lúcia; Röhm, Sergio Antonio (1995). "Sistemas de Informações Geográficas". *Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa*. Publicação Nº 344.
- Calijuri, Mª Lúcia; Röhm, Sergio Antonio (1995). "Sistemas de Informações Geográficas II". *Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa*. Publicação Nº 355.
- Câmara, Gilberto; Casanova, Marco ^a; Hemerly, Andrea S.; Magalhães, G.C.; Medeiros, C.M.B. (1996). "Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica". *Publicação do Instituto de Computação da UNICAMP*.
- Çelebi, Mehmet; Stein, Will P. R.; Hudnut, Ken; Wilson, S. (1998). "Monitoring structures using GPS". *Proceedings of ION GPS-98*. Nashville, Tennessee. Sep 15-18.
- Chaves, Eliana Edérle Dias (1998). "Análise da qualidade de dados georreferenciados utilizando a tecnologia GPS". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 178 pags.
- Chaves, João Carlos (2001). "Uso da tecnologia GPS na monitoração de deformação: sistemas, etapas e experimentos". *Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 155 pags.
- Chou, Y. Hong; Rudd, Edwin; Pennington, J. (1998). "Emergency 911: integrated GPS/GIS to the rescue". *GIS World*. August, pags. 48-52.

- Chrisman, Nicholas (1997). "Exploring Geographic Information System". *John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-10842-1*.
- Coetsee, Josef; Brown, Alice; Bossler, John. (1994). "GIS data collection using the GPSVan supported by a GPS/Inertial mapping system". *Proceedings of ION GPS'94. 7th. International Technical Meeting of Satellite Division of Institute of Navigation*. Salt Lake City, Utha. September, 20-23. Pags.85-93.
- Corcoran, Wendy (1995). "Asses GPS receiver requirements before byuing". *GIS World*. December, pags. 74-75.
- Corcoran, Wendy (1996). "Evaluate GPS/GIS for field use". *GIS World*. April, pags. 60-61.
- Corcoran, Wendy (1996). "Get the most out of your GPS/GIS processing software". *GIS World*. August, pags. 58-60.
- Couclelis, H. (1999). "Space, time, geography". *Geographical Information Systems. Principles and technical issues*. John Wiley & Sons, Inc. Vol. I, pag. 29-38.
- Dale, P. F. (1990). "Land Information Systems". In *D.J. Maguire, M.F. Godchild and D.W. Rhind (ed). Geographical Information Systems, Vol 2, Harlow: Logman, pp. 85-99*.
- Dargemond, J. (1990). "A classification of software components commonly used in geographic information systems". In: *Peuquet, D.J.; Marble, D.F., ed Introductory readings in geographic information systems. London, Taylor & Francis, pag. 30-51*.
- Davis, Clodoveu (1998). "Vetores em SIG". *FATOR GIS 21*. Pags. 22-23, Nov/Dez/Jan.
- Davis, Clodoveu (1999). "O futuro do GIS urbano". *Revista InfoGeo*. Ano 2, Nº 8, Jul/Ago. Págs.32-35.
- Dobson, Jerome E. (1994). "GPS advances geography's field tradition". *GIS World*. January, pags. 60-61.
- Dueker, K.J; Kjerne, D (1989). "Multipurpose cadastre: Terms and definitions". Falls Church, VA: ASPRS and ACSM.
- Dutra, Nadja Gilheuca da Silva. (1998). "Planejando uma rede escolar municipal para reduzir custos de deslocamento". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 94 páginas*.
- Egenhoger, M.J.; Frank, A.U. (1990). "Prospective views of GIS technologies and applications". In: *Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Maio, págs. 95-102*.
- ESRI (1997). "Getting to know ArcView GIS, the geographic information system for everyone. *Second Edition. ISBN 1862242019X*.
- Filho, Renato E. Abrahão (2000). "IKONOS: Turbulência no aerolevantamento". *Revista InfoGeo*. Ano 3, Nº 14. Jul/Ago. Págs.36-39.
- Freitas, Mônica Kofler (1997). '*Estudo de casos de implantação de sistema de informações geográficas em prefeituras municipais no estado de São Paulo*'. *Dissertação de Mestrado. Área de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos*. 202 pags.
- Gibbons, G. (1999). "GPS: Putting the precision into farming".
- Goodchild, Michael F. (1993). "An overview of GIS/GPS integration". *Proceedings of ION GPS'93. 6th. International Technical Meeting of Satellite Division of Institute of Navigation*. Salt Lake City, Utah. Sept. 22-24. Pags.79-83.
- Gurtner, W. (1994). "RINEX: the receiver-independent exchange format". *GPS World*, 5(7): 48-52.
- Heflin, M., et al. (1992). Global Geodesy Using GPS Without Fiducial Sites. *Geophysical Research. Letters*, 19(2), 131-134.
- Henstridge, Fred (1998). "New direction in GIS". *Professional SURVEYOR*. Vol.18, Number 7. October.
- Hofmann-Wellenhof, B; Lichtenegger, H.; Collins, J. (1997). "GPS: Theory and Practice". *Fourth, revised edition. SpringerWienNewYork*.
<http://www.precisionfarming.com/features/0497Gibbons.html>
- Hutchinson, Scott & Daniel, Larry. (1997). "Inside ArcView GIS". *ONWORD Press. ISBN 1-56690-166-2*. 2nd Edition. Santa Fe, NM.
- ICD-GLONASS (1998). "Interface Control Document – GLONASS". *Coordination Scientific Information Center. Moscow*.
- Institute of Navigation. ION Newsletter. Volume 8, Number 4. Winter 1998-99.
- Jones, B. Christopher. (1997). "Geographical information systems and computer cartography". *Addison Wesley Longman Limited. ISBN 0 582-04439 1*.
- Jorgensen, P. S. (1989). "Na assessment of ionospheric effects on the GPS users". *Navigation*, 36(2): 195-204.
- Kaplan, Elliot D. (1996). "Understanding GPS: Principles and applications". *Artech House. Elliot D. Kaplan Editor. ISBN 0-89006-793-7*.
- Kato, T.; Murata I.; Tsuchiya ^a (1987). "Effects of ionosphere on interferometric GPS observations". *Earthquake Research Institute, University of Tokyo*.
- Kee, Changdon. (1996). "Global Positioning System: theory and applications – Wide Area Differential GPS". *Volume 164 PROGRESS IN ASTRONAUTICS AND AERONAUTICS. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. ISBN 1-56347-107-8*. Volume II, pag 81-115.
- Kennedy, Michael (1996). "The Global Positioning system and GIS, an introduction". *Ann Arbor Press, INC. ISBN 1-57504-017-4*. Chelsea, MI.
- Klobuchar, J. (1986). "Design and characteristics of the GPS ionospheric time-delay algorithm for single-frequency users". *Proceedings of the IEEE Position Location and Navigation Symposium*, Las Vegas. November, 4-7.
- Korte, George B. (1997). "The GIS book: understanding the value and implementation of geographic information systems". *OnWord Press. 4th. Edition. ISBN 1-56690-127-8*.

- Kouba, J., Y. Mireault, G. Beutler, T. Springer, and G. Gendt. (1998). A Discussion of IGS Solutions and Their Impact on Geodetic and Geophysical Applications. *GPS Solutions*, 2(2), 3-15.
- Lachapelle, G.; Cannon, M.E.; Gehue, H.; Goddard, T.W.; Penney, D.C. (1994). "GPS system integration and field approaches in precision farming". *Navigation: Journal of the Institute of Navigation*. Vol. 41, No. 3, Fall, pages. 323-335.
- Lachapelle, G; Cannon, M.E.; Penney, D.C. (1996). "GIS/GPS facilitates precision farming". *GIS World*. July, pages. 54-56.
- Lange, A.F.; Gilbert, C. (1999). "Using GPS for GIS data capture". *Geographical Information Systems. Principles and technical issues*. John Wiley & Sons, Inc. Vol. I, pag. 467-476.
- Lange, Art (1997). "Make the most of differential GPS/GIS data capture". *GIS World*. February, pages. 64-65.
- Larocca, Ana Paula Camargo (2000). "Análise de estratégias para processamento de redes geodésicas com o sistema de posicionamento global – GPS". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 206 pages.
- Leick, Alfred (1995). "GPS satellite surveying". *John Wiley, New York. Second Edition*.
- Li, Rongxing; Schwarz, K.P.; Chapman, M.A.; Gravel, M. (1994). "Integrate GPS and related technologies for rapid data acquisition". *GIS World*. April, pages. 41-43.
- Logsdon, Tom (1995). "Understanding the Navstar: GPS, GIS, and IVHS". *VAN NOSTRAND REINHOLD. ISBN 0-442-02054-6(hc)*. 2nd. Edition. New York.
- Maia, Tule Cesar Barcelos (1999). "Estudo e análise de poligonais segundo a NBR 13133 e o sistema de posicionamento global". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 202 pages.
- Maling, D.H. (1991). "Coordinate systems and map projections for GIS". *Geographical Information systems. Vol. 1. Harlow: Logman pp. 135-146*.
- Marques, Artur Pantoja (1997). "Análise de parâmetros geométricos de curvas verticais de vias, à luz do sistema de posicionamento global – GPS". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 150 pages.
- Marx, R.W. (ed) (1990). "The Census Bureau's TIGER System". *Cartography and Geographic Information Systems, 17(1), special issue*.
- Masters, Ewan; Hirsch, Bernd; Wong, Ken (1994). "GPS/GIS and space time data". *Proceedings of ION GPS'94. 7th. International Technical Meeting of Satellite Division of Institute of Navigation*. Salt Lake City, Utah. September, 20-23. Pages.61-69.
- Mauro Mensori (2001). "Comparação entre coordenadas geográficas-geodésicas transportadas pelo método clássico e por GPS". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 145 pages.
- McKee, Lance (1996). "What is 'openness'". *GIS World*. August, pages. 60-61.
- McKee, Lance (1998). "OpenGIS specification Conformance – What Does It Mean?". *Geo Info Systems*. November, pag. 36-40.
- Misra, P.; Abbot, R.; Bayliss, E. (1994). "SGS85 – WGS84 Transformation". <http://satnav.atc.ll.mit.edu/papers>.
- Monahan, Kevin; Douglass, Don (1998). "GPS Instant Navigation: a practical guide from basics to advanced techniques". *Fine Edge Productions. ISBN 0-938665-48-0*.
- Monico, João Francisco Galera (2000). "Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações". *Editora UNESP. ISBN 85-7139-328-1*. 287 págs.
- Mueller, Tysen. (1994). "Wide Area Differential GPS". *GPS WORLD*. pag. 36-44. June.
- Musman, Steven; Mader, Gerry; Dutton, C. E. (1998). "Total electron content changes in the ionosphere during the January 10, 1997 disturbance". *Geophysical Research Letters*. Vol. 25, No. 15, pages 3055-3058, August 1.
- Neilan, R. E., J. F. Zumberge, G. Beutler, and J. Kouba. (1997). The International GPS Service: A Global Resource for GPS Applications and Research. *Proc. ION GPS-97*, Kansas City, Missouri, September.
- NRC - National Research Council (1995). "The Global Positioning System. A Shared National Asset: Recommendations for Technical Improvements and Enhancements". *National Academy Press ISBN 0-309-05283-1*.
- Olsen, Norman T. (1993). "Can the GIS community deal with a geoid's mathematical complexity?". *GIS World*. August, pages. 26-29.
- Paredes, Evaristo Atencio (1999). "Sistema de Informação Geográfica. Geoprocessamento. Princípios e aplicações". *Editora Érika Ltda. ISBN 85-7194-231-5*.
- Parkinson, Bradford W.; Spilker, James Jr. (1996). "Global Positioning System: Theory and Applications. *Progress in Astronautics and Aeronautics. Volume 163. Paul Zarchan, Editor-in-Chief*.
- Peixoto, Regina Stella Savelli de Lorena (1997). "Utilização de Sistemas de Informações Geográficas para gerenciamento de cidade de pequeno porte". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*.
- Pessoa, Luciano Montenegro da Cunha. (1996). "WADGPS: maior precisão a longas distâncias". *Revista FATOR GIS*. Nº 13. pages. 47-48. Abr/Mai.

- Petersen, Carolyn. (1991). "Precision GPS navigation for improving agricultural productivity". *GPS World*. January, pags. 38-44.
- Peterson, Darrel E. (1996). "Grizzly Country: GPS/GIS help monitor the great bear's fragile ecosystem". *GIS World*. April, pags. 52-55.
- Peuquet, D.J. (1999). "Time in GIS and geographical databases". *Geographical Information Systems. Principles and technical issues*. John Wiley & Sons, Inc. Vol. I, pag. 91-103.
- Rocha, Cesar Peixoto da (2000). "Obtenção e análise de azimutes por astronomia clássica e pelo sistema de posicionamento global". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 187 pags.
- Rodrigues, Marcos (1990). "Geoprocessamento". Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Maio, págs. 1-26.
- Rodrigues, Marcos (1995). "SIGs e suas circunstâncias no Brasil". In: *Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*. Anais, EPUSP. São Paulo, págs. 11-23.
- Rosbach, Udo; Habrich, Heinz, Zarraoa, Nestor. (1998). "Transformation parameters between PZ-90 and WGS84". *Proceedings of ION GPS'98. 11th International Technical Meeting of Satellite Division of Institute of Navigation* Nashville, Tennessee. Pags. 279-285. Sep 15-18.
- Roza, Deise (2000). "A importância do Geo no setor de telecomunicações". *Revista InfoGEO*. Ano 2 Nº12, Mar/Abr. Págs.42-44.
- Samborski, Robert M. (1992). "GIS, AM/FM converge as technologies mature". *GIS World*. April. Pags. 46-48.
- Santos, Marcelo Carvalho dos. (2000). "A ionosfera e as redes de referência ativas GPS". *Revista InfoGEO*. Ano 2, Nº 12, Mar/Abr. Págs. 32-34.
- Seeber, Günter (1993). "Satellite geodesy: foundations, methods, and applications". *Walter deGruyter Berlin New York ISBN 3-11-012753-9*.
- Seeger, H. (1999). "Spatial referencing and coordinate systems". *Geographical Information Systems. Principles and technical issues*. John Wiley & Sons, Inc. Vol. I, pag. 427-436.
- Segantine, Paulo Cesar Lima (1995). "Estabelecimento e ajuste de uma rede geodésica no estado de São Paulo, com o sistema de posicionamento NAVSTAR/GPS". *Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*. 222 pags.
- Segantine, Paulo Cesar Lima (1998). "GPS: Sistema de Posicionamento Global". *Apostila. Editada pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP*. 238 pags.
- Silva, Antonio Nelson Rodrigues da. (1998). "Sistemas de Informações Geográficas para o planejamento de transportes". *Tese de Livre-docência. Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 112 pags.
- Silva, Carlos Augusto Uchôa da (2000). "Análise de precisão dos posicionamentos relativo e por pontos simples para bases curtas, com o sistema NAVSTAR/GPA: estudo de caso em Belém-PA". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 190 pags.
- Silva, Irineu da (1998). "A fotogrametria é definitivamente digital". *Revista InfoGEO*. Ano 1, Nº4. Págs. 48-51.
- Silva, Irineu; Erwes, Herbert; Segantine, Paulo César Lima (2001). "Introdução à Geomática". *Notas de Aulas*. 104 pags.
- Souza, José Maria (2000). "Uso do sistema de informações geográficas na análise e otimização do atendimento a locais de potencial risco de incêndios, para a cidade de São Carlos-SP". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 144 pags.
- Stevens, S.S. (1946). "On the theory of scales of measurements". *Science* 103:677-680.
- Strand, Eric J. (1997). "Will GIS face a year 2000 problem?". *GIS World*. July, pag. 28.
- Strand, Eric J. (1998). "Year 2000 problems resurface in GIS applications". *GIS World*. February, pag. 36-37.
- Teixeira, Amândio L. de Almeida; Matias, Lindon; Noal, Rosa, Moretti, Edmar. (1995). "Qual a melhor definição de SIG". *Revista FATOR GIS*. Out/Nov, págs. 20-24.
- Teixeira, Amândio L. de Almeida; Moretti, Edmar; Christofolletti, Antonio (1992). "Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica". *Edição do autor*.
- Teunissen, P.J.G.; Kleusberg, A. (1998). "GPS for geodesy". *Springer. ISBN 3-540-60785-4. Second Edition. NY*.
- Torge, Wolfgang (1991). "Geodesy". 2^o Edition. *Walter de Gruyter Berlin New York. ISBN 3-11-012408-4*.
- Vanicek, D. & Krakinwsky, E. D. (1986). "Geodesy: the concepts". *Amsterdam, New Holland*.
- Veronez, Mauricio Roberto (1998). "Proposta de parâmetros de transformação entre os sistemas WGS84 e o SAD69 para a região de São Carlos-SP". *Dissertação de Mestrado. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*. 147 pags.
- Zolnai, Andrew; Marchand, Michael. (1992). "Beyond GIS/GPS: trends in spatial data handling". *GIS World*. November. Pags. 52-54.
- Zumberg, J.F. (1990). "Automated GPS data analysis service". *GPS solutions*, Vol. 2, No. 3, pp. 76-78.
- Zumberge, J. F. (1998). Automated GPS Data Analysis Service. *GPS Solutions*, 2(3), Winter, John Wiley.
- Zumberge, J. F., M. B. Hefflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, and F. H. Webb. (1997a). Precise Point Processing for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks. *Journal of the Geophysical Research*, 102(B3), 5005-5017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Zumberge, J.F., M. M. Watkins, and F. H. Webb. (1997b). Characteristics and Application of Precise GPS Clock Solutions Every 30 Seconds. *Navigation: Journal of the Institute. of Navigation*, 44(4), Winter 1997-1998.

ANEXO

ANEXO “A”

*“Provai e vede como o Senhor é bom.
Feliz o homem que se refugia junto
Dele”
(Salmo 33,9)*