

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGE**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CADASTRO TÉCNICO E ORDENAMENTO TERRITORIAL**

**IMPLICAÇÕES DA ADOÇÃO DO REFERENCIAL  
GEODÉSICO SIRGAS 2000 NA CARTOGRAFIA  
EM ESCALA GRANDE**

**VIVIAN DE OLIVEIRA FERNANDES**

**FLORIANÓPOLIS, 2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CADASTRO TÉCNICO E ORDENAMENTO TERRITORIAL**

**IMPLICAÇÕES DA ADOÇÃO DO REFERENCIAL  
GEODÉSICO SIRGAS 2000 NA CARTOGRAFIA  
EM ESCALA GRANDE**

**VIVIAN DE OLIVEIRA FERNANDES**

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, para a obtenção do título de DOUTOR em Engenharia Civil. Área de Concentração: Cadastro Técnico e Gestão Territorial.

Orientadores:

Prof. Dra. Ruth Emilia Nogueira

Prof. Dr.-Ing. E.h. Günter Schmitt

**FLORIANÓPOLIS, 2009**

Fernandes, Vivian de O.

Implicações da Adoção do Referencial Geodésico SIRGAS 2000 na Cartografia em Escala Grande. 117 páginas. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis – SC, Brasil – 2009.

Área de Concentração: Cadastro Técnico e Gestão Territorial.

Orientador: Prof. Dra. Ruth Emilia Nogueira (UFSC)

Co-orientador: Prof. Dr. –Ing. E. h. Günter Schmitt (Universität Karlsruhe)

Capítulos: I – Introdução; II – Referencial Teórico e Metodológico; III – Material e Método; IV – Desenvolvimento e Resultados; V — Considerações Finais; Referências

# **IMPLICAÇÕES DA ADOÇÃO DO REFERENCIAL GEODÉSICO SIRGAS 2000 NA CARTOGRAFIA EM ESCALA GRANDE**

VIVIAN DE OLIVEIRA FERNANDES

Tese julgada como adequada para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil (Dr. Eng) e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Sessão pública de 14 de agosto de 2009.

Prof. Dr. –Ing. Janaide Cavalcante Rocha – Coordenador do PPGEC

Prof. Dra. Ruth Emilia Nogueira – Orientadora UFSC

Prof. Dr.-Ing. E.h. Günter Schmitt – Co-orientador DAAD – Universität Karlsruhe

## **Comissão Examinadora:**

Prof. Dra. Ruth Emilia Nogueira – Moderadora – UFSC

Prof. Dr. Paulo Marcio Leal de Menezes – UFRJ

Prof. Dr. Carlos Antonio Oliveira Vieira – UFV

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira – UDESC

Prof. Dr. –Ing. Jürgen Wilhelm Philips - UFSC

Prof. Dr. Jucilei Cordini – UFSC

## EPÍGRAFE

Ninguém quer saber o que fomos, o que possuíamos, que cargo ocupávamos no mundo; o que conta é a luz que cada um já tenha conseguido fazer brilhar em si mesmo.

*Chico Xavier*

## DEDICATÓRIA

Ao meu eterno amigo Bob (*in memoriam*)

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho deve muito a algumas pessoas e instituições, por diferentes razões, e eu gostaria de agradecer especialmente:

Agradeço aos meus protetores que sempre estão ao meu lado;

Agradeço o amor inabalável de meu marido Mauro Alixandrini Jr., que mesmo distante numa parte considerável nestes anos, continua me ensinando a cada dia o que é amar, ceder, ser tolerante e manter a paz comigo e com todos com quem convivo;

Aos meus maiores tesouros, meus pais Miriam e João;

À minha segunda mãe, minha vizinha Verônica;

Aos meus irmãos Junior e Viviane, por toda a confiança e respeito por sua irmã mais velha;

À minha orientadora Prof. Dra. Ruth Emilia Nogueira, que além de amiga, me guiou na realização deste trabalho e sempre acreditou em meu potencial;

Ao Prof. Dr. –Ing. E. h. Günter Schmitt e ao Dr. Norbert Rösch, pela relação de respeito e apoio e atenção durante o Doutorado Sanduíche em Karlsruhe na Alemanha;

Ao Prof. Dr. Paulo Marcio Leal de Menezes, o qual aceitou o convite para avaliação do Projeto de Tese e pela participação na banca de defesa da Tese, além da amizade e pelos conselhos prestados;

Ao Prof. Dr. Carlos Antonio Oliveira Vieira, que aceitou participar como membro externo desta banca, por todo apoio e colaboração prestada;

Ao Prof. Dr. –Ing. Jürgen W. Philips, Prof. Dr. Jucilei Cordini, Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira por participarem como membros avaliadores desde o Exame de Qualificação e por todos os conselhos e sugestões;

À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, pela oportunidade de realização do Doutorado nesta instituição;

Ao Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe - GIK, pela oportunidade de utilização de suas instalações para desenvolvimento de grande parte desta presente tese;

Ao Prof. Dr. -Ing Hans-Peter Bähr, pelo apoio na minha estada em Karlsruhe;

Ao Deutscher Akademischer Austausch Dienst - Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de estudo de Doutorado, na Alemanha e no Brasil;

Às instituições que cederam materiais para realização desta pesquisa;

Aos inúmeros amigos que contribuíram nas mais diversas fases para realização desta tese, que se eu fosse agradecer um a um com certeza escreveria um livro;

À Universidade Federal da Bahia por me receber de braços abertos e por poder dar continuidade ao que almejei para minha vida profissional.

## RESUMO

Desde 2005 o Brasil vem atravessando um momento singular na Cartografia. Em janeiro de 2005, o SIRGAS2000 passou a ser o referencial geodésico oficial para Geodésia e Cartografia, com o uso concomitante do SAD69. A partir de janeiro de 2015, somente o SIRGAS2000 será oficial, e todos os produtos cartográficos serão obrigados a estarem referenciados a este Datum. A adoção de um referencial geocêntrico se dá a partir da evolução tecnológica que propiciou melhoria dos Sistemas Geodésicos de Referência - SGR. Diferentemente, de uma simples alternativa para o aperfeiçoamento do SGR, a adoção de um novo referencial geocêntrico é uma necessidade fundamental no cenário mundial para atividades que dependem da informação espacializada. Os avanços tecnológicos nos métodos de posicionamento global, sobretudo nos sistemas de posicionamento por satélite. Esta mudança atinge mais rapidamente os órgãos que necessitam informações espacializadas nas suas atividades de planejamento e infra-estrutura, como prefeituras municipais e concessionárias de serviços como Telecomunicações, Saneamento, Energia Elétrica entre outras, as quais necessitam o conhecimento real do espaço urbano: uso e ocupação do solo, subsolo e espaço aéreo, cadastro técnico imobiliário e fiscal, planta de valores genéricos, planta de quadra, planta de referência cadastral, plano diretor municipal entre outras que são derivadas de uma base cartográfica de qualidade. Oficialmente, foram adotados os seguintes referenciais geodésicos no Brasil: Córrego Alegre, Astro Datum Chuá, SAD69, e atualmente SIRGAS2000. Por legislação encontra-se em transição para o SIRGAS2000. A adoção de um novo referencial implica na necessidade de conversão dos dados e mapas já gerados para o novo sistema. Até o presente momento não existe um modelo de transformação que simultaneamente seja aplicável à cartografia em escala grande e que seja homogêneo para todo o país. Os parâmetros oficiais divulgados pelo IBGE são aplicáveis somente para a Cartografia Sistemática – com escala menor que 1:25 000, a qual é de responsabilidade do IBGE e DSG. Esta tese indica um modelo matemático para o cálculo de parâmetros de transformação. Assim como um estudo comparativo da adoção de parâmetros globais e locais para Cartografia em escala grande, indicando as implicações na representação cartográfica. Nesse sentido, procura-se com este trabalho, averiguar as implicações advindas da adoção de um novo referencial no país.

**Palavras-chave:** Sistemas Geodésicos de Referência, Cartografia em Escala Grande, SAD69, SIRGAS2000, Modelos de transformação, Mudança de Referencial Geodésico.

## ABSTRACT

Since 2005 Brazil is going through a singular moment into Cartography. In January 2005, SIRGAS2000 began to be the geodetic official reference system for Geodesy and Cartography, with the concomitant use of SAD69. Since January 2015, only SIRGAS2000 will be official, and all cartographical products will have to be referenced into this Datum. The adoption of a geocentric reference system happens from the technological evolution that has favored an improvement of the Geodetic Reference System – SGR. Differently of a single alternative for the improvement of the SGR, the adoption of a new geocentric reference system is a basic necessity into the world-wide scenery to activities that depend on spatialized information. The technological advancements in the global positioning methods, specially in the satellite positioning systems. This change reaches more quickly the organs that need spatialized information in their infrastructure and planning activities, like town halls and services concessionaires like Telecommunications, Sanitation, Electric Energy among others, which need the real knowledge of the urban space: use and occupation of the soil, subsoil and air space, fiscal and housing technical register, generic plant of values, block plant, register reference plant, municipal master plan, among others that are derived from a cartographical basis of quality. Officially, were adopted these geodetic reference systems in Brazil: Córrego Alegre, Astro Datum Chuá, SAD69, and now SIRGAS2000. For legislation it is in transition for the SIRGAS2000. The adoption of a new reference system implies in the necessity of conversion of the data and maps already produced for the new system. Up to the present moment there is not a model of transformation that simultaneously is applicable to the cartography in large scale and that is homogeneous for the whole country. The official parameters divulged by IBGE are applicable only for the Systematic Cartography – with scale less than 1:25000, which is of responsibility of IBGE and DSG. This thesis proposes a mathematical model for the calculation of transformation parameters. As well as a comparative study of the adoption of global and local parameters for Cartography in large scale, indicating the implications into the cartographical representation. This way, this work tries to check the implications resulted from the adoption of a new reference system in the country.

**Key-words:** Geodetic Reference System, Large Scale Cartography, SAD69, SIRGAS2000, Transformation models, Geodesic Referential Change.

## SUMÁRIO

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE QUADROS**

**LISTA DE TABELAS**

**LISTA DE SIGLAS**

<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</b> .....	01
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	01
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	02
1.3 OBJETIVOS .....	03
1.3.1 Geral .....	03
1.3.2 Específicos .....	03
1.4 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO .....	04
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	05
<b>CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO</b> .....	07
2.1 CARTOGRAFIA CADASTRAL .....	07
2.1.1 Produção Cartográfica Cadastral .....	09
2.1.2 Escalas da Cartografia Cadastral .....	11
2.1.3 Projeções Cartográficas utilizadas na Escala Grande .....	15
2.1.4 Representação Cartográfica em Escala Grande .....	17
2.1.5 Avaliação da Qualidade Cartográfica .....	20
2.1.5.1 Pontos de referência do terreno e na carta .....	20
2.1.5.2 Análise Estatística .....	21
2.1.5.3 Análise de Tendências .....	21
2.1.5.4 Análise de Precisão .....	22
2.2 CADASTRO TÉCNICO NO BRASIL .....	22
2.3 SISTEMAS DE COORDENADAS GEODÉSICAS .....	24
2.3.1 Coordenadas Geográficas e Geodésicas .....	24
2.3.2 Coordenadas Cartesianas .....	25
2.4 SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA – SGR .....	26
2.4.1 SGR – Aspectos Geométricos .....	26
2.4.2 Sistemas de Referências Clássicos .....	27
2.4.3 Sistemas de Referência Modernos .....	29
2.5 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO .....	31
2.5.1 <i>South American Datum of 1969</i> – SAD69 .....	32
2.5.1.1 Densificação do SAD69 .....	33

2.5.1.2 SAD69 – Realização 1996.....	34
2.5.2 Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS.....	35
2.6 DATA GEODÉSICOS GLOBAIS .....	37
2.6.1 Projetos Mundiais de Adoção de Data Geodésicos Globais.....	38
2.6.1.1 América .....	38
2.6.1.2 Europa.....	39
2.6.1.3 África .....	40
2.6.1.4 Ásia .....	40
2.6.1.5 Oceania .....	41
2.7 TRANSFORMAÇÃO ENTRE SISTEMAS GEODÉSICOS .....	42
2.7.1 Classificação dos métodos de transformação de coordenadas .....	43
2.7.2 Modelos para transformação de coordenadas.....	43
2.8 PROBLEMÁTICA DA DISTORÇÃO .....	50
<b>CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODO</b> .....	54
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	54
3.2 ÁREAS DE ESTUDO .....	54
3.2.1 Mapeamentos Utilizados .....	56
3.3 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	60
3.4 MÉTODO .....	61
<b>CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO E RESULTADOS</b> .....	63
4.1 DETERMINAÇÃO DO APOIO DE CAMPO.....	63
4.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DOS MAPEAMENTOS .....	68
4.3 ESTUDO COMPARATIVO DE PARÂMETROS LOCAIS E DOS PARÂMETROS GLOBAIS PROPOSTOS PELO IBGE .....	73
4.4 DETERMINAÇÃO DAS IMPLICAÇÕES NA REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA .....	78
4.4.1 Avaliação geométrica das feições.....	78
4.4.2 Escala na Cartografia Digital.....	87
4.4.3 Implicações inerentes aos Softwares .....	91
4.4.4.1 Softwares disponibilizados pelo IBGE.....	91
4.4.4.2 Softwares de Projeto Auxiliado por Computador ou <i>Computer Aided Design</i> – CAD e de Sistemas de Informações Geográficas – SIG.....	93
4.4.5 Implicações na junção de mapeamentos.....	99
4.4.6 Implicações no Cadastro Técnico Imobiliário .....	105
<b>CAPÍTULO V– CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	113
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primitivas gráficas utilizadas nas representações em escala grande .....	17
Figura 2 - Símbolo sugerido para poste .....	18
Figura 3 – Símbolo sugerido para árvore.....	18
Figura 4 – Utilização de símbolos associados a caracteres alfanuméricos .....	19
Figura 5 – Representação das edificações na cor amarela, com <i>background</i> em preto e branco .....	19
Figura 6 – Definição de latitude, longitude e altitude elipsoidal .....	24
Figura 7 – Relação entre as coordenadas cartesianas e geográficas .....	25
Figura 8 – Superfície Elipsóidica de Referência e Coordenadas Geodésicas de um ponto na Superfície Física .....	27
Figura 9 – Representação dos sete parâmetros de transformação.....	46
Figura 10 – Origem da distorção dos dados .....	51
Figura 11 – Localização das áreas de estudo.....	55
Figura 12 – Mapeamento do município de Chapecó – SC .....	56
Figura 13 – Mapeamento do município de Curitiba – PR .....	57
Figura 14 – Mapeamento do município de São José dos Pinhais – PR .....	58
Figura 15 – Organograma das etapas de desenvolvimento da Tese .....	60
Figura 16 – Distribuição dos pontos de apoio de campoFigura 17 – Localização das Estações da Rede Geodésica da Copel na Região Metropolitana de Curitiba .....	63
Figura 18 – Rede Geodésica GPS-COPEL.....	65
Figura 19 – Exemplo de monumentação das estações da rede .....	66
Figura 20 – Estações utilizadas no ajustamento dos referenciais SAD69 e SIRGAS2000 em 2004.....	73
Figura 21 - Discrepâncias entre os parâmetros locais de Curitiba-PR e Chapecó-SC.....	77
Figura 22 – Variantes da representação do símbolo poste.....	79
Figura 23 – Localização das áreas no município de Chapecó onde foram coletadas as feições lineares e de área .....	85
Figura 24 – Comparação dos vetores do bairro do Sítio Cercado no município de Curitiba – PR.....	90
Figura 25 – Transformação de referencial geodésico realizada num software CAD .....	94
Figura 26 – Trecho da carta de Curitiba – original.....	94
Figura 27 – Trecho da carta de Curitiba – pós-transformação.....	95
Figura 28 – Ampliação na área de conexão do mapeamento com diferentes metodologias de transformação de referencial geodésico – exemplo A.....	100
Figura 29 – Ampliação na área de conexão do mapeamento com diferentes metodologias de transformação de referencial geodésico – exemplo B.....	101
Figura 30 – Conexão dos mapeamentos .....	102
Figura 31 – Conexão entre os mapeamentos de Curitiba e de São José dos Pinhais.....	104
Figura 32 – Registro de Imóveis e Cadastro Técnico: uma interconexão necessária .....	106

Figura 33 – Localização do Imóvel utilizado no Estudo de Caso.....	107
Figura 34 – Informações sobre o IPTU do imóvel avaliado.....	108
Figura 35 – Imóvel avaliado e representação das duas edificações.....	108
Figura 36 – Representação das transformações do imóvel.....	109

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de WOLSKI (2000) para as escalas destinadas ao Cadastro Técnico .....	12
Quadro 2 – Classificação de ERBA & LOCH (2007) para as escalas destinadas ao Cadastro Técnico .....	13
Quadro 3 – Padrão de exatidão planimétrico e erro padrão para as classes A, B e C.....	21
Quadro 4 – Classificação dos SGRs quanto à compatibilidade com o SGR de “Geração Geodésica” mais atual e vinculado ao SGB – SIRGAS2000 .....	32
Quadro 5 – Efeito das distorções em diferentes escalas da materialização original do SAD69 para com o ajustamento de 1996.....	51
Quadro 6 – Relação dos mapeamentos .....	54
Quadro 7 – Padrão de exatidão planimétrico e o erro padrão para as classes A, B e C.....	68
Quadro 8 – Tolerância Planimétrica para o controle de qualidade do mapeamento na escala 1:2000 .....	68
Quadro 9 – Variações para a simbologia da feição poste nos mapeamentos analisados .....	79
Quadro 10 – Efeito da diferença entre SAD69 (1996) e SIRGAS2000 nas diferentes escalas de mapeamento .....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos de referência Chapecó – SC .....	64
Tabela 2 – Coordenadas dos pontos de controle dos municípios de Curitiba e São José dos Pinhais – PR.....	67
Tabela 3 – Coordenadas dos pontos de referência no terreno e no mapeamento de Chapecó.....	69
Tabela 4 – Resumo das estatísticas das amostras .....	70
Tabela 5 - Resumo das estatísticas das amostras.....	70
Tabela 6 – Coordenadas dos pontos de referência Curitiba e SJP.....	71
Tabela 7 - Resumo das estatísticas das amostras.....	71
Tabela 8 - Resumo das estatísticas das amostras.....	72
Tabela 9 – Parâmetros de transformação SAD69 para SIRGAS2000 – Modelos Molodensky Simplificado e Bursa Wolf – Chapecó.....	74
Tabela 10 - Parâmetros de transformação SAD69 para SIRGAS2000 – Modelos Molodensky Simplificado e Bursa Wolf – Curitiba.....	75
Tabela 11 - Parâmetros de transformação SAD69 para SIRGAS2000 – IBGE .....	75
Tabela 12 – Comparação entre os parâmetros de transformação para Chapecó.....	76
Tabela 13 - Comparação entre os parâmetros de transformação para Curitiba .....	76
Tabela 14 – Discrepâncias entre os parâmetros de transformação para Chapecó .....	77
Tabela 15 - Discrepâncias entre os parâmetros de transformação para Curitiba .....	77
Tabela 16 – Coordenadas UTM das feições pontuais.....	81
Tabela 17 – Discrepâncias entre as coordenadas SAD69 e SIRGAS2000 após a transformação Bursa Wolf .....	82
Tabela 18 – Discrepâncias entre as coordenadas SAD69 e SIRGAS2000 após a transformação com o modelo Molodensky Simplificado .....	83
Tabela 19 – Discrepâncias das coordenadas E e N com a aplicação dos modelos Bursa Wolf e Molodensky Simplificado referenciado ao SIRGAS2000.....	84
Tabela 20 – Resultados dos valores dos comprimentos das feições coletadas no mapeamento.....	86
Tabela 21 – Resultados dos valores das áreas das feições coletadas no mapeamento.....	87
Tabela 22 – Fontes de variação posicional .....	96
Tabela 23 – Comparação das áreas.....	110

## LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AETRA - *Ähnlichkeits-Transformation mit Stochastischen Punkten*  
AFN - *Australian Fiducial Network*  
AFREF - *African Geodetic Reference Frame*  
AFREF - Rede de Referência Africana  
ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações  
ANEA - Associação Nacional das Empresas de Aerolevantamentos  
ANN - *Australian National Network*  
APRGP - *Asia and the pacific region Geodetic Project*  
ASPRS - American Society for *Photogrammetry and Remote Sensing*  
CAD - *Computer Aided Design*  
CASAN - Companhia de Água e Saneamento –  
CEI - Continente Europeu  
CNIR - Cadastro Nacional de Imóveis Rurais  
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário  
CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia  
CONDER - Companhia de Desenvolvimento Urbano da Bahia  
CTS - *Convencional Terrestrial System*  
DAAD - *Deutsche Akademische Austauschdienst*  
DHDN - *Deutsches Hauptdreiecksnetz*  
DMA - *Defense Mapping Agency*  
DMA - Departamento de Defesa dos EUA  
DORIS - *Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite*  
DSG - Diretoria de Serviço Geográfico  
dxf - *Digital Exchange Format*  
EMPLASA - Sistema Cartográfico Metropolitano da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A.  
ETRS89 - *European Terrestrial Reference System 1989Project*  
EUREF - *Reference Frame Subcommittee for Europe*  
FGDC - *Federal Geographic Data Committee*  
GDA - *Geocentric Datum of Australia*  
GDM 2000 - *Geocentric Datum of Malaysia*  
GIK - Instituto de Geodésia de Karlsruhe  
GNSS – *Global Navigation Satellite System*  
GPS – *Global Positioning System*

GRS80 - *Geodetic Reference System de 1980*  
HAVOC - *Horizontal Adjustment by Variation of Coordinates*  
IAG - Associação Internacional de Geodésia  
IAG - *International Association of Geodesy*  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICSM - *Inter-Governmental Committee on Surveying and Mapping*  
IERS - *International Earth Rotation Service*  
IGA MG - Instituto de Geociências Aplicadas de Minas Gerais  
IGC SP - Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo  
IGS - *International Gravity Standardization*  
INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária  
IPGH - Instituto Panamericano de Geografia e História  
IPH - Instituto Pan-Americano de Geografia e História  
IPP RJ - Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos do Rio de Janeiro  
IPTU - Imposto Territorial Predial Urbano  
ITRF - *International Terrestrial Reference Frame*  
ITRS - *International Terrestrial Reference System*  
IUGG - União Internacional de Geodésia e Geofísica  
JGD2000- *Japanese Geodetic Datum*  
LLR - *Lunar Laser Ranging*  
LTM - Local Transversa de Mercator  
MCidades - Ministério das Cidades  
MVC - Matriz Variância Covariância  
NAD27- *North American Datum 1927*  
NAD83 - *North American Datum 1983*  
NATO - *North Atlantic Treaty Organization*  
NCGS - *Geospatial Positioning Accuracy Standards*  
NGA - Agência Geoespacial Nacional de Inteligência  
NIMA - Agência Nacional de Mapas e Imagens  
NT - Normas Técnicas  
PCGIAP - *Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia & the Pacific*  
PIGN - Projeto de Infra-estrutura Geoespacial Nacional  
PMRG - Projeto de Mudança do Referencial Geodésico Brasileiro  
PRISM IITM - *Ashtech Precision GPS Surveying Software*  
PSAD56 - *Provisional South American Datum of 1956*  
RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo  
REPLAN - Projeto de Reajustamento da Rede Geodésica Planimétrica Brasileira  
RTM - Regional Transversa de Mercator

SAD69 - *South American Datum of 1969*  
SAPOS - *Satellite Positioning Service of the German National Survey*  
SCN - Sistema Cartográfico Nacional  
SENCTRU - Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural e Urbano  
SGR - Sistemas de Referência Geodésicos  
shp - Shapefile  
SICAFS - Sistema Cartográfico Municipal de Feira de Santana  
SICAR/RMS - Sistema Cartográfico da Região Metropolitana de Salvador  
SIG - Sistemas de Informações Geográficas  
SIMGEO - Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação  
SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
SLR - *Satellite Laser Ranging*  
SSC - *Set of Station Coordinates*  
STANAG 2215 - *Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data*  
TCGEO - Sistema de Transformação de Coordenadas  
UFPE - Universidade Federal de Pernambuco  
UFPR - Universidade Federal do Paraná  
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina  
UGGI-67- Associação Geodésica Internacional 1967  
USHER - *Users System for Horizontal Evaluation and Reduction*  
UTM – Universal Transversa de Mercator  
VLBI - *Very Long Baseline Interferometry*

---

# CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

---

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No ano de 1993, em Assunção no Paraguai, patrocinada pela Associação Internacional de Geodésia - IAG, Instituto Panamericano de Geografia e História – IPGH e a agência Cartográfica do Departamento de Defesa dos EUA – DMA, no passado, nomeada Agência Nacional de Mapas e Imagens – NIMA e atualmente a Agência Geoespacial Nacional de Inteligência – NGA. Uma conferência foi realizada para a Definição de um *Datum* Geocêntrico para a América do Sul, o que mais tarde passaria a ser para todas as Américas. Foi criado o projeto SIRGAS, que tinha por objetivo definir um sistema de referência, além de definir e estabelecer um Datum Geocêntrico, objetivos os quais foram plenamente alcançados nesta Conferência (IBGE, 1997).

No XIX Congresso Brasileiro de Cartografia de 1999, realizado em Recife – PE, ficou definido que o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, deveria ser o órgão que formalizaria a proposta de mudança de referencial geodésico através de um seminário, onde houvesse grande participação da comunidade cartográfica para discussão dos temas concernentes.

No ano de 2000, o IBGE promoveu o I Seminário sobre Adoção de um Referencial Geocêntrico no Brasil, no qual foi decidido que o referencial geocêntrico a ser adotado seria o SIRGAS.

Através do protocolo de Presidente Prudente (IBGE, 2000), adotou-se a terminologia SIRGAS2000, devendo-se ao fato de eliminar as diferentes interpretações que os usuários poderiam ter em relação ao referencial adotado, indicando o ano da realização do referencial, que para o caso do SIRGAS2000 é o ano de 2000.

No ano de 2005, o IBGE promoveu o II Seminário sobre a adoção do Referencial Geocêntrico no Brasil. Paralelamente a estes seminários, este tema vem sendo discutido em eventos técnicos científicos como o Congresso Brasileiro de Cartografia, Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - COBRAC, Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – SIMGEO, além de encontros realizados entre os Grupos de Trabalhos do IBGE e instituições que compõem o Projeto de Infra-Estrutura Geoespacial Nacional – PIGN, como a Agência Internacional de Desenvolvimento Canadense - CIDA e a Agência Brasileira de Cooperação – ABC que participam de estudos referentes às conseqüências desta adoção.

Na atualidade, este processo de migração encontra-se em transição, oficialmente iniciado no ano de 2005, período o qual estará em transição até o ano de 2015, ano da adoção definitiva. Neste intervalo de tempo o SIRGAS2000 e o sistema anterior (SAD69) poderão ser oficialmente utilizados, proporcionando ao usuário um período para a adequação e ajuste de suas bases de dados e procedimentos ao novo sistema.

A idéia de basear todas as informações geoespaciais à um único sistema de referência único não é recente. De acordo com WONNACOTT (2006) em 1905, Sydney Burrad já afirmava que um referencial

único seria uma solução para os levantamentos incompatíveis, também como uma solução para o acúmulo de erros, não somente de um país, mas também com relação a países vizinhos.

O referencial geodésico oficial adotado no Brasil até 2005 era o SAD69. Apesar da inexistência de normas oficiais que regularizem a Cartografia Nacional em escala grande, com a adoção do Referencial Geocêntrico para as Américas – SIRGAS2000, muitos usuários continuarão utilizando a cartografia produzida no antigo referencial. No Brasil, a produção de uma nova cartografia no novo referencial torna-se oneroso para algumas organizações, sendo assim necessária a transformação para o novo referencial geodésico oficial para o aproveitamento de cartas já existentes. Nesta pesquisa escala grande foi considerada as maiores que 1:10.000.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Atualmente o Brasil atravessa um momento singular no mapeamento de seu território, onde coexistem dois Sistemas Geodésicos de Referência – SGR, o SIRGAS2000 e o SAD69. A partir de janeiro de 2015, somente o SIRGAS 2000 será oficial, e todos os produtos cartográficos serão recomendados a estarem referenciados a este *Datum*.

Diferentemente de uma simples alternativa para o aperfeiçoamento do SGR, a adoção de um referencial geocêntrico é uma necessidade fundamental no cenário mundial para atividades que dependem da informação espacializada. Os níveis atuais de precisão obtidos no posicionamento geodésico tornam uma exigência à adoção de um sistema de referência que forneça um georreferenciamento global e que permita a consideração da variação temporal de acordo com a dinâmica terrestre (IBGE, 2000).

A mudança do Referencial Geodésico atinge as instituições que necessitam informações espacializadas nas suas atividades de planejamento, como prefeituras municipais e concessionárias de serviços como Telecomunicações, Saneamento, Energia Elétrica entre outras. Utilizando informações georreferenciadas em suas atividades de gestão, necessitam o conhecimento real do espaço urbano como o uso e ocupação do solo, do subsolo e do espaço aéreo, cartas destinadas ao cadastro técnico imobiliário e fiscal, planta de valores genéricos, carta municipal, planta de quadra, planta de referência cadastral, anteprojetos de obras civis, acompanhamentos de obras, plano diretor municipal. Os produtos cartográficos de base existentes em prefeituras municipais e concessionárias de serviços são provenientes do mapeamento sistemático do Brasil e provenientes de empresas de Cartografia, contratadas para finalidades específicas.

Em 1920, o elipsóide de Clarke, com o Observatório do Morro Santo Antônio, foi o primeiro elipsóide adotado oficialmente no Brasil. Antes disso, a Carta Geral do Império e a Carta Geral do Brasil, já tinham como modelo matemático os elipsóides de Bessel e Clarke, com origem no Observatório do Morro do Castelo (MENEZES & FERNANDES, 2008). Sabe-se que os últimos referenciais geodésicos no Brasil foram: Córrego Alegre, Astro *Datum* Chuá, SAD69, e atualmente por legislação, encontra-se em transição para o SIRGAS2000. Cronologicamente, o Córrego Alegre foi o primeiro SGR horizontal a ser utilizado no Brasil, até o início da década de 70. Por um curto período que antecedeu o SAD69, foi adotado o Chuá Astro *Datum*, e a partir de 1977 o SAD69 passou a ser utilizado oficialmente nos trabalhos de

Geodésia e Cartografia do país. Uma parte significativa do acervo cartográfico relativo ao mapeamento topográfico do país encontra-se ainda hoje em Córrego Alegre, mas o mapeamento em escala grande destinado ao Cadastro Urbano encontra-se em sua maioria em SAD69.

A adoção de um novo referencial implica na necessidade de conversão dos dados e mapas já gerados ao novo sistema. Até o presente momento não existe um modelo de transformação que seja aplicável à cartografia em escala grande e que seja homogêneo para todo o país. Os parâmetros oficiais divulgados pelo IBGE são aplicáveis somente para a Cartografia Sistemática, a qual é de responsabilidade do IBGE e da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército - DSG. Esta pesquisa propõe avaliar modelos matemáticos para a transformação do Sistema Geodésico de Referência SAD69/1996 de mapeamentos em escala grande para o novo Sistema Geodésico SIRGAS2000. Fazendo análise das formas existentes para esta conversão, com base em alguns autores, indicou-se uma transformação adequada entre as existentes. Contudo, a pesquisa avançou nas análises verificando as implicações que a Cartografia em escala grande, freqüentemente utilizada para o Cadastro Técnico Urbano, pode sofrer em decorrência desta mudança de referencial geodésico.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Geral**

Estudar modelos de transformação entre Sistemas Geodésicos, para ser aplicado na transformação de mapeamentos referenciados ao SAD69/1996 (com orientação topocêntrica) para o SIRGAS2000 (de concepção geocêntrica). Aplicar os modelos avaliados em Mapeamentos em escala grande e analisar as implicações na planimetria.

#### **1.3.2 Específicos**

- a) Fazer um levantamento histórico detalhado a respeito das mudanças de referenciais geodésicos que ocorreram no Brasil e realizar um estudo a respeito da experiência de outros países com o advento da utilização de sistemas geodésicos de referência geocêntricos;
- b) Comparar as conseqüências resultantes da utilização de parâmetros de transformação locais e dos parâmetros oficiais nacionais divulgados pelo IBGE;
- c) Indicar os efeitos dessa mudança de referencial na cartografia planimétrica em escala grande, em relação às alterações de valores de coordenadas, deslocamentos, variações de área e à representação cartográfica;
- d) Indicar as possíveis implicações da mudança de referencial geodésico, em virtude da utilização de um tipo específico de software para a Cartografia e em Sistemas de Informações Geográficas – SIG;
- e) Indicar as implicações técnicas, jurídicas e fiscais que ocorrerão no Cadastro Técnico Imobiliário em virtude desta migração de referencial.

## 1.4 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O desenvolvimento tecnológico trouxe mudanças significativas na coleta, processamento, análise e na representação cartográfica. Novos instrumentais foram desenvolvidos, metodologias calcadas em processos digitais automatizados ou não e o acesso a rede mundial de computadores, permitem cada vez mais rápida a produção de dados espaciais.

As novas tecnologias permitem à administração pública o conhecimento real do espaço urbano, possibilitando a justa cobrança de impostos e conseqüente crescimento na receita, sem aumento das alíquotas. Se bem aplicada essa receita pode resultar em melhor qualidade de vida para os cidadãos de um município.

Ao se pensar em alterar o estado das coisas, com o intuito de provocar melhorias na gestão pública, utilizando novas tecnologias, metodologias e produtos, deve-se considerar a situação existente, como as questões econômicas, técnicas e humanas. No caso da cartografia brasileira, durante o processo migração de um referencial topocêntrico para um geocêntrico, é necessário prever os possíveis problemas decorrentes desta mudança e propor soluções que permitam o aproveitamento daquilo que foi produzido. É preciso ainda prever possíveis conflitos entre as partes envolvidas neste processo: os produtores de informação cartográfica e os usuários.

Alguns estudos foram realizados dentro da temática que se refere à migração de referenciais geodésicos, por VASCONCELLOS & ESCOBAR (2005) e DALAZOANA (2001), quanto aos efeitos na Cartografia de caráter sistemático, através das cartas topográficas do mapeamento sistemático. Tais trabalhos indicam alterações de áreas nos diversos sistemas de referência em uso, existência de vazios entre folhas de sistemas diferentes (SAD69, Córrego Alegre e SIRGAS2000).

Quanto aos estudos referentes a mapeamentos em escalas grandes, podem-se citar GALDINO (2006) e PINO (2007). O primeiro autor justifica o uso do sistema de referência SIRGAS2000 para o georreferenciamento de parcelas territoriais<sup>1</sup> em virtude dos múltiplos sistemas de referência oficiais vigentes no Brasil. PINO (2007) realizou um estudo sobre a visão de uma transformação adequada para bases cartográficas na escala 1:10.000, para isso foi avaliada a transformação bidimensional, visando a avaliação na geometria das bases cartográficas. Contudo, estudos destinados à análise das conseqüências na representação cartográfica em escala grande, como simbologia, conexão de mapeamentos vizinhos, quantificação dos efeitos na variação de área e distância que competem às necessidades cadastrais, nada foi encontrado até o momento.

COLLIER et al (1996), COSTA, (1999), COSTA (2003), FEATHERSTONE (1997), OLIVEIRA (1998b), SMITH & MOORE (1997), VERONEZ (1998), ZEPEDA et al (2006), realizaram estudos referentes à transformação de referenciais geodésicos, assim como o estudo das distorções recorrentes desta integração. OLIVEIRA (1998b) analisou a situação entre as duas materializações do SAD69, o inicial e o ajustamento realizado em 1996. O autor apresenta uma análise que além de

---

<sup>1</sup> Parcelas territoriais: De acordo com IRIB (2006) a Parcela é uma fração (subárea) de um imóvel com regime jurídico único. Com esta definição ela deve ser a (menor) unidade do cadastro territorial (urbano/rural), espacializada (delimitado, identificado e com área calculada), enfim, como unidade própria.

determinar parâmetros de transformação, é feita uma modelagem das distorções usando uma transformação geométrica afim geral a 12 parâmetros combinada a uma triangulação de *Delaunay*.

Importante salientar neste contexto, as atividades realizadas em âmbito do Projeto de Mudança do Referencial Geodésico Brasileiro – PMRG, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e o Infra-Estrutura Geoespacial Nacional – PIGN, entre Brasil e Canadá. Este grupo reúne pesquisadores que realizam estudos referentes à conversão dos referenciais. No ano de 2007, os grupos de trabalho GT3 - Conversão de Referenciais e GT5 – Impactos aos usuários se encontraram para discussão, além de profissionais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA e Instituto de Geociências Aplicadas de Minas Gerais – IGA. O principal assunto discutido foi a modelagem de distorções. Entre os métodos que estão sendo estudados por este grupo de trabalho, apontam as seguintes alternativas: redes neurais; interpolador de *Sheppard* em conjunto com a solução por grades, através do Software NTV2; colocação por mínimos quadrados; método dos elementos finitos; polinômios imaginários associados à solução por grades e triangulação de *Delaunay*. Maiores informações a respeito dos trabalhos podem ser encontradas em OLIVEIRA et al (2007).

A utilização dos dados cartográficos, o processamento e a representação dos dados desta natureza, trouxeram uma série de benefícios na forma de análises rápidas e precisas. Mas ao mesmo tempo revelaram algumas fragilidades, como por exemplo, o uso inadequado de sistema de coordenadas por parte da comunidade usuária, leiga e que trabalha com dados cartográficos sem maiores cuidados, desconhecendo os mesmos. A manipulação inadequada destes dados podem gerar decisões equivocadas.

Além disso, a Cartografia Cadastral Urbana, que freqüentemente é apresentada na escala 1:2.000 e 1:1.000, gera impactos em uma ordem maior do que os já encontrados na cartografia sistemática, levando-se em conta de que atualmente, a maior parte do material cartográfico é produzido e manipulado através de ambiente digital, armazenados em Sistemas de Informações Geográficas - SIG, os quais necessitarão sofrer adequação dos registros do banco de dados, bem como nas relações topológicas dos mesmos.

Estudos a respeito das implicações da adoção deste sistema geodésico de referência geocêntrico são necessários, de maneira que possibilitem suporte aos usuários de cartografia em escala grande.

Neste contexto, como contribuição principal, o presente trabalho estudou algumas implicações que ocorrem na Cartografia em escala grande em virtude da migração de referencial. Não apenas as implicações geométricas, mas também as implicações na representação cartográfica e uma análise crítica a respeito das ferramentas possíveis de serem utilizadas neste processo de migração.

Outra contribuição é a comprovação das conseqüências da utilização de parâmetros globais e locais, assim como uma avaliação dos modelos matemáticos empregados pela legislação cartográfica brasileira e os utilizados mundialmente.

Para avaliar os resultados encontrados, uma avaliação foi realizada para demonstrar algumas implicações no que se refere ao Cadastro Técnico Imobiliário, numa tentativa de mostrar à comunidade científica e aos usuários das informações cartográficas, as conseqüências dessa mudança de referencial na

prática. Situações as quais devem ser levadas em consideração quando se procuram alternativas de minimizar as implicações da mudança de um referencial topocêntrico para geocêntrico.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta Tese está dividida em cinco capítulos. No presente capítulo estão expostos os elementos introdutórios como a contextualização, caracterização do problema, justificativa e motivação da pesquisa. Além da descrição dos objetivos. No segundo capítulo está apresentado o referencial teórico e metodológico que compreende as temáticas de Cartografia e Geodésia inerentes a esta pesquisa. No terceiro capítulo é apresentado o material e o método. São descritas as áreas de estudo, assim como as características de todos os dados utilizados. No quarto capítulo é exposta uma descrição detalhada de da metodologia, além dos resultados encontrados. Finalizando, o quinto capítulo é reservado para as considerações finais que integram as conclusões e as recomendações desta pesquisa.

## CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLOGICO

---

### 2.1 CARTOGRAFIA CADASTRAL

Quando se pensa em Cartografia Cadastral, o produto a que se remete a primeira idéia é a Carta Cadastral. Pela definição do Dicionário Cartográfico editado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE por OLIVEIRA (1993), “Carta Cadastral é a representação em escala adequada, geralmente planimétrica, destinada à delimitação do parcelamento da propriedade territorial”.

O conceito de Carta Cadastral aplicado à realidade das atividades de Cadastro Técnico no Brasil é dado por NOGUEIRA (2006), “a Carta Cadastral é um dos principais componentes do Sistema Cadastral, pois, ela mostra os limites que definem a propriedade. Além desses limites as Cartas Cadastrais no Brasil representam o sistema viário, rede hidrográfica e as edificações importantes dentro de seus limites”.

A mesma autora afirma que as cartas cadastrais são confeccionadas a partir da Topografia ou com auxílio da Fotogrametria, em escala grande o suficiente para atender seu objetivo que é mostrar o parcelamento do solo, ou seja, mostrar a estrutura fundiária de um determinado lugar. Se o interesse for as cidades, são designadas de Plantas Cadastrais; se for a área rural, são as Cartas Cadastrais Rurais ou Cartas Fundiárias. As instituições públicas ou de utilidade pública são quem utilizam essas cartas, mas, por força da lei, desde a década de 80 são impedidos de produzi-las, contratando para tanto as empresas nacionais e privadas. As Cartas ou Plantas Cadastrais são extremamente úteis para estudos locais, municipais ou urbanos, por isso, geralmente seus usuários são as diversas instituições públicas ou empresas de utilidade pública. As principais aplicações das Cartas Cadastrais são na taxaço (impostos); na reforma agrária - redistribuição e inclusão de terras; na avaliação e manejo dos recursos da terra; no planejamento e implantação de assentamentos; no planejamento urbano ou rural; no saneamento básico, na telefonia, para a rede de distribuição de energia elétrica entre outros.

De acordo com PHILIPS (1996) “a carta cadastral deve conter primeiramente os bens imobiliários, que são os números e limites das parcelas com suas demarcações, os prédios e o uso atual do solo, sendo amarrada a uma rede de Referência Cadastral Municipal”.

Para ERBA et al (2005) a Carta Cadastral possui alguns sinônimos como Planta Cadastral e Planta de Mensura. O profissional que a utiliza é o profissional de cadastro, com habilitação específica, sendo a relação jurídica entre o proprietário e a propriedade o objeto principal. Tem como objetivo a representação dos limites dos imóveis.

Para o mesmo autor, a Carta Cadastral Urbana no Brasil, normalmente é elaborada por técnicas topográficas e fotogramétricas. No primeiro caso, é difícil encontrar um exemplo genérico no país, pois os profissionais utilizam nomenclaturas e sistemas de coordenadas arbitrárias. Fato o qual se predomina pela ausência de normas regulamentadas. Isto não significa que os documentos cartográficos assim gerados sejam de má qualidade, mas a falta de padronização acaba acarretando problemas na integração os dados gerados pelo cadastro com cartas provenientes de outras instituições.

Alguns usuários de produtos cadastrais costumam denominar as Cartas Cadastrais também como Base Cartográfica. A ABNT através da NBR 14.166<sup>2</sup> (1996) define como base cartográfica como um conjunto de cartas e plantas integrantes do Sistema Cartográfico Municipal que, apoiadas na rede de referência cadastral, apresentam no seu conteúdo básico as informações territoriais necessárias ao desenvolvimento de planos, de anteprojetos, de projetos, de cadastro técnico e imobiliário fiscal, de acompanhamento de obras e de outras atividades projetuais que devam ter o lote como referência.

No entanto, a base cartográfica pode ser definida em qualquer escala, como documento de suporte à diversas informações que serão agregadas à uma área, com um sistema geodésico e de projeção associado.

Verifica-se que na NBR14.166 a carta cadastral descrita em sua definição é nomeada por base cartográfica. A maior parte das definições aborda a mesma definição para Carta Cadastral e Base Cartográfica.

Porém, outras bibliografias trazem o conceito de base cartográfica quando se dirigem apenas às cartas provenientes do Mapeamento Sistemático Brasileiro. ROSA (1989) define que a base cartográfica constitui num mapa base que contém informações planimétricas e altimétricas, numa escala compatível com a finalidade a qual se destina. Vale ressaltar que a mesma deve ser amarrada a uma Rede de Referência Geodésica e a um Sistema de Projeção. FREITAS (2005) define que a base cartográfica é uma estrutura espacial de dados de referência, definida, do ponto de vista geométrico a partir de uma rede geodésica fundamental e representável no plano com base em um sistema de projeção. É uma ferramenta essencial para a compatibilização e gestão das informações espaciais, racionalizando a aplicação de recursos na geração e integração de novas informações às já existentes, possibilitando o controle da qualidade dos dados, atualidade e suas redundâncias.

GALDINO et al (1998) define a base cartográfica cadastral como um campo de pontos bidimensional ou tridimensional, densificado a partir da Rede Fundamental de Referência de ordem de precisão superior, distribuídos e monumentalizados adequadamente e, cuja representação gráfica é enriquecida e completada por curvas de nível, grade de coordenadas, recursos hídricos, toponímia e dos objetos notáveis – quadras, sistemas viários, eixos de logradouros, etc. – da mancha urbana da localidade. Serve de referência para o lançamento dos cadastros temáticos (concessionárias de serviços públicos: distribuição de água, esgoto, energia elétrica, telecomunicações, mercantil, entre outros).

Quando se pensa em Cartografia Cadastral, “Carta Cadastral é a representação em escala adequada, geralmente planimétrica, destinada à delimitação do parcelamento da propriedade territorial” OLIVEIRA (1993). Na prática, a comunidade usuária e de profissionais do Cadastro, convencionou como Carta Cadastral todo produto originado de atividades cadastrais - sejam elas rurais, urbanas ou temáticas - advindas de técnicas que possibilitem a representação em escala grande como Aerofotogrametria e Topografia.

Esta generalização da terminologia advém do fato de que no Brasil, quando se contratam serviços cadastrais, contrata-se o levantamento de uma área de uma maneira abrangente, aproveitando num

---

<sup>2</sup> ABNT NBR 14.166 – Rede de Referência Cadastral Municipal (1998)

único levantamento uma tomada maior de dados, considerando serem úteis para outras finalidades como planejamento e gestão (o que na maioria das vezes de fato não ocorre), resultando na subutilização dos produtos cartográficos. Maiores informações a respeito desta temática de divergência nas terminologias técnicas em Cadastro podem ser encontradas em FERNANDES & NOGUEIRA (2006).

Outros produtos cartográficos como fotografias aéreas, ortofotos, imagens de satélites, plantas topográficas também são utilizadas nas atividades de cadastro técnico, porém com finalidades diferenciadas e definidas.

### **2.1.1 Produção Cartográfica Cadastral**

Quando se pensa na concepção de cartografia cadastral deve-se realizar um inventário dos produtos cartográficos existentes no município em questão. Tratando-se de municípios brasileiros, estes possuem diferentes realidades. Uns possuem levantamentos anteriores de qualidade e uma grande parte possui poucas informações. Normalmente as seguintes realidades são encontradas, conforme GALDINO et al (1998): a) Cidades que não possuem nenhum material cartográfico; b) Cidades que possuem material cartográfico produzido em sistema de referência arbitrado; c) Cidades que possuem material cartográfico produzido em sistema de referência arbitrado e possuem material parcialmente georreferenciado e d) Cidades que possuem material cartográfico totalmente georreferenciado.

Muitas cidades partem do princípio quando realizam um novo levantamento com finalidades de concepção de cartografia cadastral. Outros apenas realizam uma atualização das informações, considerando a concepção de uma nova cartografia cadastral, baseada nas técnicas atuais de levantamento.

De acordo com TOSTES (2001) parte das bases cartográficas cadastrais utilizadas nos municípios brasileiros foram produzidas nos anos 70. Nesta época, não existia tecnologia para se fazer uma restituição digital ou mesmo para digitalizar a base analógica, além de a base cartográfica representar apenas a área com um maior adensamento das cidades, correspondendo aproximadamente 60% do território. Nas décadas de 80 e 90, em anos diferentes e separadamente, alguns órgãos e empresas concessionárias de serviços começaram a encomendar a digitalização da base analógica existente. A digitalização era realizada em mesa digitalizadora, que se trata de um método dependente do operador. Este método caiu em desuso, sendo substituído por uma combinação de escanerização e vetorização no próprio *display do* computador. Os métodos realizados até então foram diferentes e, na maioria das vezes não houve preocupação com a precisão<sup>3</sup> e exatidão<sup>4</sup> cartográfica. O resultado desta combinação de fatores é uma incompatibilidade entre as bases cartográficas existentes com a realidade geográfica das cidades, necessitando numa parte dos casos a realização de um novo mapeamento da região.

Pode-se somar a estes fatores aos diferentes *Data* que existiram no país como Córrego Alegre, SAD69, Astro Chuá e atualmente a migração ao SIRGAS2000. Mesmo quando o SAD69 já era o *Datum* oficial, Cartografia referenciada ao *Datum* Córrego Alegre continuava a ser produzida. O mesmo está

---

<sup>3</sup> Precisão está relacionada com a dispersão das observações em torno de um valor médio.

<sup>4</sup> Exatidão ou acurácia está relacionada com a proximidade do valor real.

ocorrendo neste período de migração do SAD69/1996 ao SIRGAS2000. Na prática, muitas empresas continuam gerando Cartografia em SAD69/1996.

Quanto às técnicas possíveis para se produzir uma base cartográfica em escala grande, pode-se citar as seguintes: Restituição estereofotogramétrica digital; Vetorização monoscópica de ortofotos digitais; Vetorização monoscópica de imagens de satélites ortorretificadas; Levantamentos com o Sistema de Navegação por Satélites – GNSS, Levantamento topográfico e Perfilamento a Laser.

O erro gráfico permitido para a escala 1:2.000, por exemplo, é de aproximadamente 40 cm. Resultados dentro deste patamar são adquiridos mais comumente com as técnicas de Restituição Fotogramétrica Digital, dependendo da escala de vôo, levantamentos topográficos e através de levantamentos GNSS e através de técnicas de levantamento e processamento adequadas.

As técnicas de vetorização monoscópica de ortofotos digitais e de imagens de satélite ortorretificadas são mais indicadas para os processos de atualização cartográfica, porém deve ser salientada a limitação das técnicas por meio de imagens de satélite para escalas grandes. A vetorização de ortofotos fornece uma precisão inferior à restituição fotogramétrica digital. De acordo com TOSTES (2001) para redução de custos e prazos do processo e preservação da precisão da restituição estereofotogramétrica, opta-se pela contratação na primeira etapa apenas as feições fundamentais, deixando para vetorizar posteriormente as demais feições. Desta forma, a obtenção de ortofotos digitais é considerada importante por permitir a vetorização posterior de algumas feições que auxiliarão no controle de qualidade dos serviços contratados, permitindo a detecção de construções clandestinas não cadastradas e servirem de pano de fundo na visualização da base. No entanto, exige uma maior especialização do usuário para a correta interpretação dos dados.

Dentro de um projeto de atualização de bases cartográficas digitais de um município, estudos apontam a existências de diferenças entre as bases existentes e a realidade geográfica, especialmente em zonas de expansão, mas também nos centros urbanos, embora sejam áreas mais consolidadas, que sofreram alterações que não são contempladas nos mapas existentes. Além dos problemas referentes às informações altimétricas existentes nestes mapas que apresentam diferenças evidentes com a topografia real do terreno. Maiores informações podem ser encontradas em GUIMARÃES et al (1998), LUZ et al (2006) e NETTO et al (2003).

Bases antigas servem na maioria das vezes, como referência de consulta na reambulação<sup>5</sup>, e fornecerão a toponímia inicial da nova base. Além de fotografias aéreas obtidas em época posterior aos mapeamentos existentes, as quais nunca foram anteriormente representadas em forma de mapas.

A parte do município que contempla o perímetro urbano é representada pela carta cadastral urbana. A base cartográfica do município como um todo, serve de referência para o lançamento do perímetro urbano das localidades com suas respectivas feições representativas. Esta carta cadastral refere-se aos elementos integrantes do sistema de infra-estrutura urbana, um dos objetos das atividades do Cadastro Técnico.

---

<sup>5</sup> Segundo KRAUS (1999) reambulação é o processo de verificação e identificação in loco, de detalhes fotográficos que não puderam ser interpretados.

### **2.1.2 Escalas da Cartografia Cadastral**

Pode-se definir escala como a relação entre as dimensões lineares dos elementos representados em um mapa, carta ou planta e as suas correspondentes dimensões na superfície terrestre.

São vários os produtos cartográficos utilizados para finalidades cadastrais. O produto mais comum e anteriormente definido é a carta cadastral, esta difere em escala, quando se trata de Cadastro Urbano e Cadastro Rural. Ao tratar de Cadastro Urbano, as escalas atingem valores ao entre 1:1.000 e 1:2.000, de acordo com as necessidades, sejam estas para atividades de planejamento e gestão, e de acordo com as características do espaço urbano e densidade das feições representadas. Já para o cadastro Rural, estas escalas estão entre 1:5.000 e 1:10.000.

O Sistema Cartográfico Nacional contempla o conjunto de procedimentos que têm por finalidade a representação do espaço territorial de forma sistemática por meio de cartas gerais, contínuas, homogêneas e articuladas, elaboradas seletiva e progressivamente em escalas padrão de 1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000 (IBGE, 2004). Porém estas escalas não satisfazem as necessidades do Cadastro Técnico em áreas urbanas.

A Comissão Nacional de Cartografia – CONCAR, a qual tem por missão coordenar e orientar a elaboração e a implementação da Política Cartográfica Nacional e a manutenção do Sistema Cartográfico Nacional, com vistas à ordenação da aquisição, produção e disseminação de informações geoespaciais para a Sociedade Brasileira CONCAR (2007), porém não possui normas até o momento destinadas à representação cartográfica em escalas maiores que 1:25.000, escalas as quais pode-se dizer que abrangem as atividades de Cadastro Técnico Urbano e Rural.

Em termos de Cadastro Técnico, as únicas normas existentes até a atualidade no país são a NBR 14.166 da ABNT, que estabelece procedimentos para Rede de Referência Cadastral Municipal, de modo que sistematize os levantamentos topográficos e aerofotogramétricos. Porém, nada consta a respeito de representação cartográfica. Outra norma que vale a pena citar é a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais Aplicada à Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001 e do Decreto 4.449, de 30 de outubro de 2002.

Quando se fala em Cadastro Técnico, tem-se em mente as atividades concernentes às escalas maiores que 1:25.000, escalas as quais não são abrangidas pelo Mapeamento Sistemático Nacional. Porém, escalas menores que 1:25.000 também são utilizadas em algumas ocasiões são utilizadas no Cadastro Técnico. Como exemplo desta afirmação, pode-se exemplificar através dos produtos em escalas regionais – 1:1.000.000 a 1:250.000, os quais permitem entre as análises possíveis, uma análise intermunicipal. Outra escala menor que 1:25.000 e que também é necessária em alguns estudos, que futuramente gerarão produtos cadastrais, são os produtos com escala 1:50.000, os quais abrangem todo o município; mapas nesta escala tem a função de possibilitar alguns serviços municipais e de recursos físico-econômicos da zona rural.

WOLSKI (2000) propõe-se uma classificação das escalas destinadas às atividades cadastrais que é estruturada no quadro 1.

**Quadro 1:** Classificação de WOLSKI (2000) para as escalas destinadas ao Cadastro Técnico

<i>Escala</i>	<i>Abrangência</i>	<i>Função</i>	<i>Unidade básica</i>
Escalas Rurais: 1:5.000 à 1:20.000	Toda a zona rural	Tem como função o fornecimento de dados para o cadastro fundiário, que fornece subsídios para a administração e execução do Imposto Territorial Rural – ITR e possibilita o fomento da produção rural.	Propriedade rural
Escala Macro-urbana: 1:5.000	Toda a zona urbana permitindo o mapeamento das quadras.	Tem como função fornecer informações básicas sobre a zona urbana.	Propriedades rurais e urbanas.
Escala Cadastral: 1:1.000 à 1:2.000	Toda a zona urbana permitindo o mapeamento dos lotes	Tem como função fornecer subsídios para administração cadastral, fiscal e sócio-econômica.	Lotes urbanos.
Escala Operacional: 1:500 à 1:100	Toda a zona urbana, permitindo o mapeamento de detalhes topográficos.	Tem função de fornecer elementos para projetos de Engenharia e administração operacional da infra-estrutura urbana.	Lote.

Outra classificação para a estrutura cartográfica municipal no Brasil é dada por ERBA & LOCH (2007) de acordo com o quadro 2 a seguir.

**Quadro 2:** Classificação de ERBA & LOCH (2007) para as escalas destinadas ao Cadastro Técnico

<i>Documento</i>	<i>Escala</i>	<i>Feições Representadas</i>	<i>Uso</i>
Carta Geral do Município	1:10.000 à 1:5.000	Curvas de nível, hidrografia, vegetação, sistema viário, edificações, ruas, limites jurisdicionais.	Desenvolvimento do Plano Diretor Municipal e definição de estratégias em todas as áreas do governo e privadas.
Carta de Referência Cadastral	1:10.000 à 1:5.000	Somente planimetria, identificação da nomenclatura cadastral, loteamento e zonas tributárias.	Base para organização do Cadastro Municipal.
Carta de Valores	1:10.000 à 1:5.000	Valores do terreno por quarteirão	Gestão fiscal do imposto predial
Planta Cadastral Municipal	1:2.000 à 1:1.000	Informações correspondentes ao uso do solo urbano.	Dar apoio ao planejamento urbano e a gestão de todas as áreas do cadastro territorial.
Planta de Quadra	1:1.000 à 1:500	Ruas, limites de parcelas, projeções das construções todas com nomenclatura cadastral correspondente.	Gestão detalhada do cadastro
Planta Topográfica	1:1.000 à 1:250	Ruas, limites de parcelas, projeções das construções, croqui de acordo com o título da propriedade.	Descrição da parcela para sua incorporação ao Registro de Imóveis

Analisando os quadros 1 e 2 verificam-se duas diferenças básicas nestas classificações dadas pelos autores. Na tabela 1 o autor apresenta uma classificação de acordo com a escala, zona de abrangência, função da escala para com a zona de abrangência e qual a unidade básica de mapeamento. Já no quadro 2, os autores dividem-na de acordo com a denominação da carta, escala, quais as feições representadas e o uso a que se destina. Para WOLSKI (2000) a Cartografia Cadastral Urbana é designada no item Escala Cadastral, com escalas 1:1.000 à 1:2.000; esta escala possui abrangência de toda a zona urbana, permitindo o mapeamento dos lotes. Para ERBA & LOCH (2007) é designada como Planta Cadastral Urbana, com escala 1:1.000 à 1:500, onde são representadas feições como ruas, limites de parcelas, projeção das construções. Verifica-se esta diferença comparando as classificações destes autores.

O que acontece com a realidade do Cadastro Técnico brasileiro, cada município tem autonomia para organizar o seu sistema cadastral e, conseqüentemente, definir a estrutura da cartografia cadastral urbana. Freqüentemente são encontrados levantamentos topográficos ou restituições fotogramétricas na escala 1:10.000 de todo o município e 1:2.000 da área urbana, apesar da NBR 14.166 especificar somente a escala 1:1.000, mas na realidade verifica-se que esta norma não é levada em consideração, uma vez que as normas não possuem força de lei, não existindo um padrão nacional a ser seguido. Além de que é uma norma que necessita de análises e atualização.

Cabe salientar que na definição para planta topográfica no quadro 2, segundo ERBA & LOCH (2007) é que as feições representadas são ruas, limites de parcelas, projeções das construções e croqui de acordo com o título da propriedade. O croqui é um documento de apoio ao levantamento de campo, porém o mesmo não vem representado na planta topográfica. Cabe neste sentido uma revisão dos itens expostos no quadro 2.

Comparando as duas propostas dos quadros 1 e 2, verifica-se que a classificação de WOLSKI (2000) é mais apropriada, pois apresenta uma proposta que subdivide as escalas à uma região de abrangência, sugere uma função e descreve a unidade básica para cada intervalo na escala. Já a proposta de ERBA & LOCH (2007) determinam quais os documentos, os quais são diferenciados pelas nomenclaturas carta e planta, as quais não necessitam desta distinção terminológica. Também propõem o intervalo de escala associados às feições representadas e a indicação do uso. Uma definição discutível está no que se refere à Planta Cadastral Municipal, a qual determina que as feições representadas sejam as correspondentes ao uso do solo urbano. Na realidade a Carta Cadastral Municipal, não apresenta somente informações a respeito do uso do solo, a carta cadastral deve conter primeiramente os bens imobiliários, que são os números e limites das parcelas com suas demarcações, os prédios e o uso atual do solo, sendo amarrada a uma rede de Referência Cadastral Municipal. Verifica-se também que em nenhuma das duas propostas foi citado o conceito de parcela.

De acordo com o Decreto-Lei nº. 243, de 28 de Fevereiro de 1967 (BRASIL, 1967), "as atividades cartográficas, em todo o território nacional, são levadas a efeito através de um sistema único", denominado Sistema Cartográfico Nacional - SCN. Todas as cartas elaboradas no território brasileiro e que estejam compreendidas pelas escalas-padrão mencionadas acima, devem obedecer às Normas Técnicas - NT estabelecidas pelos seguintes órgãos federais competentes: a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE "no que concerne à rede geodésica fundamental e às séries de cartas gerais nas escalas menores que 1:250.000"; a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército - DSG "no que concerne às séries de cartas gerais nas escalas iguais a 1:250.000 e menores que 1:25.000"; a Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN "no que concerne às cartas náuticas de qualquer escala"; e ao Instituto Cartográfico da Aeronáutica - ICA "no que concerne às cartas aeronáuticas de qualquer escala" (BRASIL, 1967). Fica faltando alguma especificação quanto a responsabilidade a respeito dos mapeamentos em escalas superiores a 1:25.000.

Muito se discute a respeito da questão da escala em meio digital, o modo como as informações são armazenadas diferem do modo como as mesmas são visualizadas no *display* de um computador,

referindo-se à informação cartográfica digital como destituída de escala por alguns autores como BURITY (1999), KARNAUKHOVA (2001), LEAL & DALMOLIN (2002), ROCHA (2002) e explicando que a escala de saída ou de visualização de um produto digital está condicionada apenas à precisão e/ou acurácia com que os dados foram obtidos, tendo então uma escala de levantamento associada. O maior problema, no entanto, não está em saber se o produto digital, enquanto informação armazenada digitalmente possui escala ou não, mas, está em saber se o usuário tem consciência das restrições de uso e manipulação desta informação, enquanto comandadas pelas normas e padrões de exatidão estabelecidos. Muitos usuários não levam em consideração a diferença entre escala de levantamento e escala de impressão.

Por outro lado, GIRARDI & CORDINI (2002) salientam que a preocupação com a qualidade e a quantidade de informações obtidas. Independentemente de o processo ser analógico ou digital, é a mesma, estando estas diretamente relacionadas à escala final de representação daquelas informações.

Uma vez que a Cartografia Sistemática Terrestre Básica é configurada por meio de séries de cartas gerais somente até a escala-padrão 1:25.000, não existem normas técnicas estabelecidas, em nível nacional, para as séries de cartas gerais que compreendem escalas-padrão maiores que 1:25.000 (1:10.000, 1:5.000, 1:2.000 e 1:1.000). Existem, no entanto, algumas normas estaduais e municipais, como, por exemplo, o Sistema Cartográfico Municipal de Feira de Santana - SICAFS e o Sistema Cartográfico Metropolitano da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. – EMPLASA e o Sistema Cartográfico da Região Metropolitana de Salvador - SICAR/RMS da Companhia de Desenvolvimento Urbano da Bahia – CONDER.

De acordo com IBGE (2007), normas para o mapeamento cadastral deveriam ter entrado em vigor em 2008, segundo o Comitê de Normatização do Mapeamento Cadastral, criado no final de 2006. Assim, com a criação destas normas, espera-se que em breve seja possível uma classificação oficial e padronizada para as escalas destinadas ao mapeamento cadastral. Até o momento nada foi publicado. No final de 2008 a CONCAR divulgou o edital de pregão eletrônico N°. 87/2008 destinado a contratação de empresa para elaboração de proposta de especificação técnica para Mapeamento Cadastral Municipal. Porém, existe por parte do Ministério das Cidades uma proposta de sistematização.

A crítica a ser realizada sobre esta contratação é de que a empresa que vence o pregão é a que apresenta o menor preço. O que se prevê é que a empresa vencedora enviará os procedimentos utilizados dentro da empresa participante. Portanto, a Comissão de Cartografia Nacional - CONCAR tem como diretrizes do então formado Comitê de Normatização do Mapeamento Cadastral (CONCAR, 2009):

- Pesquisar, analisar e consolidar as iniciativas e normas existentes no mercado nacional e internacional em relação a normas e especificações técnicas para estas escalas,
- Apresentar uma proposta de norma à sociedade condizente com as necessidades e padrões já existentes e em uso,
- Assessorar a CONCAR com orientações e recomendações para orientações sobre normas para mapeamento cadastral.

Esperava-se que este Comitê de Normatização do Mapeamento Cadastral formasse grupos de trabalhos, seminários, entre outras atividades que agrupassem tanto a comunidade científica quanto a empresarial, de forma a discutir qual seria o ideal para esta normatização.

Apesar no advento da criação do Comitê de Normatização do Mapeamento Cadastral em 2007 (CONCAR, 2009), de acordo com a primeira ata de reunião do grupo, foram convidados participantes do IBGE, Ministério das Cidades - MCidades, Diretoria de Serviço Geográfico - DSG, Associação Nacional das Empresas de Aerolevantamentos - ANEA, Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo - IGC SP, Instituto de Geociências Aplicadas de Minas Gerais - IGA MG, Companhia de Desenvolvimento Urbano da Bahia - CONDER, Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA - EMPLASA SP, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos do Rio de Janeiro - IPP RJ, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT e Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Porém, verifica-se que foi a única reunião e as atividades deste comitê finalizaram na contratação do serviço através de um pregão. Considera-se um retrocesso dentro das tentativas de melhorar as atividades que tangem a Cartografia e o Cadastro Técnico. Espera-se que os resultados propostos pela empresa vencedora do pregão sejam avaliados pelas instituições acima citadas e que a empresa leve em consideração todos os esforços destas instituições em normalizar o mapeamento cadastral.

### **2.1.3 Projeções Cartográficas utilizadas na Cartografia em escala grande**

A figura que mais se aproxima da representação da Terra é o elipsóide, que pode ser expressa por uma esfera para escalas pequenas.

Numa representação plana para superfície terrestre, em que cada ponto da superfície terrestre terá um, e apenas um ponto correspondente na carta ou mapa. Os métodos empregados para se obter esta correspondência são os chamados Sistemas de Projeções Cartográficas.

O armazenamento de dados de mapeamento em meio digital, com a adoção de um único Sistema Geodésico de Referência, aumentam as possibilidades a respeito da possibilidade de armazenamento de mapas digitais não projetados, inserindo a projeção somente quando for imprimir estes dados. Mesmo sendo um processo possível, no entanto, não é usual. Maiores informações podem ser encontradas em GREJNER (2000) e MOSTAFA (2002). Isso deveria ser adotado como um padrão na Cartografia em meio digital, pois não existe muito senso em impor mais um tipo de distorção proveniente das projeções, uma vez que para dados armazenados em meio digital só necessitariam de projeção quando fossem impressos.

Muito se discute a respeito da projeção ideal ao Cadastro Urbano. Ao analisar as projeções cartográficas utilizadas no Cadastro Urbano. NOGUEIRA (2006) afirma que como não existem normas para cartas em escalas maiores que 1:25.000, cada órgão licitante, Estadual ou Municipal escolhe um sistema de projeção cartográfica diferente. Curitiba, Rio de Janeiro, São Paulo e Recife usaram a projeção UTM nas suas cartas cadastrais. A capital do Pará, Belém ao organizar pela primeira vez uma cartografia cadastral (1997 – 2000), optou por utilizar projeção LTM, assim como outras diversas cidades de menor expressão nacional, que pela primeira vez tiveram seu território urbano cartografado em escala grande (1:2.000).

Até hoje a projeção UTM foi a mais utilizada para os levantamentos cadastrais em todo território brasileiro, proveniente de uma extrapolação da legislação cartográfica - Decreto nº. 89.817 de 20 de junho de 1984 - que a prescreve para cartas e mapas para escalas menores que 1:25.000.

A Projeção Transversa de Mercator – TM tem suas raízes no século XVIII. Foi bastante utilizada no século XIX na Europa e Brasil, a partir de 1932. Mercator idealizou a projeção, com características de manutenção loxodrômica. O nome Universal é devido à utilização do elipsóide de *Hayford* (1924), conhecido como elipsóide Universal por ser um modelo matemático de representação do globo terrestre. Transversa é o nome dado à posição ortogonal do eixo do cilindro em relação ao eixo menor do elipsóide. Mercator (1512-1594), considerado pai da Cartografia, foi o idealizador da projeção que apresenta os paralelos como retas horizontais e os meridianos como retas verticais, onde azimute entre dois pontos é apresentado com o mesmo valor.

A projeção Universal Transversa de Mercator - UTM foi recomendada pela União Internacional de Geodésia e Geofísica - IUGG para escalas pequenas e médias. A cartografia brasileira adotou o sistema UTM em 1955 para o mapeamento sistemático do país em escala menor que 1:25.000.

As principais características do sistema UTM são:

- a) A Terra é dividida em 60 fusos de 6° de longitude, numerados a partir do anti-meridiano de Greenwich (180°), seguindo de oeste para leste até o fechamento neste ponto de mesma origem;
- b) Cada fuso possui um meridiano central – MC, que o divide exatamente ao meio, sendo o seu valor igual ao do limite inferior do fuso, mais 3 graus;
- c) A contagem das coordenadas é idêntica em cada fuso e tem sua origem a partir do cruzamento entre a linha do Equador e o meridiano central do fuso;
- d) A extensão em latitude vai de 80° Sul até 84° Norte.

De acordo com PHILIPS (1997) aplicando esta projeção no mapeamento em escalas grandes, por exemplo, na escala 1:1.000 são encontradas deformações, que podem chegar a valores de até um metro por quilômetro e podem ocorrer em qualquer escala.

Outras projeções derivam da TM, as quais podem-se citar a Local Transversa de Mercator – LTM e a Regional Transversa de Mercator – RTM. Estas projeções pertencem à mesma lei de formação da UTM (conforme, cilíndrica, secante). Facilitando o entendimento de sua implantação e facilidade na realização de cálculos necessários para transformação entre as projeções.

Segundo NOGUEIRA (2006) “a projeção Local Transversa de Mercator - LTM é uma modificação do Sistema UTM, criada com o intuito de aumentar a acurácia na representação cartográfica de forma a torná-la compatível com as atividades que requerem mais precisão nas medidas, como os projetos de engenharia. Na LTM cada fuso de 6° foi subdividido em fusos de 1° de amplitude, o que diminuiu o módulo de deformação da escala no meridiano central do fuso de  $k_0 = 0,9996$  para  $k_0 = 0,999995$ . É indicado para Cartas em escala grande como aquelas do mapeamento cadastral”.

ROCHA (1994) defende que a Projeção Regional Transversa de Mercator - RTM apresenta as principais características que proporcionam a sua adoção em trabalhos cadastrais, pois pertence à mesma lei de formação da projeção UTM (conforme, cilíndrica, secante).

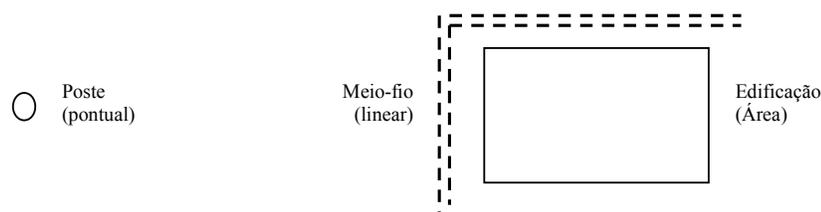
As características do Sistema RTM são idênticas ao Sistema UTM diferenciando-se deste em alguns aspectos como:

- a) Fusos de 2° de amplitude (180 fusos);
- b) Meridiano Central: nas longitudes de grau ímpar;
- c) Coeficiente de deformação no MC,  $k_0 = 0,999995$ ;
- d) Origem das coordenadas plano retangulares: Na interseção do plano do equador com meridiano central do fuso; sendo  $N = 0$  para o hemisfério norte,  $N = 5.000.000\text{m}$  para o hemisfério sul e  $E = 400.000\text{m}$ .

#### 2.1.4 Representação Cartográfica na Cartografia em escala grande

Ao contrário do que muitos imaginam a Cartografia em escala grande faz o uso de simbologia em suas representações.

A produção de cartas em escala grande, em sua maioria, é feita por procedimentos padronizados da Fotogrametria, em empresas especializadas. A maioria dos pesquisadores como BOS (1984), KEATES (1998) afirmam que a Cartografia em escala grande se resume apenas na utilização das primitivas gráficas ponto, linha e área, como na figura 1. Reservando a utilização de símbolos e variáveis visuais somente para a Cartografia Temática.

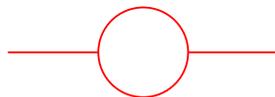


**Figura 1:** Primitivas gráficas utilizadas nas representações em escala grande

A respeito das feições representadas em Cartografia em escala grande destinada as Cartas Cadastrais Urbanas. FERNANDES (2006) apresentou uma proposta de categorização das feições. Esta proposta foi embasada em estudos feitos por BERTINI (2003), BLACHUT et al (1979), BURITY et al (1999), CTCG (1996), FERRARI (1997) e também pela mesma autora, de acordo com cartas cadastrais urbanas do Brasil. Neste trabalho foi avaliada a representação cartográfica que vem sendo utilizada na cartografia cadastral urbana brasileira. Como resultado desta avaliação, apresentou-se uma proposta de normatização da simbologia. No processo metodológico de pesquisa, foram analisadas nove cartas do mapeamento cadastral urbano de diversas cidades brasileiras, adquiridas em empresas produtoras de cartografia e cadastro técnico, além de dois exemplares de cartas provenientes da Alemanha. Efetuou-se a análise da representação das diferentes feições a partir da observação da cor, tamanho, textura e nomenclatura. Foi observado que, de acordo com a cognição do usuário, existe pouca preocupação com as feições a serem utilizadas; além disso, constatou-se que o meio de disponibilização dos dados foi negligenciado na composição da maioria das cartas. Considerando as análises realizadas, foi possível

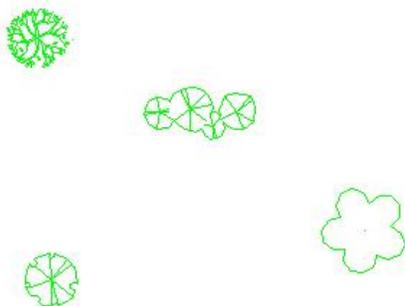
indicar as categorias e feições mínimas necessárias para cartografia cadastral urbana, assim como a elaboração de uma proposta para normatização da simbologia em meio digital. Algumas destas propostas de simbologia para Cartografia em escala grande encontram-se a seguir.

FERNANDES (2006) sugere a utilização do símbolo para poste conforme a figura 2, pois apresenta adequada representação ao analisar a situação real de um poste no terreno quando visto em planta. Quanto à associação a alguma cor, a utilização da cor vermelha é bastante interessante, pois remete a um destaque daquela feição, sendo que os equipamentos de alta tensão requerem cuidados, por apresentarem riscos de acidentes, incluindo assim uma informação temática à feição representada por simbologia.



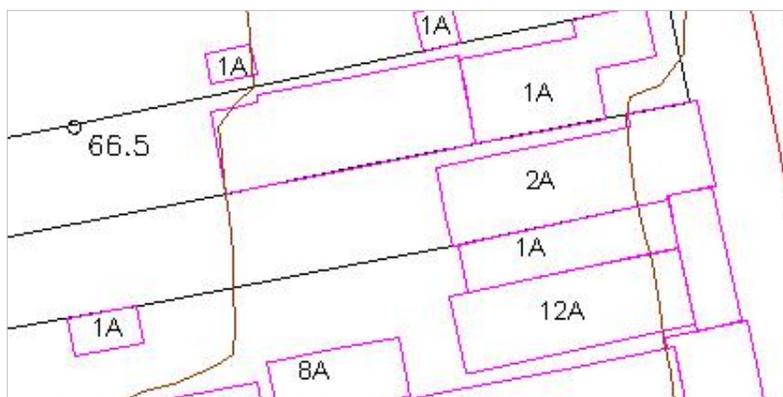
**Figura 2:** Símbolo sugerido para poste

Para representação das árvores em cartas em escala grande sugeriu-se o símbolo que representa a copa da árvore para representação em cartas urbanas, como na figura 3. A cor proposta é a verde, que é a cor convencional para representação de vegetação.



**Figura 3:** Símbolo sugerido para árvore

Outra simbologia a ser exemplificada é a das edificações. Como proposta, é sugerida a utilização de símbolos lineares representados na cor vermelha ou magenta, que está fortemente associado para representação de feições artificiais. Considera-se interessante à utilização de símbolos pictóricos em alguns casos, para facilitar a identificação de alguns serviços essenciais como hospitais, escolas, entre outras. Também se sugere a utilização de símbolos associados a caracteres alfanuméricos, termo sugerido por BOS (1984). Esta solução utiliza símbolos compostos de letras e números, conforme a figura 4. Muitas vezes, abreviaturas são usadas para dar a identificação das feições específicas. Um exemplo desta sugestão pode ser aplicado para a representação do número de pavimentos de uma edificação, informação importante para as prefeituras, quanto ao cálculo do Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU. Mas, cabe salientar que todo projeto cartográfico deve se ter em mente a necessidade do usuário. Uma solução como esta também poderia tornar-se conflitante se numa carta houvesse a presença de grande quantidade de outros topônimos, mas com as tecnologias atuais utilizadas para representação possibilitam a seleção de quais as feições se necessitam ser impressas na carta.



**Figura 4:** Utilização de símbolos associados a caracteres alfanuméricos.

Para símbolos lineares é indicada a utilização de cores que possuam um maior contraste com a base (papel), que geralmente é branco. Também geralmente são encontradas as utilizações das cores azul, preto e amarelo. O azul é pouco indicado, devido a ser associado a elementos hidrográficos, como rios, tanques e lagos. Quanto à utilização da cor preta, esta causaria saturação com os outros elementos como topônimos, elementos pontuais, movimentos de terra. Quanto ao amarelo, não é indicado para símbolos pontuais e lineares, principalmente se a base de impressão (papel) seja na cor branca. A utilização da cor amarela se deve à utilização dos Sistemas CAD para produção destas cartas, uma vez que o *background* na cor preta favorece ao operador do sistema CAD, o fato do produto final ser impresso numa base de cor branca, é negligenciada nestes casos. Na figura 5 é apresentada a utilização da cor amarela para representação das edificações, numa base em branco e em preto. Através da troca da cor do *background* para branco, pode-se verificar o desfavorecimento da utilização desta solução para esta representação.



**Figura 5:** Representação das edificações na cor amarela, com o *background* em preto e branco.

Para aprofundamento deste tópico, verificar em FERNANDES (2006) onde uma proposta para 45 símbolos foram analisados e propostos para Cartografia em escala grande em meio digital.

### **2.1.5 Avaliação da Qualidade Cartográfica**

O termo “qualidade”, utilizado nas mais variadas situações, nem sempre é de definição clara e objetiva, estando geralmente relacionado à excelência de um produto ou serviço e/ou à capacidade deste em satisfazer seus clientes (ISO, 2000).

De acordo com normas e padrões internacionais, a descrição da qualidade de dados espaciais ou geográficos compreende diversas componentes (completude, consistência lógica, exatidão posicional, exatidão temporal e exatidão temática), às quais estão associados diferentes sub-elementos ou aspectos (como, por exemplo, comissão e omissão para completude e, absoluta ou relativa para exatidão posicional) (ISO, 2000). Para BURITY & SILVEIRA (2003), tais componentes e aspectos permitem descrever o quanto uma base de dados espaciais satisfaz determinados critérios especificados.

A análise da exatidão cartográfica se baseia na análise das discrepâncias entre as coordenadas de pontos retirados da carta e as coordenadas dos pontos homólogos obtidos a partir de observações realizadas em campo, por meio de métodos de maior qualidade consideradas como coordenadas de referência. De posse destas discrepâncias, diversos procedimentos podem ser utilizados para a análise da exatidão.

É importante ressaltar que o presente Decreto nº. 89.817, de 20 de junho de 1984 foi estabelecido tendo como base o disposto nos artigos 2º, 5º (incisos 4 e 5) e 18 do Decreto-Lei nº. 243/67, tratando, respectivamente, do Sistema Cartográfico Nacional, da Comissão de Cartografia e das Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Terrestre Nacional. Logo, a classificação apresentada anteriormente deve, necessariamente, ser aplicada às séries de cartas gerais que compõem a Cartografia Sistemática Terrestre, ou seja, aquelas compreendidas pelas escalas padrão desde 1:1.000.000 até 1:25.000 e, cujas Normas Técnicas, já foram estabelecidas pelos órgãos federais competentes (IBGE e DSG).

O artigo 9º do Decreto indica que as cartas devem ser classificadas, segundo sua exatidão, como Classe A, B ou C.

Conforme o Artigo 7º do atual Decreto, "as cartas em escalas superiores a 1:25.000 terão articulação, formato e sistema de projeção regulados por norma própria", o que sugere, que o estabelecido pelo referido Decreto não compreende tais séries de cartas. Ressalta-se, no entanto, que as entidades privadas geradoras de produtos cartográficos, costumam, justamente pela falta de uma "norma própria", aplicar o estabelecido pelo atual Decreto também para as cartas em escalas maiores que 1:25.000.

#### **2.1.5.1 Pontos de referência do terreno e na carta**

Para que a classificação da carta seja realizada com segurança, deve-se saber qual a qualidade necessária na determinação dos pontos de referência. Esta qualidade depende da escala e da classe esperada para a carta. Segundo MERCHANT (1982) os pontos de referência devem ser determinados por procedimentos no qual o erro não seja superior a 1/3 do erro padrão esperado para a classe da carta.

**Quadro 3:** Padrão de exatidão planimétrico e erro padrão para as classes A, B e C.

	Classe A	Classe B	Classe C
PEC Planimétrico <sup>(1)</sup>	0,5 mm <sup>(1)</sup>	0,8 mm <sup>(1)</sup>	1,0 mm <sup>(1)</sup>
Erro-padrão <sup>(1)</sup>	0,3 mm <sup>(1)</sup>	0,5 mm <sup>(1)</sup>	0,6 mm <sup>(1)</sup>

Fonte: BRASIL (1984) <sup>(1)</sup> na escala da carta

### 2.1.5.2 Análise estatística

Diversos são os critérios que podem ser utilizados na análise da exatidão cartográfica.

Conforme GALO & CAMARGO (1994) e DALMOLIN & LEAL (2001) é importante diferenciar exatidão (acurácia) de precisão. A precisão está ligada com a dispersão das observações em torno do valor médio, enquanto que a acurácia ou exatidão está relacionada com a proximidade do valor real, ou seja, sem influência de erros sistemáticos.

### 2.1.5.3 Análise de tendências

Para a análise de tendência e precisão são descritos os procedimentos baseados em MERCHANT (1982). A análise da exatidão da carta é baseada na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas observadas no mapeamento e as coordenadas de referência, calculada para cada ponto  $i$  por:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^r \quad \text{Eq. 01}$$

A média, bem como o desvio-padrão das discrepâncias amostrais devem ser calculados por:

$$\Delta \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad \text{Eq. 02}$$

$$S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \Delta \bar{X})^2} \quad \text{Eq. 03}$$

No teste de tendência podem ser avaliadas as seguintes hipóteses:

$$\begin{aligned} H_0: & \quad \Delta \bar{X} = 0 \\ H_1: & \quad \Delta \bar{X} \neq 0 \end{aligned} \quad \text{Eq. 04}$$

Para este teste deve-se calcular a estatística amostral “t”, e verificar se o valor de t amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula.

O valor de t amostral deve ser calculado através de:

$$t_X = \frac{\Delta \bar{X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \quad \text{Eq. 05}$$

E o intervalo de confiança por:

$$|t_X| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad \text{Eq. 06}$$

Uma vez que a estatística amostral  $t$  esteja fora do intervalo de confiança, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, a carta não pode ser considerada como livre de tendências significativas na coordenada testada, para um determinado nível de confiança.

#### 2.1.5.4 Análise da precisão

A análise da precisão pode ser feita comparando-se o desvio-padrão das discrepâncias com o erro padrão (EP) esperado, para a classe na qual se deseja testar.

Portanto o teste de hipótese a ser formulado é o seguinte:

$$\begin{aligned} H_0: S_{\Delta X}^2 &= \sigma_X^2 \\ H_1: S_{\Delta X}^2 &> \sigma_X^2 \end{aligned}$$

Eq. 07

O termo  $S_{\Delta X}$  corresponde ao desvio-padrão esperado para a coordenada  $X$ , que nada mais é do que o erro-padrão esperado para aquela classe. Considerando que o erro-padrão é fixado não para uma coordenada, mas para a resultante, considera-se para os testes planimétricos:

$$\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}}$$

Eq. 08

Uma vez calculada a variância esperada pode-se calcular a seguinte estatística:

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

Eq. 09

e verificar se o valor acima calculado está no intervalo de aceitação, ou seja:

$$\chi_X^2 < \chi_{(n-1, \alpha)}^2$$

Eq. 10

Se a Eq. 10 não for obedecida, rejeita-se a hipótese ( $H_0$ ) de que a carta atenda à precisão pré-estabelecida.

## 2.2 CADASTRO TÉCNICO NO BRASIL

PHILIPS (1996) quando analisa o Cadastro Técnico no Brasil retrata que até o presente momento, não existe um órgão público e oficial com responsabilidade legal sobre os produtos gerados nas atividades cadastrais. Não existe um cadastro público, unificado, padronizado, multifuncional e moderno, com o registro de todos os dados técnicos, legais e gráficos, além de não existir normas técnicas e legislações rígidas especialmente para o Cadastro Técnico. Mesmo assim, as empresas situadas no Brasil, públicas e privadas, têm a necessidade de instalar um sistema gráfico que permita relacionar seus registros em banco de dados com posições geográficas espacializadas.

Geralmente, existe uma grande dificuldade em se conseguir uma base de dados geometricamente adequada, de forma confiável, completa e atualizada. Caso a informação desejada for relacionada a propriedades imobiliárias, muitas vezes, estas instituições levantam as bases geométricas desejadas com

seus próprios recursos, havendo assim, repetições no levantamento de um mesmo imóvel. Desta maneira, criam-se sistemas inconsistentes, pois, entre os levantamentos da companhia de telecomunicações e o levantamento independente do sistema de água e esgotos, haverá diferenças geométricas causadas por sistemas de referência diferentes, conceitos diferentes de levantamento, instrumentos de medições dos mais variados, formação diferenciada de recursos humanos, até diferentes graus de atualização e diferença de interesses nos dados obtidos. Assim, no Brasil, órgãos como: Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL, Companhia de Água e Saneamento - CASAN, Prefeitura Municipal com o Imposto Predial e Territorial - IPTU, que atuam num mesmo local, mas com bases não necessariamente compatíveis, existindo diversos problemas quando se associam estes dados. Além disso, somando-se ao fato de que não existe uma legislação nacional para que seja feita uma padronização dos produtos cartográficos digitais e em escala grande.

Uma iniciativa na área Cadastral aconteceu no país com o advento da Lei 10.267, de 2001 que estabelece o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais - CNIR, que é de responsabilidade do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA. No entanto, algo semelhante não existe para o Cadastro Técnico Urbano.

ERBA (2005) ao analisar o Cadastro no Brasil afirma que o Cadastro - como atividade do Estado - tem que ser visto como uma obra pública. Merecendo toda a atenção, para que antes de começar a executá-la, sejam efetuados minuciosos estudos dos seus objetivos e interações com a vida do Estado e dos particulares. A maior parte da responsabilidade do Brasil em ter um sistema de publicidade imobiliária ineficiente recai no reduzido número de profissionais com formação cadastral e na falta de legislação específica, embora, no caso rural, a nova estrutura do Sistema Nacional de Cadastro Rural, instituída pela Lei 10.267, de 2001, represente um caminho contundente de mudança.

A pesquisa científica na área de Cadastro Técnico Multifinalitário surgiu no Brasil, basicamente na década de 70, após iniciativas de parceria com o governo alemão, implantado nas Universidades Federal do Paraná - UFPR e de Pernambuco - UFPE. Na UFPR já existia o Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e na UFPE funcionava o Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica. Somente no final da década de 80, diante da necessidade de profissionais habilitados para trabalhar e estudar as necessidades da conjuntura atual do Cadastro no Brasil criou-se o primeiro Curso de Pós-Graduação em Cadastro Técnico Multifinalitário de toda América Latina, situado no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de Florianópolis. Este Programa de Pós-Graduação forma recursos humanos - Mestres e Doutores em Engenharia - com respaldo científico para analisar as necessidades do cadastro brasileiro e propor soluções (PPGEC, 2005).

As discussões a respeito de Cadastro tiveram início no Brasil entre o meio científico através do Simpósio Internacional de Experiência Fundiária, ocorrido em Salvador no ano de 1984. Anos depois ocorreu o I SENCTRU - Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural e Urbano - Curitiba/PR, Brasil - 1987. Estes encontros deram início a outros eventos, e o Cadastro vem se tornando cada vez mais discutido, em eventos técnicos científicos como: I Seminário Paranaense sobre Cadastro Técnico e Planejamento Municipal, realizado em Curitiba/PR, no ano de 1991; I Simpósio Brasileiro de Cadastro

Multiuso, realizado em São Paulo/SP, no ano de 1990. E o Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC desde 1994.

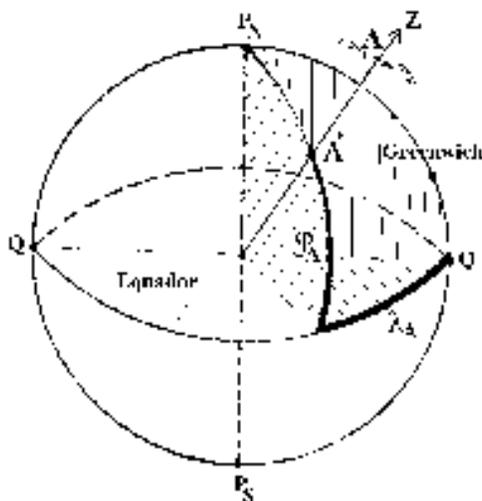
## 2.3 SISTEMAS DE COORDENADAS GEODÉSICAS

Independente do método utilizado para se representar ou projetar uma determinada superfície no plano, deve-se definir um sistema de coordenadas que sirva de referência, garantindo uma concordância das coordenadas na superfície física da Terra. Quando se deseja representar espaços 3D através, de coordenadas esféricas são adotados sistemas de coordenadas esféricas e a eles deverá estar associado um sólido geométrico, de forma e dimensões próximas a da Terra.

Na determinação da forma e dimensões da Terra, faz-se necessário o relacionamento dos espaços abstratos com a superfície física da Terra. Com este objetivo, a realização prática é feita através do estabelecimento de pontos que conseqüentemente terão suas coordenadas referidas a um sistema de referência.

### 2.3.1 Coordenadas Geográficas e Coordenadas Geodésicas

As coordenadas geográficas latitude e longitude são coordenadas curvilíneas (expressas em unidades angulares como graus, minutos e segundos). Uma definição é apresentada a seguir, com base em COLLIER et al (1996) e na figura 6, o qual determina um ponto A como arbitrário.



**Figura 6:** Definição de Latitude, Longitude

- Latitude ( $\phi_A$ ): é o ângulo entre o plano equatorial e a normal elipsoidal. A latitude é positiva ao norte do equador e negativa ao sul.

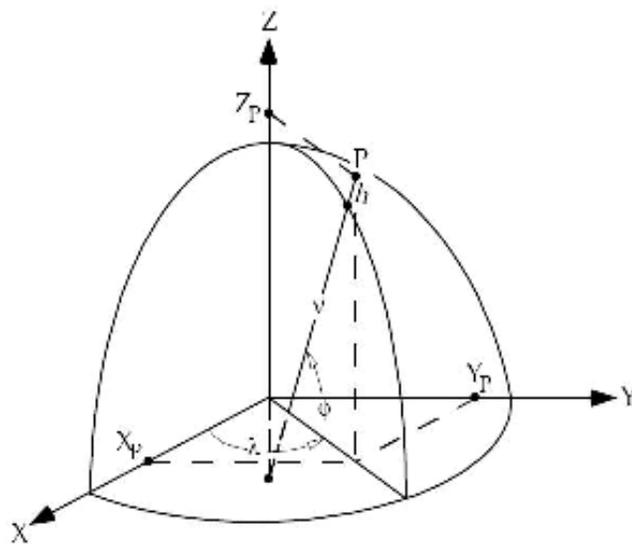
- Longitude ( $\lambda_A$ ): é o ângulo entre o plano do meridiano zero (Greenwich) e o plano meridiano que contém o ponto A, medido no plano equatorial. A longitude é positiva a leste de Greenwich e negativa a oeste.

Os valores para latitude e longitude são funções de tamanho, forma e elipsóide de referência. Assim, os valores das coordenadas são dependentes da definição do *Datum*. Para um dado *Datum* a latitude, e a longitude é a única definição para a localização de um ponto (P') na superfície do elipsóide. A terceira dimensão da localização é a altitude elipsoidal.

As coordenadas geodésicas de um ponto são definidas como as coordenadas elipsoidais sobre um elipsóide de referência, sobre o qual projeta-se o ponto da superfície. A latitude geodésica é a inclinação da normal ao elipsóide que contém o ponto em questão com relação ao plano equatorial do mesmo. O meridiano geodésico é definido como o plano que contém esta normal e o eixo menor do elipsóide de referência. Finalmente, a longitude geodésica de um ponto é o ângulo entre o plano meridiano geodésico e um meridiano de origem arbitrário.

### 2.3.2 Coordenadas Cartesianas

Os eixos (X, Y, Z) de um elipsóide com origem num sistema cartesiano que são mostrados na figura 2. A localização do ponto P pode ser unicamente expressa pela relação destes eixos pelas triplas coordenadas (Xp, Yp, Zp). Através da figura 7 é ilustrada a relação entre as coordenadas geográficas e cartesianas.



**Figura 7:** Relação entre as coordenadas cartesianas e geográficas

Fonte: COLLIER et al (1996)

Um sistema geodésico cartesiano possui origem coincidente com o centro geométrico do elipsóide e este coincidente com o centro de massa da Terra, quando o sistema tem uma concepção global (Sistema Geocêntrico), e não coincidente com o centro de massa da Terra num sistema de concepção regional (Sistema Topocêntrico). O eixo Z é coincidente com o eixo de revolução do elipsóide e é orientado para o Norte. O plano primário corresponde, portando, ao equatorial geodésico. O plano secundário contém o meridiano de referência de longitudes geodésicas PINO (2007).

## 2.4 SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERÊNCIA – SGR

Um SGR pretende referenciar posições à superfície da Terra. Estes sistemas de referência são definidos por instituições responsáveis pela Cartografia Nacional e eram variáveis até a metade do século XX, tão bem como pela comunidade geodésica. A razão para o fato de serem diferentes deve-se ao fato de que cada nação estabelecia seu sistema através de observações astronômicas e outros métodos de levantamento da época.

Um SGR é um sistema coordenado associado a algumas características terrestres. A implantação de um SGR é dividida em duas partes: definição e materialização na superfície terrestre. Com base em MONICO (2008) e ZANETTI (2006) a definição é caracterizada como a concepção do sistema, inclui a determinação de constantes, parâmetros e convenções necessárias para definir em qualquer momento a origem e a posição dos três eixos cartesianos no espaço, assim como parâmetros geométricos e físicos associados ao sistema. A materialização - a qual tem como sinônimo a palavra realização - é composta pela coleta, processamento e análise das observações feitas a partir de pontos definidos fisicamente sobre a superfície da Terra. Pela divulgação dos resultados, que é essencialmente, um conjunto de coordenadas, e respectivas estimativas de erros, associados a uma época em particular, criando a estrutura ou a rede de referência.

### 2.4.1 SGR – Aspectos Geométricos

Um SGR é definido via os parâmetros geodésicos fundamentais obtidos de observações realizadas na Terra: Semi-eixo maior do elipsóide;  $J_2$  – Fator dinâmico de forma;  $GM$  – Constante gravitacional geocêntrica e  $\omega$  - Velocidade angular da Terra.

Segundo FREITAS (2005) estes parâmetros visam estabelecer um modelo da forma, dimensões e campo da gravidade e suas variações temporais. O estabelecimento do eixo e rotação do elipsóide de revolução como coincidente com o eixo de rotação da Terra e o centro do sistema coincidente com o centro de massa terrestre para uma dada época, formam um *Convencional Terrestrial System* – CTS.

Do ponto de vista da Cartografia, os aspectos mais relevantes da definição do SGR são os relacionados com a superfície de referência elipsóidica melhor ajustada à forma e dimensões da Terra e a orientação espacial da superfície. A forma e dimensões desta superfície elipsóidica de referência podem ser definidas pelas grandezas  $a$  – semi-eixo maior,  $\alpha$  - achatamento sendo:

$$\alpha = (a-b)/a \text{ ou } \alpha = f(J_2)$$

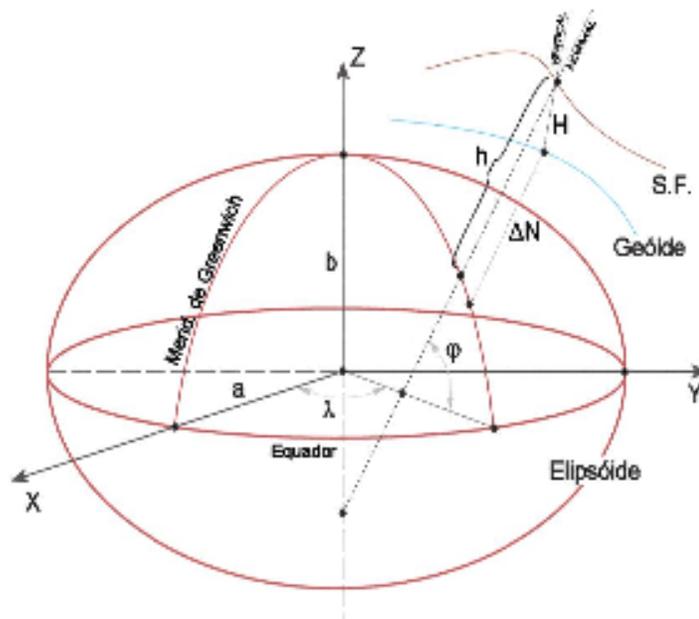
Eq. 11

Nesta expressão  $b$  é o semi-eixo menor do elipsóide. Esta superfície é base das coordenadas geodésicas: latitude -  $\varphi$  e longitude -  $\lambda$  e para as alturas que são diferenciadas como altitude ortométrica -  $H$  referida ao geóide e elipsóidica -  $h$ , referida ao elipsóide, conforme a figura 8. De forma aproximada e usada na prática, as altitudes ortométrica e elipsóidica são relacionadas pela expressão:

$$H \approx h - N$$

Eq. 12

Onde  $N$  é a ondulação do geóide, obtida a partir de cartas geoidais.



**Figura 8:** Superfície Elipsóidica de Referência e Coordenadas Geodésicas de um Ponto na Superfície Física – SF da Terra.

#### 2.4.2 Sistemas de Referência Clássicos

A determinação de posições precisas sobre a superfície terrestre através dos métodos clássicos em geodésia tradicionalmente, implicou na necessidade de adoção de dois SGR independentes: um horizontal e outro vertical. O SGR vertical fornece a referência para a determinação precisa dada à componente altimétrica, enquanto o SGR horizontal fornece a referência para a determinação precisa das componentes horizontais latitude e longitude (IBGE, 2000).

Um SGR horizontal clássico, topocêntrico é definido por um elipsóide de revolução e seu posicionamento no espaço. O elipsóide é escolhido de forma a garantir sua adaptação ao geóide na região de interesse. Os parâmetros definidores do sistema, orientação, posicionamento e forma, estão vinculados a um ponto na superfície terrestre, denominado *Datum* e aos parâmetros de forma do elipsóide, semi-eixo maior e achatamento. O centro deste elipsóide não coincide necessariamente com o centro de massa da Terra. Os sistemas Córrego Alegre, Astro *Datum* Chuá e SAD69 são exemplos de SGR de concepção clássica.

De acordo com ZANETTI (2006) nas redes de referência clássicas, a materialização da posição horizontal de pontos na superfície terrestre foi realizado através de métodos tradicionais como poligonização, triangulação, trilateração e o posicionamento altimétrico através de nivelamento geométrico ou trigonométrico. Como os posicionamentos horizontal e vertical, de precisão, não ocorrem simultaneamente, adotam-se duas redes geodésicas de referência, uma horizontal, que fornece a referência para as coordenadas horizontais como latitude e longitude e outra vertical, referência para a altimetria.

Segundo FREITAS (2005) tanto a variação da forma e dimensões da superfície de referência quanto da sua orientação em relação a Terra, implicam em variações das coordenadas para um mesmo

ponto na superfície física. A orientação da superfície elipsóidica de referência pode ser local, buscando um melhor ajuste a determinada região ou global para melhor ajuste a todo o planeta. O SGR é realizado, ou disponibilizado para os usuários via as redes geodésicas de referência, fundamentais e derivadas das fundamentais. Antes do advento da era espacial, a possibilidade de determinação do modelo quanto sua orientação era restrita ao nível local, uma vez que os métodos de observação não possibilitavam o estabelecimento de bases longas que permitissem a conexão entre continentes e, por conseguinte de redes globais. A chamada orientação topocêntrica de um SGR consistia em estabelecer um ponto *Datum*, efetivando neste a determinação da latitude astronômica  $\varphi_A$ , longitude astronômica  $\lambda_A$ , a sua altitude  $H$  e o azimute astronômico  $Az_A$  de uma base e a partir destas grandezas obterem a latitude geodésica, a longitude geodésica e o azimute geodésico  $A$  por intermédio das expressões:

$$\xi = \varphi_A - \varphi$$

Eq. 13

$$\eta = (\lambda_A - \lambda) \cos\varphi$$

Eq. 14

$$A = A_A - (\lambda_A - \lambda) \operatorname{sen}\varphi$$

Eq. 15

sendo  $\xi$  e  $\eta$  respectivamente as componentes meridiana e primeiro vertical (leste – oeste) do ângulo  $i$  de deflexão da vertical em relação à normal. A altitude elipsóidica pode ser obtida por intermédio da (Eq.14). Os valores de  $N$ ,  $\xi$  e  $\eta$  que atuam como parâmetros de orientação na forma clássica de estabelecimento dos SGRs, são sistemas com orientações locais parcial ou totalmente arbitradas.

Na forma clássica de definição dos SGRs existe a implicação de que mesmo com a adoção dos mesmos parâmetros definidores de uma superfície de referência, sua orientação acaba sendo diversa para cada uma das regiões do planeta. Adicionalmente, deve ser considerado, que diversos modelos elipsóidicos foram adotados como superfície de referência com orientações locais e diferentes qualidades na realização das redes por todo o planeta. Grande parte dessas redes está ainda em uso em diversos países e mesmo diferentes redes convivem em um mesmo país Este fato cria problemas consideráveis quando se fazem necessárias comparações de coordenadas em diferentes SGRs ou transformações entre eles tais como na definição de limites para áreas em diferentes sistemas, atualizações cartográficas, geração de bases cartográficas.

O conjunto de pontos ou estações terrestres forma as chamadas redes geodésicas, as quais representam a superfície física da Terra na forma pontual (CASTAÑEDA,1986). O posicionamento 3D de um ponto estabelecido por métodos e procedimentos da Geodésia Clássica (triangulação, poligonação e trilateração) é incompleto, na medida em que as redes verticais e horizontais caminham separadamente. No caso de redes horizontais, algumas de suas estações não possuem altitudes, ou as altitudes são determinadas por procedimentos menos precisos.

### 2.4.3 Sistemas de referência modernos

No final do século XX, os sistemas geodésicos de referência “clássicos” foram substituídos por tecnologias espaciais como, por exemplo, *Very Long Baseline Interferometry* - VLBI, *Lunar Laser Ranging* - LLR, *Satellite Laser Ranging* - SLR e *Global Navigation Satellite System* - GNSS. Através destas tecnologias podem-se obter parâmetros necessários para posicionamento global. Segundo NETTO et al (2003) o conceito moderno para Sistema Geodésico de Referência é um sistema constituído por redes de referência. Estas redes são pontos materializados no terreno cujas coordenadas são determinadas através de técnicas espaciais. Estas redes podem ser globais - como o caso do ITRF, continentais – o SIRGAS2000, por exemplo, nacionais – como a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC e regionais como a Rede Geodésica de Alta Precisão do Estado de Santa Catarina.

De acordo com CASACA et al (2000) um referencial geodésico moderno apresenta as seguintes características: sua definição pressupõe a adoção de um elipsóide de revolução cuja origem coincide com o centro de massa da Terra e com eixo de revolução coincidente com o eixo de rotação da Terra. A sua materialização se dá mediante o estabelecimento de uma rede de estações geodésicas com coordenadas tridimensionais. Estas coordenadas, por sua vez, são estabelecidas através de técnicas de posicionamento espacial de alta precisão, tais como VLBI, SLR e GNSS. Sendo assim, as medidas estão relacionadas a um sistema cartesiano tridimensional com origem no geocentro. O *International Terrestrial Reference System* - ITRS é um exemplo de referencial moderno baseado nas técnicas de posicionamento citadas. As suas realizações recebem a denominação dada à materialização do ITRF, que vem acompanhada pelo ano (yy) em que foi estabelecida. Por exemplo, ITRF94 para a realização referente ao ano de 1994, assim como o *World Geodetic System 1984* - WGS-84 e o SIRGAS2000.

Segundo McCARTHY (2004), um ITRS, é um sistema de referência ideal e tridimensional que acompanha o movimento de rotação da Terra. Quando calculadas relativamente a um ITRF, as coordenadas de pontos fixos sobre a superfície sólida da Terra sofrem apenas pequenas variações no tempo. Estas pequenas variações são devidas à movimentação das placas tectônicas e às deformações da crosta terrestre provocada pela Lua.

O mesmo autor define um *International Terrestrial Reference Frame* – ITRF, como um conjunto de pontos físicos cujas coordenadas, num sistema de coordenadas específico relacionado com um ITRS, foram determinadas com grande precisão. Diz-se que o ITRF é uma realização (uma materialização) do ITRS, em outras palavras, um ITRS define o modo como devem ser criados os ITRF. É usual existirem, para um dado ITRS, uma sucessão de ITRF, cada um dos quais foi determinado utilizando o maior número possível de pontos físicos, bem como os métodos de cálculo, as técnicas e os instrumentos de medição que, à data, eram melhores disponíveis. Desta forma, se obtém uma seqüência temporal de materializações do ITRS, cada uma delas tanto ou mais precisa do que quaisquer umas das que a precederam.

Segundo SAPUCCI & MONICO (2001) citado por MONICO & SEGANTINE (1996) o ITRF é a materialização do ITRS através do ajustamento de várias séries de coordenadas *Set of Station Coordinates* - SSC, e as respectivas matrizes variância-covariância. Essas informações são provenientes de técnicas espaciais como *Satellite Laser Ranging* - SLR, *Lunar Laser Ranging* – LLR e *Very Long Baseline*

*Interferometry - VLBI*. A partir de 1991 o GPS também passou a fazer parte, assim como o *Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite - DORIS* em 1994.

O ITRF possui as seguintes características: a) cartesiano e geocêntrico (sendo que o centro de massa é definido para toda a Terra incluindo os oceanos e a atmosfera); b) a unidade de comprimento é o metro, segundo o Sistema Internacional; c) sua orientação inicial (direção e sentido os eixos) é definida pelo Bureau de l'Heure -BIH para a época de 1984,0; d) a evolução desta orientação no tempo é garantida impondo que a resultante dos movimentos tectônicos horizontais que se verificam em toda a Terra seja nula.

Outra característica importante do ITRF é o fato de que sua definição física não consiste apenas nas coordenadas de um conjunto de estações terrestres, mas inclui também as velocidades com que estas se deslocam, devido às movimentações das placas regionais e continentais.

Embora inicialmente criados para satisfazerem o alto grau de precisão para trabalhos no âmbito da geodinâmica, os *data* da série ITRF vem sendo cada vez mais utilizados como base para os mais recentes *data* geodésicos continentais e nacionais.

A partir desta concepção atual, algumas das questões centrais da Geodésia passaram a ser relacionadas com a transformação de coordenadas entre sistemas com diferentes concepções, e com integração de referenciais, visando à referência espacial de informações com registro em um sistema para a obtenção de produtos em outro sistema. Tal fato decorre das diferenças na definição e realização dos diferentes SGR a serem confrontados (FREITAS, 2005).

Desde o advento das observações por satélite, as determinações de posição no espaço vêm sendo resolvidas de forma simples e eficiente; assim, pode-se facilmente determinar coordenadas referidas a um elipsóide de referência. Na prática, através do satélite, obtém-se coordenadas cartesianas (X, Y, Z) que são transformadas no terno geodésico ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , h), sendo h a altitude elipsoidal, uma grandeza geométrica sem significado físico. Ela é referida à superfície elipsoidal que não é uma superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra real, mas sim do modelo adotado, o elipsóide.

Assim, ocorre a necessidade de utilizar um modelo geoidal para determinação das altitudes ortométricas as quais são utilizadas nas atividades de Engenharia. Com base em DALAZOANA et al, (2003) e FREITAS & BLITZKOW (1999) com a adoção do SIRGAS2000 recomendou que os países da América adotassem como sistema de altitudes, para efeitos do referencial altimétrico do continente, a altitude normal<sup>6</sup>, mas que para efeitos práticos, considera-se a altitude ortométrica. Mais de uma centena de Data Verticais são definidos no mundo, tal que suas posições relativas a um geóide global único deve ser determinada para suas compatibilizações. Desta forma, cada *Datum* possui uma topografia relativamente ao geóide global, a qual deve ser determinada. Para a conexão de redes verticais é necessário conhecer esta topografia em uma mesma época.

---

<sup>6</sup> Altitude normal é distancia entre a superfície física e uma superfície muito próxima ao geóide usada para fins de simplificações de cálculos.

## 2.5 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

O sistema geodésico brasileiro – SGB caracteriza-se por um conjunto de parâmetros. Materializa-se pelo conjunto de coordenadas que representam os controles horizontais e verticais necessários à localização e à representação cartográfica no território brasileiro (SARAIVA et al, 2007).

O referenciamento geodésico de um ponto é feito sobre a superfície de um elipsóide. Cada país pode se utilizar um ou mais elipsóides. A escolha de um elipsóide é feita, geralmente, em função de sua forma e achatamento, buscando a melhor adaptação para o geóide local. O ajustamento do elipsóide é feito sobre pontos geodésicos bem definidos de forma que possam ser usados como *Datum* para todo o sistema de referência. Um *Datum* é definido por cinco parâmetros: vértice de origem, coordenadas, azimute, altura geoidal e elipsóide de referência (FRANÇOSO et al, 2005).

No Brasil, os referenciais planimétrico e altimétrico para a cartografia brasileira são aqueles definidos para o sistema geodésico brasileiro – SGB, estabelecido pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e estatística – IBGE, com suas especificações e normas.

Segundo DALAZOANA (2001), o estabelecimento do primeiro SGB ocorreu na década de 40 e foi sofrendo evoluções compatíveis com o desenvolvimento tecnológico. Até 1991, as materializações do SGB foram obtidas pelos procedimentos clássicos de triangulação e poligonação. A partir desta data, o IBGE adotou o Sistema de Posicionamento Global – GPS em seus trabalhos geodésicos. Em 1996 o IBGE finalizou o projeto de reajustamento da rede geodésica brasileira, integrando no reajustamento de toda a rede continental.

Durante muitos anos no Brasil, utilizou-se o elipsóide de Hayford, tendo como data os vértices geodésicos de Córrego Alegre (Minas Gerais), La Canoa (Venezuela) e Astro-Chuá (Minas Gerais). A partir de meados da década de 70, passou-se a adotar o elipsóide desenvolvido pela Associação Geodésica Internacional 1967 (UGGI-67), estabelecendo um novo *Datum* no vértice VT-Chuá, denominado *South American Datum of 1969 – SAD69*.

Um interessante estudo foi realizado por LAZAROTTO et al (2004) no qual é apresentada numa tabela os principais Sistemas Geodésicos de Referência – SGR horizontais e tridimensionais adotados no Brasil, com suas mais significativas implicações às representações cartográficas. Assim, com base na caracterização da geração geodésica de cada um dos SGR, foi estabelecida uma classificação relativa referente à compatibilidade que cada um dos SGR tem com o SIRGAS2000. Esta classificação conta com as seguintes classes nominais: impossível, muito pequena, pequena, média, grande, muito grande, e total, que associados às classes quantitativas variando de 0 a 7, as quais visam diferenciar quantitativamente o grau de facilidade de migração existente em cada um dos SGR antigos para o SIRGAS2000.

No quadro 4, são verificados os principais SGR adotados no Brasil. Verifica-se que os produtos cartográficos referenciados ao *Datum* Córrego Alegre e Astro *Datum* Chuá apresentam dificuldade de serem compatibilizados ao SIRGAS2000. SAD69 e NWL10-D<sup>7</sup> possuem uma média possibilidade de compatibilização, enquanto o WGS84 e SAD69/96 possuem uma maior facilidade de compatibilização em

---

<sup>7</sup> O SGR NWL10 tem como base o elipsóide NSW 922 que está associado às efemérides precisas do sistema TRANSIT.

virtude de apresentarem as mesmas técnicas de materialização que o SIRGAS2000, que no caso são as técnicas espaciais de posicionamento.

**Quadro 4:** Classificação dos SGRs quanto à compatibilidade com o SGR de “Geração Geodésica” mais atual e vinculado ao SGB – SIRGAS2000

SGR	Origem ( <i>Datum</i> Horizontal)	Vigência	Materialização	Parâmetros de Transformação	Compatibilidade ao SIRGAS2000
Concepção anterior ao SGB	Vértices Locais	1939 - 1950	Elipsóide Hayford (1924)	Não determinados	Impossível (0)
Córrego Alegre (CA)	Vértice Córrego Alegre	Décadas de 50, 60, 70	Elipsóide Hayford (1924)	SAD69	Pequena (2)
Chuí Astro <i>Datum</i>	Vértice: Chuá	Década de 60	Elipsóide Hayford (1924)	-	Muito pequena (1)
SAD69 (Original)	Vértice: Chuá	De 1969 a 1996,5	Elipsóide de Referência Internacional (1967)	Córrego Alegre NSWC9Z2 WGS84	Média (3)
NWL10-D NNSS (TRANSIT)	Geocêntrico	1970-1980	NSWC9Z2	SAD69	Média (3)
WGS84 (Original)	Geocêntrico	1980-1991	WGS84	SAD69	Grande (5)
WGS84 (G730)	Geocêntrico	1991-1994	WGS84 (G730)	-	Muito grande (6)
WGS84 (G873)	Geocêntrico	1994-1996	WGS84 (G873)	-	Muito grande (6)
SAD69 (1996) Reajustado	Vértice: Chuá	1996-2014	WGS84 (G873)	SIRGAS	Grande (5) Muito grande (6)
SIRGAS WGS84 (G150)	Geocêntrico	2004 <sup>8</sup> em diante	Elipsóide GRS80 (ITRF2000)	SAD69 SAD69 (1996)	Total (7)

Fonte: Adaptado de LAZAROTTO et al (2004)

Apesar da apresentação da tabela acima com os principais SGRs brasileiros, cabe salientar que o presente trabalho estará focado somente nos *Data* SAD69/96 e SIRGAS2000, somente estes dois serão abordados com maior aprofundamento neste item.

### 2.5.1 South American Datum of 1969 – SAD69

Com base em COSTA (1999) e OLIVEIRA (1998b) o Instituto Pan-Americano de Geografia e História – IPH, o propósito de um sistema Sul-Americano era o de estabelecer um “*Datum* uniforme para a rede continental de controle para todos os levantamentos de engenharia e trabalhos cartográficos desenvolvidos na região”. Em 1944 foram iniciados os trabalhos para se atingir este ideal, mas somente em 1969 se deu a definição do SAD69, durante a XI Consulta Pan-Americana em Cartografia, em Washington. Apenas em 1979 ele foi oficialmente adotado como sistema de referência para trabalhos geodésicos e cartográficos desenvolvidos em território brasileiro.

<sup>8</sup> Vigência do SIRGAS: Novembro de 2004 somente para a Rede SAD69 (1996) em pontos homologados pelo IBGE (para transações cadastrais).

O Projeto do *Datum* Sul Americano foi dividido em duas partes, de acordo com (IBGE, 2007): (1) Estabelecimento de um sistema geodésico tal que o respectivo elipsóide apresentasse “boa adaptação” regional ao geóide e (2) Ajustamento de uma rede planimétrica de âmbito continental referenciada ao sistema definido.

A triangulação foi a metodologia observacional predominante no estabelecimento das novas redes. Uma rede de trilateração HIRAN fez a ligação entre as redes geodésicas da Venezuela e Brasil. Outra melhoria diz respeito à forma do elipsóide de referência. Na época, a UGGI recomendou a utilização do GRS67, conduzindo, assim, à adoção desta figura no projeto SAD69, ao invés do Hayford. Escolhido o elipsóide de referência, era necessário fixar os parâmetros para o seu posicionamento espacial. No caso do SAD69 este posicionamento deu-se em termos de parâmetros topocêntricos no ponto origem Chuá: as componentes do desvio da vertical ( $\xi, \eta$ ) e a ondulação geoidal (N), cujos valores foram determinados de forma a otimizar a adaptação elipsóide-geóide no continente.

A definição do sistema foi complementada através do fornecimento das coordenadas geodésicas do ponto origem e do azimute geodésico da direção inicial Chuá-Uberaba. Em consequência das limitações impostas pelos meios computacionais da época, a rede brasileira foi dividida em 10 áreas de ajuste, que foram processadas em blocos separados. Atualmente a Rede Horizontal do SGB é composta por mais de 5.000 estações cujas coordenadas geodésicas estão referidas ao SAD 69, que foi oficialmente adotado no Brasil no final da década de 70 (IBGE, 2000). Na definição do sistema adotou-se como modelo geométrico da Terra o Elipsóide de Referência Internacional de 1967, recomendado pela *International Association of Geodesy* - IAG e os seguintes parâmetros foram adotados na definição deste sistema, o elipsóide de referência adotado foi o Elipsóide de 1967, com semi-eixo maior ( $a$ ) = 6378160,0; e com o achatamento ( $1/298,247167427$ ) aproximado para o valor  $f = 1/298,25$ .

A definição da origem e a orientação do elipsóide de referência foram feitas de forma a minimizar as diferenças em relação ao geóide no continente sul-americano IBGE (2000).

No vértice Chuá foram determinadas as componentes do desvio da vertical e estabeleceu-se valor nulo para a ondulação geoidal. Os valores das componentes do desvio da vertical são OLIVEIRA (1998b):

- a) componente meridiana  $\xi = 0,31''$  ;
- b) componente primeiro vertical  $\eta = -3,52''$ .

As coordenadas do vértice foram determinadas astronômicamente e com o conhecimento dos valores das componentes do desvio da vertical foi possível calcular as coordenadas geodésicas de Chuá.

### **2.5.1.1 Densificação do SAD69**

A rede planimétrica continental do SAD69 foi ajustada pela primeira vez na década de 60. Neste ajustamento, cadeias de triangulação de vários países tiveram seus dados homogeneizados, adotando-se o mesmo tratamento.

O primeiro ajuste realizado em ambiente computacional, para o estabelecimento do SAD 69, foi feito pelo *Defense Mapping Agency* - DMA através do sistema computacional *Horizontal Adjustment by Variation of Coordinates* - HAVOC. A rede geodésica brasileira foi dividida em 10 áreas de ajuste, que

foram processadas em blocos separados em consequência das limitações computacionais da época (IBGE, 1997). Numa segunda etapa, os dados de novos levantamentos geodésicos, provenientes da densificação da Rede Horizontal, foram ajustados no programa *Users System for Horizontal Evaluation and Reduction - USHER*. Neste caso eram consideradas fixas as coordenadas das estações já existentes (COSTA, 1999). Esta metodologia de densificação foi uma das causas do acúmulo de distorções geométricas (escala e orientação) na rede planimétrica. Em alguns trechos da rede as reduções das observações geodésicas ao elipsóide foram aplicadas através de dados obtidos por mapas geoidais pouco precisos, pois eram os únicos existentes na época. Outro fato que não pode ser ignorado é a diversidade de instrumentos e métodos utilizados no decorrer do estabelecimento da rede, tornando complexa a análise da precisão das coordenadas das estações IBGE (2007).

Basicamente, as distorções existentes na rede clássica ocorreram devido a três principais causas (IBGE, 1997): fraca geometria das redes clássicas, ausência de um modelo geoidal preciso para a redução das observações geodésicas ao elipsóide e métodos de ajustamento aplicados.

Na década de 70 iniciou-se no Brasil o uso dos sistemas de posicionamento por satélites através do sistema TRANSIT. Foram realizadas observações Doppler em estações da rede geodésica de alta precisão com a finalidade de estimar parâmetros de transformação entre o SAD69 e o NSWC9Z2 (sistema associado às efemérides precisas do sistema TRANSIT) CASTAÑEDA (1986). Posteriormente foram estabelecidas estações na região amazônica onde não era possível a prática dos procedimentos clássicos. De uma forma bem abrangente, a realização do SGB, até o início da década de 90, foi obtida pelos procedimentos clássicos de triangulação e poligonação, tendo como observações básicas: direções horizontais, ângulos verticais, distâncias, coordenadas e azimutes astronômicos OLIVEIRA (1998b), além de pontos estabelecidos com o sistema TRANSIT. Finalmente, em 1991 o IBGE adotou o GPS em seus trabalhos geodésicos (COSTA, 1999).

O Decreto nº. 89.817, de 20 de junho de 1984, instituiu o SAD69 como *Datum* oficial a ser utilizado em toda e qualquer representação cartográfica em território nacional. E até o ano de 2005 os *Data* brasileiros oficiais eram: *Datum* planimétrico *South American Datum - SAD69*, e o *Data* altimétricos: Imbituba/SC e o do Porto de Santana/AP.

Considerando os fatos abordados, aliados aos avanços tecnológicos, constatou-se a necessidade de um reajustamento da rede, desta vez de forma global, abrangendo todas as observações disponíveis até então. Como o SAD69 era o referencial oficialmente adotado no Brasil, neste reajustamento foram mantidos os mesmos parâmetros definidores e injunções iniciais do primeiro ajustamento. Sendo assim, deve-se manter a mesma denominação para o sistema de referência SAD69 na sua nova materialização após o reajustamento (IBGE, 2007).

### **2.5.1.2 SAD69 – Realização 1996**

De acordo com OLIVEIRA (1998b) oficialmente, as realizações do SAD69 não sofreram nenhuma diferenciação em termos de nomenclatura, permanecendo a nomenclatura SAD69. Mas na prática esta realização é conhecida por SAD69/96, relacionado ao ano de 1996 que foi terminado o ajustamento.

A exigência de um reajustamento da componente planimétrica da Rede Geodésica Brasileira - RGB já era evidenciada em 1985, fundamentada basicamente, pelas seguintes razões de acordo com OLIVEIRA (1998b):

a) deformações impostas à rede pela técnica de ajustamento utilizada, processamento em blocos e pela modelagem inerente ao conjunto de reduções aplicadas às observações integrantes da Rede Geodésica Brasileira - RGB;

b) recuperação dos trechos da RGB por motivos de destruição, inserindo tanto novos vértices quanto observações, proporcionando, desta forma, alterações na estrutura até então existente;

c) possibilidade de refinar a materialização do SGB, pela disponibilidade e introdução de controle externo à rede, principalmente através do emprego de satélites artificiais com fins de posicionamento.

Segundo COSTA (1996) citado por OLIVEIRA (1998b) em função do exposto, foi criado pelo IBGE, no ano de 1985, o projeto denominado de Projeto de Reajustamento da Rede Geodésica Planimétrica Brasileira – REPLAN, cujo término aconteceu no segundo semestre do ano de 1996. A quase totalidade das informações sobre a mais recente realização do SAD69 no Brasil.

Além das observações GPS referentes à rede clássica também participaram do reajustamento, formando uma estrutura de 4759 estações contra 1285 ajustadas quando da definição do SAD69. O reajustamento concluído em 1996 combinou duas estruturas estabelecidas independentemente por diferentes técnicas. Naquela época as estações GPS do Brasil somavam 187, sendo que a ligação entre elas foi feita por 49 estações da rede clássica rastreadas por satélites. A rede GPS (por ser uma estrutura com precisão superior) tem por função controlar a rede clássica. Algumas observações *Doppler* também foram incluídas no ajustamento com este objetivo IBGE (1997).

### **2.5.2 Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS**

Mais uma tendência de uma nova realização no SGB vinha se estabelecendo com a evolução tecnológica. Conforme IBGE (2005) em fevereiro de 2005, o Sistema Geodésico Brasileiro sofreu uma nova alteração. Por meio do Decreto Federal nº. 5334/2005, assinado em 06/01/2005 e publicado em 07/01/2005 no Diário Oficial da União, no qual foi estabelecida uma nova redação para as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. A Resolução nº1/2005 estabeleceu o Sistema de referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS, em sua realização do ano de 2000 – SIRGAS2000, como novo sistema de referência geodésico para o sistema geodésico brasileiro – SGB e para o sistema cartográfico nacional – SCN.

A mudança do Referencial Geodésico para as Américas se dá pelo desenvolvimento do Projeto SIRGAS 2000. Compreendendo as atividades necessárias à adoção no continente de sistema de referência de precisão compatível com as técnicas atuais de posicionamento, notadamente associadas aos Sistemas de Navegação por Satélite - GNSS. Considerando a proliferação do uso do GNSS, referir estes novos levantamentos a uma estrutura geodésica existente - implantada basicamente pela utilização dos métodos clássicos (triangulação, poligonação, trilateração) e cuja precisão é pelo menos dez vezes pior que a fornecida facilmente com o GNSS - implica, no mínimo, em desperdícios de recursos. Além disto, a

multiplicidade de sistemas geodésicos clássicos, adotados pelos países sul-americanos, dificulta em muito a solução de problemas tecnicamente simples, tais como a definição de fronteiras internacionais. Por outro lado, a adoção do *International Terrestrial Reference System* - ITRS como sistema de referência, além de garantir a homogeneização de resultados internamente ao continente, permitirá uma integração consistente com as redes dos demais continentes, contribuindo cada vez mais para o desenvolvimento de uma geodésia "global" (IBGE, 2000).

Atualmente os sistemas geodésicos de referência são constituídos por redes de referência. São pontos materializados no terreno cujas coordenadas são determinadas através de técnicas espaciais. As redes podem ser: globais (*International Gravity Standardization* - IGS), continentais (SIRGAS 2000), nacionais (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC), regionais (Rede GPS do Estado de Santa Catarina) e de outros Estados.

O SIRGAS foi proposto em 1993, inicialmente somente para América Latina e atualmente estendido para as três Américas. A técnica mais utilizada é através do GPS (Sistema de Posicionamento Global), mas o SIRGAS é uma densificação do *International Terrestrial Reference Frame* - ITRF por isso se utiliza das técnicas utilizadas para o ITRF como Interferometria, determinações laser lunares. As estações estão referidas ao sistema mais preciso da época, o ITRF que é um Sistema Geodésico Mundial. Das 58 estações iniciais, 11 pertencem a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC. É um sistema geocêntrico (referenciado ao Centro de Massa Terrestre).

De acordo com IBGE (2000) o SIRGAS possui as seguintes características:

- a) Elipsóide de referência, recomendado pelo IAG: *Geodetic Reference System* de 1980 - GRS80, representando a forma e dimensões da Terra em caráter global, com posicionamento segundo os eixos coordenados do ITRS, sendo, portanto geocêntrico.
- b) Semi-eixo maior:  $a = 6.378.137\text{m}$
- c) Achatamento:  $f = 1/298,257222101$
- d) Origem: Centro de massa da Terra;
- e) Orientação: Pólos e meridianos de referência consistentes em  $\pm 0,005''$  com as direções definidas pelo *Bureau International de L'Heure* -, em 1984,0;
- f) Compreende a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, garantindo uma conexão imediata com o sistema SIRGAS, empregando uma das técnicas de posicionamento mais precisas existente atualmente, o Sistema de Posicionamento por satélites, com utilização do sistema mais popular entre eles neste caso, o GPS, a partir da rede ativa.
- g) É uma densificação do ITRF.

O Projeto Mudança do Referencial Geodésico deu dois importantes passos nos primeiros meses de 2005. O primeiro deles foi a publicação do Decreto nº. 5334/2005 no Diário Oficial da União, em 07/01/2005, dando nova redação às Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (Decreto nº. 89.817, de 20 de junho de 1984). O segundo passo deu-se no último dia 25 de fevereiro de 2005, com a assinatura, pelo Presidente do IBGE, da Resolução nº. 1/2005, que torna o Sistema de

Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) a nova base para o Sistema Geodésico Brasileiro - SGB e para o Sistema Cartográfico Nacional - SCN (IBGE, 2005).

A coexistência entre estes sistemas tem por finalidade oferecer à sociedade um período de transição antes da adoção do SIRGAS2000 em caráter exclusivo, estabelecendo um período de transição de dez anos, durante o qual o SIRGAS2000 poderá ser utilizado em concomitância com os outros sistemas de referência - SAD69 e Córrego Alegre, período ao quais os usuários deverão adequar e ajustar suas bases de dados, métodos e procedimentos ao novo sistema (IBGE, 2005).

Para que haja o cumprimento da adoção do novo referencial geodésico por toda a comunidade usuária, é necessário o entendimento e o envolvimento dos órgãos de classe, agências reguladoras e instituições contratantes de projetos, nas diversas esferas do governo (VASCONCELOS & ESCOBAR, 2005).

Para que a transição dos produtos cartográficos seja realizada, em virtude da migração de referencial, o IBGE ao divulgar resolução nº. 1/2005 publicou parâmetros de transformação entre os sistemas SAD69 e SIRGAS2000. Estes parâmetros foram estimados através de 63 estações GPS que possuem coordenadas SAD69 oriundas do ajustamento de 1996 e coordenadas ajustadas SIRGAS2000. De acordo com IBGE (2004) os valores dos parâmetros, bem como o modelo matemático indicado para a transformação, podem ser encontrados nos documentos do IBGE nº 1/2005 e nº 23/1989, respectivamente.

## 2.6 DATA GEODÉSICOS GLOBAIS

Os *Data* geodésicos globais vem sendo cada vez mais utilizados e são aplicáveis a todo o globo. Alguns exemplos o SIRGAS 2000, WGS84, o ITRS e o ETRS89. Estes *Data* globais são particularmente apropriados para sistemas de medição que não utilizem as equipotenciais do campo da gravidade como referência (tal como o GNSS). Pontos situados em diferentes continentes podem ser relacionados entre si com precisão, já que estão definidos relativamente a um mesmo referencial. É cada vez mais significativa a produção cartográfica baseada neste tipo de *Data* geodésicos.

Pode-se dizer que um *Datum* geodésico global é constituído por um elipsóide cujo centro coincide com o centro de massa da Terra e o seu eixo polar coincide com a posição média do eixo de rotação da Terra. O posicionamento deste elipsóide de referência é efetuado à custa das coordenadas de um conjunto grande de estações distribuídas pela Terra (CASACA et al, 2000).

O número de estações realizadas diretamente com o intuito de um Sistema Geodésico Geocêntrico não são suficientes para a utilização na prática. Por esta razão torna-se necessário a densificação de estações referenciadas a um sistema geocêntrico de referência em cada nação (MATSUMARA et al, 2004).

Podem-se exemplificar os *data* geodésicos globais através dos projetos que tem como um dos objetivos a densificação destas estações, pode-se citar os seguintes projetos mundiais: Projeto de Adoção do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000, *European Terrestrial Reference System 1989 Project* - ETRS89, *Asia and the pacific region Geodetic Project* – APRGP, *African Geodetic Reference Frame* - AFREF entre outros projetos que serão tratados neste sub-capítulo.

## 2.6.1 Projetos Mundiais de adoção de data geodésicos globais

### 2.6.1.1 América

O projeto SIRGAS iniciou com o estabelecimento de Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul em 1993, durante uma Conferência Internacional sediada no Paraguai e organizada pela *International Association of Geodesy* - IAG, *Panamerican Institute of Geodesy and History* - PAIGH e *U.S. Defence Mapping Agency* - DMA. Os objetivos do projeto eram primeiramente a definição de um sistema de referência para a América do Sul, estabelecimento e manutenção de uma rede de pontos, estabelecimento de um *Datum* geocêntrico para todos os países da América do Sul.

Segundo DALAZOANA (2002) considerando os avanços obtidos através do Projeto SIRGAS, no que diz respeito a um sistema geodésico de referência unificado, a *7th United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas*, realizada em Nova York no período de 22 a 26 de janeiro de 2001, recomendou que os países membros das Américas integrassem seus sistemas de referência nacionais a um sistema de referência compatível com o SIRGAS (ONU, 2001). Essa integração é importante, pois diversos problemas, como por exemplo, os relativos às fronteiras entre países, podem ser resolvidos mais facilmente com a adoção de um sistema geodésico de referência único, além de facilitar a integração e o intercâmbio de dados, entre outros.

O sistema SIRGAS foi definido tomando como Sistema de Referência o *International Earth Rotation Service* - IERS e o *Terrestrial Reference Frame* - ITRS e eixos coordenados baseado num *Datum* geocêntrico e parâmetros do elipsóide *Geodetic Reference System 1980* - GRS80.

As estações que compõem a nova realização SIRGAS estão situadas por toda a América do Sul, América Central, América do Norte e Caribe.

Antigos referenciais locais vêm sendo mudados para a adoção do SIRGAS2000. Por exemplo, no Brasil, onde prevalecia o *South American Datum of 1969* - SAD69, apesar da existência de cartografia em algumas regiões do Brasil, ainda referenciadas ao Córrego Alegre, Astro *Datum* Chuá, antigos referenciais geodésicos oficiais. Além do Brasil o SAD69 é empregado na Argentina, Bolívia, Chile, Colômbia, Equador, Guiana, Peru, Paraguai, Uruguai e Venezuela. Além do SAD69, na América do Sul há outros *Data* como: o *Provisional South American Datum of 1956* - PSAD56 na Bolívia, Chile, Colômbia, Equador, Guiana, Peru, and Venezuela, com origem em *La Canoa*; o *Campo Inchauspe*, na Argentina, entre outros.

De acordo com SANAY & SOLER (2000) a América Central e a América do Norte fazem parte do Projeto SIRGAS, mas estas não se comportam da mesma maneira com que o Brasil vem adotando este referencial para o Sistema Cartográfico Nacional – SNC. Na América do Norte e Central a utilização esta relacionada a um sistema suporte para atividades de levantamentos baseados no GNSS e de modo a contribuir para a densificação dos pontos das redes pertencentes à América do Sul. Para o Sistema Cartográfico da América do Norte e Central continuam sendo oficiais os *data North American Datum 1927* – NAD27, este é um referencial local, baseado no elipsóide de Clarke e o *North American Datum 1983* – NAD83, baseado no elipsóide GRS80, porém geocêntrico.

### 2.6.1.2 Europa

O *European Terrestrial Reference System 1989* - ETRS89 é um sistema global de referência recomendado pela *Reference Frame Subcommittee for Europe* - EUREF que, tal como os ITRF, é estabelecido através de técnicas espaciais de observação. De acordo com IPT (2007) no Simpósio da EUREF realizado na Itália em 1990 foi adotada a seguinte resolução: “A Subcomissão da IAG para o Referencial Geodésico Europeu – EUREF recomenda que o sistema a ser adotado pela EUREF seja coincidente com o ITRS na época de 1989,0 e fixado à parte estável da Placa Euro-Asiática, sendo designado por Sistema de Referência Terrestre Europeu 1989 (*European Terrestrial Referencial System* – ETRS89)”. A menção à “parte estável da Placa Euro-Asiática” traduz o fato de se verificar que os pontos europeus dos ITRF se movem muito lentamente e em bloco, apresentando todos eles deslocamentos anuais da ordem do centímetro.

A Subcomissão da EUREF em conjunto com a *European Tissue Repair Society* - ETRS decidiu adotar como elipsóide de referência para o ETRS89 é o GRS80, decisão tomada em um simpósio realizado em Bern em 1992, na Suíça.

Podem-se citar algumas experiências com relação à adoção do referencial geocêntrico na Europa, como as de países como Portugal e Alemanha. Com referência a Portugal segundo (IPT, 2007): “A rede de Portugal é denominada Rede Geodésica Nacional – RGN. O IGP, de acordo com os compromissos assumidos por Portugal para com a EUREF, adotou para o território continental um único Sistema de Referência (ETRS89), eliminando progressivamente os que atualmente se encontram em uso. Continuarão, no entanto, por um período que permita aos usuários atuais a migração para o novo sistema, a serem fornecidas coordenadas (geodésicas e cartográficas) dos vértices geodésicos, nos restantes sistemas. Até então, os data locais adotados em Portugal continental foram *Datum 73*, estabelecido na década de 70 e o *Datum Lisboa*, estabelecido no século XIX. Os arquipélagos de Açores e Madeira possuem outros *Data*”.

Um exemplo da experiência desarticulada desta adoção de um referencial geocêntrico, de acordo com HECKMANN (2005) na Alemanha e através de uma visita ao *Landesvermessungsamt* da cidade de Karlsruhe, Estado de Baden Württemberg, em julho de 2007, realizada pela autora deste trabalho.

No período pré-guerra, cada estado Alemão possuía seu próprio referencial. Somente no pós-guerra houve o ajustamento para todo o país, determinando assim o *Datum* local denominado *Postdam Datum*, com referência ao elipsóide de Bessel, os quais determinam a *Deutsches Hauptdreiecksnetz* - *DHDN*. O sistema de referência geocêntrico é materializado através da rede *Satellite Positioning Service of the German National Survey* – SAPOS, uma rede bem densificada. O ETRS89 é o referencial utilizado pela rede SAPOS. A rede SAPOS serve de base para os levantamentos na Alemanha.

A Alemanha é uma união de Estados Federados. Cada Estado Federado da Alemanha é responsável pela Cartografia em escala maior que 1:100.000. Não existe um Decreto nacional que determine a utilização do ETRS89 para toda a Alemanha, apesar da recomendação da ISO 19.111<sup>9</sup> e da existência de comissões como a EUREF.

---

<sup>9</sup> ISO 19.111 - Geographic information — Spatial referencing by coordinates.

O Estado de Baden Württemberg utiliza o referencial local para a produção cartográfica e cadastral do Estado. Mas admite-se que a Alemanha possui infra-estrutura suficiente para uma transformação precisa ao ETRS89. Esta afirmação se deve ao fato da Alemanha possuir uma densa rede de referência cadastral em todo seu território, estes referenciados ao DHDN – referencial local. A cada 100m é possível encontrar pontos desta rede. O levantamento destes pontos, com base na rede SAPOS, torna-se possível a determinação de parâmetros com precisão centimétrica e referenciados ao ETRS89.

Já o Estado de Brandemburgo, estado o qual está localizada a capital Berlin, converteu todo o seu mapeamento, até o cadastral para o Referencial ETRS89.

### **2.6.1.3 África**

De acordo com WONNACOTT (2006) a África é composta por 54 países independentes, sendo 38 continentais e 6 insulares, mais 10 territórios. Cada um destes países tem seu próprio sistema de referência; alguns usam concomitante dois ou mais. Fato curioso é que algumas empresas chegam a ter seu próprio sistema de referência para as suas atividades; particularmente as empresas petrolíferas.

A experiência do continente africano na adoção de um referencial geocêntrico dá-se através da AFREF, que é a denominação para a Rede de Referência Geodésica Africana. Segundo WONNACOTT (2006) esta rede foi concebida como uma forma de unificar a rede geodésica de referência da África, sendo base fundamental para os levantamentos nacionais e regionais. Esta rede tem como objetivo a consistência e a homogeneidade com relação ao ITRF até o final do ano de 2007. Ao finalizar totalmente a execução desta rede, consistirá em uma rede de estações contínuas do sistema GNSS. A AFREF tem sido concebida pela *National Mapping Organizations - NMO's* da África, além de receber suporte da *International Association of Geodesy - IAG*.

No ano 2000, a AFREF iniciou suas atividades, porém, somente com 6 países. Atualmente a rede é composta por 38 estações dispostas em 15 países, mas o projeto prevê a ampliação.

### **2.6.1.4 Ásia**

Verifica-se que o *Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia & the Pacific - PCGIAP* é o órgão responsável pelo gerenciamento das atividades concernentes à infra-estrutura geoespacial no continente asiático. O grupo de trabalho 1 da PCGIAP é o responsável pelos trabalhos relevantes à Geodésia Regional. Entre as atividades deste grupo está o estabelecimento de uma rede de referência geodésica geocêntrica para o continente Asiático. A rede de referência geodésica asiática recebe o nome de APRGP.

A primeira campanha da APRGP foi em 1997, no qual foi estabelecida a integração dos *data* nacionais de toda a Ásia. Nesta campanha foram empregadas técnicas de posicionamento baseadas no GNSS, *Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite – DORIS*, além de técnicas espaciais como SLR e VLBI. Os resultados desta campanha foram apresentados numa conferência na Austrália, a AUSLIG, em Canberra em 1998 (BOUCHER, 1999).

De acordo com TANAKA (2003) a última campanha da APRGP ocorreu em 2001, totalizando 117 estações e um total de 5 campanhas desde 1997.

Na Ásia, cada país possui sua rede que esta está conectada às outras redes de outros países, formando uma rede continental. Deste continente foram escolhidas algumas experiências para serem relatadas, como a do Japão, da Malásia e da Korea são exemplificadas.

Conforme MATSUMURA et al (2004) no Japão, a rede que faz parte da APRGP que vem sendo utilizada desde abril de 2000, denominada *Japanese Geodetic Datum* ou JGD2000, tendo como elipsóide de referência o GRS80.

Segundo TEO & FAUZI (2004) a Malásia é outro importante exemplo, através do *Geocentric Datum of Malasya - GDM 2000*, com realização no ano de 2000, possuindo um total de 17 estações, sendo que 10 estações encontram-se nas regiões peninsulares. Deste total de estações, 11 vem sendo utilizadas por estações do IGS.

Segundo YOON (2003) novo *Datum* Coreano denomina-se KGD2000 e sua realização oficial foi no ano de 1999.

#### **2.6.1.5 Oceania**

Dois grandes projetos a respeito da adoção de um *Datum* geocêntrico pertencem a dois países da Oceania: a Austrália e Nova Zelândia, sendo esses os que mais publicam a respeito deste tema.

Em 1984 o Conselho Nacional de Mapeamento Australiano já reconhecia a necessidade de adoção de um *Datum* geocêntrico, o que realmente ocorreu em janeiro de 2000.

Conforme COLLIER et al (1996) em novembro de 1995, o comitê inter-governamental de levantamento e mapeamento *Inter-Governmental Committee on Surveying and Mapping – ICSM* recomendou a implementação do novo *Datum* geodésico nacional até 1 de janeiro de 2000. Este *Datum* é conhecido como *Geocentric Datum of Australia – GDA*.

Ele está conectado ao ITRF, como os demais anteriormente citados e utiliza o GRS80 como elipsóide de referência. A conexão do GDA94 ao ITRF deu-se devido a alta precisão das estações da *Australian Fiducial Network – AFN* e que o mesmo se estende à *Australian National Network - ANN* (MORGAN et AL, 1996).

Outro projeto importante é o referente à Nova Zelândia, que tem um *Datum* geocêntrico denominado NZGD 2000. Segundo BEVIN (2000) é um *Datum* semi-dinâmico com coordenadas referenciadas ao ITRF 1996, com referência a 1 janeiro de 2000 (época 2000,0).

O *Datum* oficial anterior ao NZGD 2000 era o NZGD49. Entre as razões que levou a Nova Zelândia a adotar um *Datum* geocêntrico, segundo (GRANT et al, 1999) se deve ao fato de que o antigo NZGD49 possuir distorções regionais por volta de 5m, devido às técnicas de levantamento das observações utilizadas na época de sua realização, além de ter sofrido alterações devido a deformação da crosta terrestre. Outra característica é que o NZGD49 é incompatível com os sistemas de posicionamento globais, possuindo uma limitada abrangência territorial, além do fato de ser um sistema estático, não podendo ser utilizado para definição de um *Datum* vertical.

A principal diferença entre os dois *data* NZGD49 e NZGD2000 é de aproximadamente 190 m ao norte e 10 m a leste.

## 2.7 TRANSFORMAÇÃO ENTRE SISTEMAS GEODÉSICOS

Com a evolução do Sistema Geodésico Brasileiro, se faz necessário relacionar os diversos referenciais existentes mediante algum método de transformação. A transformação de coordenadas é um conjunto de regras que associa ternos de coordenadas relativas a um dos sistemas (CASTANEDA, 1986). A relação matemática capaz de associar estas regras constitui uma equação de transformação.

De acordo com (OLIVEIRA, 1998b) o problema de transformação de coordenadas entre Sistemas Geodésicos, conceitualmente, pode ser resumido da seguinte maneira: conhecida a posição de uma estação num sistema de coordenadas, determinar a sua posição homóloga em outro sistema de coordenadas. Considerando-se a inexistência de qualquer tipo de erro, deformação, ou influência que venha a descaracterizar a posição definida da materializada, seria possível determinar uma função matemática que permitisse realizar, corretamente, a transformação de coordenadas para qualquer estação entre sistemas geodésicos. Neste caso, a única exigência para estipular a função seria conhecer todos os dados definidores dos sistemas de coordenadas, sendo que a função poderia se basear numa transformação geométrica, equação diferencial, ou outra possível abordagem matemática. É importante ressaltar que, desta forma, não haveria motivo para que um mesmo Sistema Geodésico tivesse realizações diferentes. Caso não fosse estipulado nenhum modelo matemático para realizar a transformação, uma alternativa seria o recalcular as coordenadas no novo sistema. Para tanto, é evidente, existiria uma necessidade das observações originais que permitiram o posicionamento das estações no sistema original. A desvantagem desta solução deve-se tanto ao volume de cálculo, já que este estará associado ao conjunto de pontos e observações que integralizam a rede, quanto da necessidade de se reconstruir totalmente os produtos associados às coordenadas originais, como no caso dos documentos cartográficos.

A adoção de um novo sistema geodésico de referência implica na necessidade de determinar novos valores de coordenadas para as feições mapeadas e referenciadas num sistema antigo. Dois caminhos de solução podem ser apresentados: 1) refazer os levantamentos de todas as feições, mas agora referidas ao novo sistema; ou 2) determinar um modelo matemático que permita transformar as coordenadas que definem espacialmente a posição das feições para um novo sistema de referência (PINO, 2007). Considerando o que foi exposto pelo autor, a segunda opção é a mais utilizada, na maioria dos países, em virtude das dimensões territoriais e o custo associado para se refazer os levantamentos de todas as feições, praticamente impossível para um país como o Brasil de grande dimensão territorial, portanto a adoção da segunda solução tem suas desvantagens, porém devem ser contornadas, também devido a dimensão territorial do Brasil, a dificuldade de encontrar uma solução que se adapte da melhor forma para todo o país. Para isso, existem pesquisas que estão sendo realizadas com esta intenção, sob coordenação do grupo de trabalho GT3 promovido pelo IBGE. Maiores informações a respeito do andamento destas pesquisas podem ser encontradas em (OLIVEIRA et al, 2007).

### 2.7.1 Classificação dos métodos de transformação de coordenadas

Existem vários métodos para transformação de coordenadas entre Sistemas Geodésicos de Referência. Uma proposta de classificação é apresentada por OLIVEIRA (1998b), a classificação é feita em cinco categorias:

a) equações cartesianas: modelos desenvolvidos a partir do emprego das coordenadas retilíneas, em que são consideradas as grandezas translação, rotação e escala. São também conhecidas como transformações geométricas. Exemplos destas transformações são os modelos de transformação de similaridade de Bursa/Wolf, Molodensky-Badekas, Veis e Vanícek-Wells;

b) equações diferenciais: modelos aplicados tanto às coordenadas curvilíneas quanto retilíneas, são desenvolvidos considerando o efeito causado pelas diferenças referentes à forma e tamanho dos elipsóides associados aos sistemas de interesse, bem como às diferenças nos seus posicionamentos com relação à superfície terrestre;

c) regressões: modelos que empregam coordenadas curvilíneas ou retilíneas, e que estabelecem um modelo polinomial, de ordem variável, para efetuar a transformação. São também chamados de equações de regressão múltiplas, polinômios conformes e transformações projetivas;

d) modelagem analítica: a partir das diferenças de coordenadas, retilíneas ou curvilíneas, dos pontos homólogos nos sistemas de interesse, são empregados métodos analíticos para geração de um modelo, ou processo matemático apropriado, que sirva à transformação. Podem ou não considerar e quantificar as deformações existentes entre os sistemas;

e) mapas de interpolação: consistem na geração de mapas de isolinhas ou malhas (reticulados) regulares, digitais ou não, referentes aos valores que permitem a transformação das coordenadas.

PINO (2007) acrescenta ainda uma sexta categoria conforme CRIOLLO et al (2005):

f) modelos não determinísticos baseados em predição analítica, tal como os baseados em Redes Neurais Artificiais.

### 2.7.2 Modelos para transformação de coordenadas

Em virtude da diferença entre os dois sistemas SAD69 e SIRGAS2000 tanto em origem como na forma da superfície de referência, torna-se necessária a compatibilização das coordenadas com o *Datum* desejado. A não consideração dessa transformação tem implicações substanciais nos resultados obtidos, implicando erros que podem atingir dezenas de metros, tanto em planimetria quanto na altimetria. Para compatibilização torna-se necessário um procedimento matemático que relacione os dois sistemas.

Diversos modelos têm sido desenvolvidos com a finalidade de descrever o relacionamento entre dois referenciais. Os modelos de transformação de coordenadas são utilizados para realizar a estimação de parâmetros de transformação e para a transformação de coordenadas. A estimativa dos parâmetros de transformação requer uma amostra de vértices com coordenadas referidas a ambos os sistemas, aos quais se desejam encontrar os parâmetros.

COLLIER et al (1996) faz algumas considerações a respeito da seleção de um modelo de transformação de coordenadas, afirmando que a transformação deverá ser única, de simples aplicação, deve

estar disponível numa forma amigável para todos os usuários de dados espaciais, serem capazes de transformar com eficiência arquivos de dados de grande volume, possibilidade de integração com Sistemas de Informações Geográficas, capazes de detectar com precisão os resultados de transformações por ajustamento provenientes da mudança de coordenadas pela mudança de *Datum* e pequenos movimentos, devido à mudança na forma da rede e capaz de remover com precisão distorções causadas por perturbações locais e regionais nas redes de controle.

BLACHUT (1979), RAPP (1980) e ZEPEDA et al (2006) afirmam que a relação espacial entre sistemas tridimensionais – 3D pode ser modelada por 7 parâmetros (3 rotações, 3 translações e 1 fator de escala) ou somente por 3 translações em casos de simplificação. Por outro lado, sistemas bidimensionais – 2D, por exemplo, sistemas projetivos cartográficos UTM, podem ser modelados por 4 parâmetros (2 translações, 1 rotação e 1 fator de escala).

FEATHERSTONE & LANGLEY (1997) classifica os procedimentos de transformação de coordenadas em três categorias: transformação bidimensional, transformação projetiva e transformação de similaridade.

A transformação bidimensional restringe-se a conhecidas coordenadas de um ponto na posição central da área em ambos os sistemas, assim são aplicadas as diferenças em latitude e longitude aos demais pontos procurados. Essa solução restringe-se a áreas pequenas. Maiores informações sobre esta transformação podem ser encontradas em BLACHUT (1979).

Segundo WOLF (2000) transformação projetiva relaciona as coordenadas de objetos no espaço tridimensional com a sua representação bidimensional. Conforme JI e ZHANG (2002) citado por ARAKI (2005) a transformação projetiva é utilizada com mais frequência em técnicas de sensoriamento remoto e na fotogrametria analítica, para transformação das coordenadas do referencial fotogramétrico corrigido para o referencial do sistema geodésico local aproximado.

ANCIÃES & OLIVEIRA (2003) citado por PINO (2007) afirma que apesar da quantidade de modelos disponíveis, o modelo de Transformação de Similaridade é o modelo mais utilizado atualmente em Geodésia. Este modelo também é conhecido como transformação conforme, isogonal e de Helmert (LUGNANI, 1987). Este modelo expressa a relação entre dois sistemas de coordenadas por meio de três translações, três rotações e um fator de escala. As três translações são justificadas pela origem entre os sistemas geodésicos, as rotações expressam o não paralelismo dos eixos coordenados destes dois sistemas e o fator de escala é requerido para homogeneizar os sistemas, devido à utilização de diferentes sistemas.

De acordo com TAYLOR (2008) a transformação de 7 parâmetros pode ser interpretada de duas formas: Helmert e Bursa Wolf. Helmert é uma transformação que é descrita pelos dois sistemas de coordenadas tridimensionais e a rotação acontece no sentido anti-horário. Na Bursa Wolf a transformação é descrita pela rotação da posição do vetor e nela o sistema de coordenadas é fixo e esta rotação acontece no sentido horário. Ambas utilizam a mesma formulação, diferenciando apenas nas injunções iniciais. Num processo de transformação de um referencial topocêntrico, o modelo de Bursa Wolf é o que apresenta os menores resíduos nas transformações.

Outra formulação da transformação de similaridade, além da Bursa Wolf é a Molodensky-Badekas. Bursa Wolf é indicada para a transformação entre sistemas definidos a partir de satélites - *Satelite Derived Systems*, enquanto a segunda é mais adaptada à transformação entre um *Datum* derivado de observações espaciais e um *Datum* derivado de observações terrestres. Maiores detalhes em CASACA et al (2000), FEATHERSTONE & LANGLEY (1997), HARVEY (1986), KRAKIWSKY e THOMSON (1974).

Conforme ZEPEDA (2006) o modelo Bursa Wolf é uma transformação de Helmert no espaço 3D, cujo modelo de transformação é linear e conforme, ou seja, as posições dos pontos e as distâncias entre eles variam de acordo com a forma da rede (definida pelos pontos) e os ângulos permanecem invariáveis). Pode-se enunciar como:

As coordenadas de um ponto P qualquer na superfície física da Terra podem ser expressas na forma:

$$X_p = (N_p + h_p) \cdot \cos \varphi_p \cdot \cos \lambda_p \quad \text{Eq. 16}$$

$$Y_p = (N_p + h_p) \cdot \cos \varphi_p \cdot \sin \lambda_p \quad \text{Eq. 17}$$

$$Z_p = [N_p (1 - e^2) + h_p] \cdot \sin \lambda_p \quad \text{Eq. 18}$$

Com:

$$N_p = \frac{a}{(1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi_p)^{1/2}} \quad \text{Eq.19}$$

Onde:

$X_p, Y_p$  e  $Z_p$  – coordenadas cartesianas do ponto P;

$\varphi_p$  e  $\lambda_p$  – coordenadas geodésicas do ponto P;

$N_p$  – raio de curvatura da seção 1° vertical no ponto P (ou grande normal);

$e^2$  – quadrado da 1° excentricidade do elipsóide de referência;

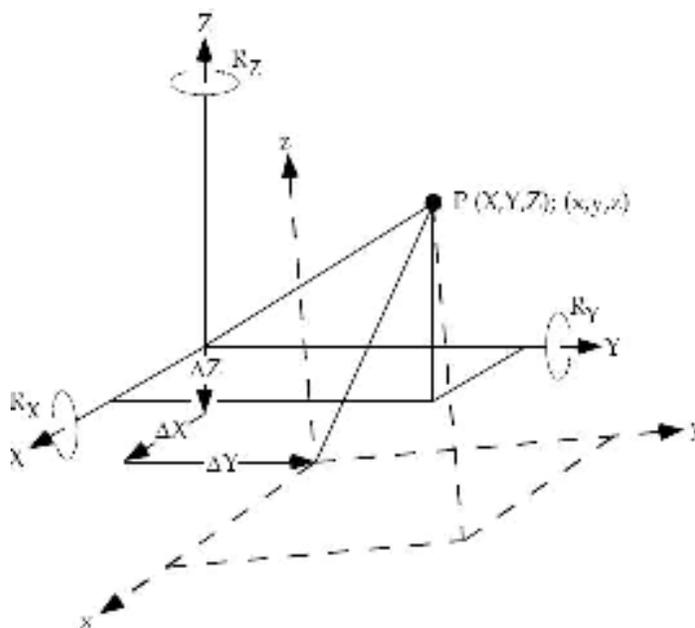
a (semi-eixo menor), b (semi-eixo maior) e f (achatamento) – parâmetros do elipsóide.

Dados quaisquer dois sistemas de coordenadas cartesianas tridimensionais, a relação entre estas coordenadas nos dois sistemas pode ser modelada, pela seguinte equação matricial:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1+ds & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1+ds & R_X \\ R_Y & -R_X & +ds \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad \text{Eq.20}$$

O modelo Bursa Wolf (BURSA, 1962; WOLF, 1963) relaciona dois sistemas tridimensionais de coordenadas cartesianas, mediante 7 parâmetros de transformação, 3 translações: justificadas pela

diferença na origem entre os sistemas  $(X_0, Y_0, Z_0)$ , três rotações: que expressam a falta de paralelismo entre os eixos  $(R_x, R_y, R_z)$  e um fator de escala: que permite homogeneizar as relações métricas dos sistemas (ds). A figura 9 representa os parâmetros de transformação entre os *data* 1 e 2.



**Figura 9:** Representação dos sete parâmetros de transformação

No Brasil, a transformação entre diferentes sistemas de referência se dá por meio de parâmetros de transformação, os quais são oficializados pelo IBGE. Na Resolução nº23, de 21 de fevereiro de 1989 traz como modelo matemático, para a transformação de coordenadas entre os sistemas geodésicos de referência, as equações diferenciais simplificadas de Molodensky. Através das equações simplificadas de Molodensky são considerados três parâmetros de translação, há uma consideração de paralelismo entre os sistemas geodésicos.

O modelo de Molodensky é o modelo mais utilizado na transformação de coordenadas geodésicas relativas a diferentes *data* geodésicos. As coordenadas geodésicas elipsoidais de um ponto  $(\phi, \lambda, h)$ , relativas a um determinado *Datum* geodésico, podem ser relacionadas com as coordenadas geodésicas elipsoidais do ponto:

$$(\phi + \Delta\phi, \lambda + \Delta\lambda, h + \Delta h)$$

Eq. 21

Coordenadas que são relativas a um segundo *Datum* geodésico, pela transformação de Molodensky. A transformação de Molodensky é apresentada THOMAS (1978) em duas versões: a versão “*standard*” e a versão *simplificada*, onde são feitas algumas simplificações. Em particular, na versão abreviada, a altitude é ignorada nas correções à latitude e à longitude.

As equações da transformação simplificada de Molodensky, que fornecem os acréscimos em latitude, longitude e altitude geodésicas às coordenadas do ponto relativas ao primeiro *Datum*, são:

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta\phi &= \frac{-\Delta x \text{Sen}\phi \text{Cos}\lambda - \Delta y \text{Sen}\phi \text{Sen}\lambda + \Delta z \text{Cos}\phi + (f\Delta a + a\Delta f) \text{Sen}2\phi}{R_M} \\ \Delta\lambda &= \frac{-\Delta x \text{Sen}\lambda + \Delta y \text{Cos}\lambda}{R_N \text{Cos}\phi} \\ \Delta h &= \Delta x \text{Cos}\phi \text{Cos}\lambda + \Delta y \text{Cos}\phi \text{Sen}\lambda + \Delta z \text{Sen}\phi + (f\Delta a + a\Delta f) \text{Sen}^2\phi - \Delta a \end{aligned} \right.$$

Eq.22

onde  $\Delta a$  e  $\Delta f$  são as diferenças entre o semi-eixo maior e o achatamento dos dois elipsóides de referência e  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ , são as componentes do vetor diferença entre os centros dos dois elipsóides de referência. Esta transformação ignora os parâmetros de rotação dos eixos. Deve notar-se que os acréscimos da latitude e da longitude são independentes das altitudes, embora o acréscimo da altitude dependa da latitude e da longitude do ponto, o que permite transformar as latitudes e as longitudes independentemente da altitude elipsoidal.

Para que parâmetros sejam encontrados através dos modelos citados anteriormente, deve-se realizar um ajustamento. São vários os modelos para ajustamento de observações geodésicas. No entanto, o que será apresentado é o método paramétrico, que também é conhecido como método das observações indiretas. Para a realização do ajustamento, seguiu-se a seqüência de acordo com GEMAEL (1994) e DALMOLIN (2004). A estimação dos parâmetros com base no ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados – MMQ e utilização do método paramétrico –  $L_a = F(X_a)$  - ocorre de acordo com os procedimentos a seguir.

A determinação do vetor dos parâmetros:  $X = -N^{-1}U = -(A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot (A^T \cdot P \cdot L)$  de acordo com a seguinte seqüência:

a) Obtenção das coordenadas cartesianas para cada um dos dois sistemas dos vértices homólogos, para formar o vetor das observáveis:  $L = L_b - L_0$

$$L = \begin{vmatrix} \Delta X_1 \\ \Delta Y_1 \\ \Delta Z_1 \\ \dots \\ \Delta X_n \\ \Delta Y_n \\ \Delta Z_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{vmatrix}_{\text{SAD69}} - \begin{vmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{vmatrix}_{\text{SIRGAS2000}}$$

Eq.23

b) A matriz dos pesos ( ${}_n P_n$ ) é pode ser considerada identidade quando não se tem os valores referentes à precisão das coordenadas, caso contrário pode ser determinada. O peso de uma observação é

inversamente proporcional ao quadrado do desvio padrão correspondente. Assim sendo, tendo-se  $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ , observações, de desvios padrões  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$  os pesos serão:

$p_1 = \sigma_0^2 / \sigma_1^2; p_2 = \sigma_0^2 / \sigma_2^2; \dots; p_n = \sigma_0^2 / \sigma_n^2$ ; onde  $\sigma_0^2$  é definida como sendo a precisão de uma dada observação de peso igual a 1 (variação a priori).

Assim tem-se a matriz peso das observações para a determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas geocêntricos e o geodésico local é dado por  $P_x = \sigma_0^2 \cdot \Sigma X^{-1}$ , onde  $\Sigma X^{-1}$  é o inverso da matriz variância-covariância das observações.

Tem-se que as observações são dadas pela diferença das coordenadas entre os sistemas de satélite e o geodésico, havendo a necessidade de se haver uma propagação de erros entre estas diferenças de coordenadas. Assim para cada ponto tem-se:

$$\Delta X = X_T - X$$

$$\Delta Y = Y_T - Y$$

$$\Delta Z = Z_T - Z$$

Eq. 24

A matriz variância-covariância de  $\Delta p_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ), onde o índice  $p$  indica o ponto, é dada por:

$$\Sigma \Delta p_i = G \cdot \Sigma_{\text{coord}} \cdot G^T$$

Eq. 25

Fazendo as multiplicações  $G \cdot \Sigma_{\text{coord}} \cdot G^T$  tem-se como resultado a Matriz Variância Covariância - MVC das diferenças de coordenadas ( $\Sigma \Delta p_i$ ) para um único ponto:

$$\Sigma \Delta p_i = \begin{vmatrix} \Sigma_{X_T^2} + \Sigma_X^2 & 0 & 0 \\ 0 & \Sigma_{Y_T^2} + \Sigma_Y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \Sigma_{Z_T^2} + \Sigma_Z^2 \end{vmatrix}$$

Eq.26

Assim o cálculo da matriz peso é realizado da seguinte forma:

$$P = \sigma_0^2 \begin{vmatrix} \Sigma \Delta p_1 & 0 \\ 0 & \Sigma \Delta p_2 \\ 0 & \Sigma \Delta p_n \end{vmatrix}^{-1}$$

Eq.27

Onde  $n$  é o número de vértices observados e  $\Sigma \Delta p_i$   $i=(1,2,\dots,n)$ , são submatrizes quadradas  $3 \times 3$ . Uma vez formulada todas as matrizes do sistema de equações normais o acréscimo  $X$  pode ser obtido por:  
 $X = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot (A^T \cdot P \cdot L)$

Eq.28

O vetor dos acréscimos é mostrado a seguir:

$$X = \begin{pmatrix} dTx \\ dTy \\ dTz \\ d\mu \\ d\alpha1 \\ d\alpha2 \\ d\alpha3 \end{pmatrix}$$

Eq.29

c) A matriz A é calculada a partir da derivada das equações de observação em relação aos parâmetros e é apresentada na sua forma genérica a seguir:

$${}_nA_7 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_1 & 0 & -Z_1 & Y_1 \\ 0 & 1 & 0 & Y_1 & Z_1 & 0 & -X_1 \\ 0 & 0 & 1 & Z_1 & -Y_1 & X_1 & 0 \\ & & & & & & \cdot \\ & & & & & & \cdot \\ & & & & & & \cdot \\ 1 & 0 & 0 & X_n & 0 & -Z_n & Y_n \\ 0 & 1 & 0 & Y_n & Z_n & 0 & -X_n \\ 0 & 0 & 1 & Z_n & -Y_n & X_n & 0 \end{pmatrix}$$

Eq.30

d) Os parâmetros a serem determinados serão:

$$X = \begin{pmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \\ \delta m \\ \omega x \\ \omega y \\ \omega z \end{pmatrix}$$

Eq.31

O desenvolvimento completo e mais detalhado pode ser consultado em GEMAEL (1994) e DALMOLIN (2004).

Conforme BANNISTER (1998) a transformação através da utilização do modelo matemático Molodensky Simplificado possui a vantagem de que não é necessária qualquer informação a priori do sistema geodésico, é função apenas da relação de posição e orientação entre os sistemas. Teoricamente, basta o conhecimento de 3 pontos no espaço com coordenadas conhecidas nos dois sistemas para se determinar o conjunto de parâmetros. O autor acrescenta ainda que é o método mais utilizado para relacionar um sistema de origem terrestre a um sistema de origem geocêntrica.

Com base em ANCIÃES & OLIVEIRA (2003) citado por PINO (2007) cabe salientar que para a aplicação da transformação de similaridade é necessário obter o terno de coordenadas geodésicas ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) às feições representadas numa base cartográfica. A latitude ( $\varphi$ ) e longitude ( $\lambda$ ) são obtidas diretamente ao aplicar às coordenadas de projeção das feições mapeadas, às funções inversas da projeção cartográfica. O valor de  $h$ , em geral, não é conteúdo da base cartográfica e portanto deve ser deduzido a partir de outras informações: altitude ortométrica ( $H$ ) e ondulação geoidal ( $N$ ), em razão que:

$$h \approx H + N$$

Eq. 32

A altitude ortométrica ( $H$ ) para cada feição da base cartográfica pode ser obtida a partir das curvas de nível num processo de interpolação. O valor da ondulação geoidal ( $N$ ) pode ser obtido de mapas de altitudes geoidais da região. Por um lado, a quantidade de cálculos do processo de transformação aumenta significativamente por conta do processo de interpolação, na procura do valor  $H$  para cada ponto que define espacialmente cada feição mapeada, e por outro lado a não disponibilidade, em alguns casos, de mapas de altitudes geoidais para determinar o valor da ondulação geoidal. Na impossibilidade de determinar a componente altimétrica ( $h$ ), usa-se, para efeito da transformação, considerar a altitude elipsóidica como igual a zero ( $h=0$ ), ou caracterizar o conjunto de dados como bidimensional.

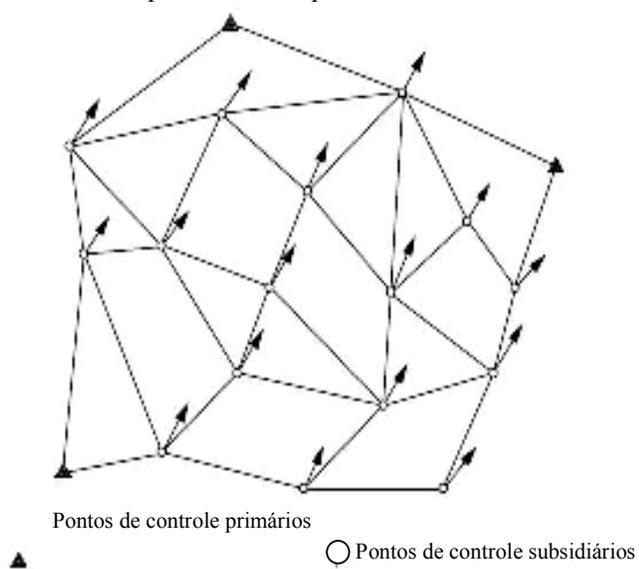
Segundo SCHMITT et al in (1991) citado por HOFMANN-WELLENHOF et al (1994) na abordagem tridimensional utilizada pelos modelos matemáticos de transformação de coordenadas, a altura geométrica pode ser substituída pela altitude ortométrica sem causar efeitos significativos nas coordenadas horizontais ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) e, conseqüentemente, na determinação dos parâmetros de transformação desde que a área levantada seja pequena, ou seja, não considerando a curvatura terrestre.

## 2.8 PROBLEMÁTICA DAS DISTORÇÕES

As modelagens descritas anteriormente para transformação de coordenadas, não levam em conta um dos problemas fundamentais para com as redes geodésicas terrestres que é o acúmulo de erros sistemáticos. Redes implantadas com o uso de técnicas espaciais não são susceptíveis a este tipo de problema (THOMSON, 1976).

As redes horizontais são afetadas por uma combinação de erros aleatórios e sistemáticos (VANÍCEK & STEEVES, 1996). Neste caso, parece natural induzir algum procedimento para a modelagem das distorções residuais que permita que para qualquer ponto existente na área de trabalho, podem-se prever as distorções por meio de um modelo adequado e aplicar correções às coordenadas transformadas.

Na figura 10, COLLIER et al (1996) ilustra a origem da distorção em uma rede, através da ilustração dos pontos da rede de controle primária e dos pontos subsidiários.



**Figura 10:** Origem da distorção dos dados

Fonte: COLLIER et AL (1996)

COSTA (1999) realizou um estudo sobre a integração da rede geodésica brasileira aos sistemas de referência terrestres, a qual utiliza uma transformação de similaridade no espaço tridimensional associada ao conceito de modelagem dos resíduos para o tratamento das distorções.

De acordo com COSTA (1999) o reajustamento de uma rede geodésica causa a mudança das coordenadas das estações como resultado combinado de dois efeitos:

a) O impacto da mudança do referencial (definição/origem). Este é um efeito que não altera a forma da rede e pode ser estimado através da transformação de similaridade, desde que o relacionamento entre a definição do referencial novo e antigo seja conhecida em termos das translações, rotações e escala.

b) O impacto da inclusão de novas observações e uma metodologia de ajustamento mais rigorosa altera a geometria (forma) da rede. No caso da rede brasileira, esta mudança permitiu detectar distorções existentes antes do processo de reajustamento. Estas distorções não podem ser estimadas através de uma simples transformação de similaridade.

O que ocorreu com o reajustamento da rede planimétrica brasileira é um exemplo típico do efeito (b). Como mencionado anteriormente, os parâmetros definidores do SAD69 foram mantidos, cabendo somente a alteração na quantidade de estações/observações e metodologia de ajustamento.

Quanto ao comportamento das distorções com relação às escalas das cartas, estas surgem quando a base cartográfica é referida à materialização original do SAD69 e existe a necessidade de se lançar nessa base, novas coordenadas (materialização de 1996). O que ocorre são diferenças provenientes de duas materializações distintas, assim denominadas por distorções. Estas diferenças, por sua vez, não têm um comportamento sistemático e homogêneo, o que dificulta ainda mais o estabelecimento de um procedimento para que possam ser estimadas. Além disso, a rede reajustada faz parte da estrutura de alta

precisão, o que na maioria das vezes não é a estrutura que serviu diretamente de apoio a um determinado mapa. De qualquer forma, ao analisar o erro decorrente das distorções da rede em diversas escalas de mapas, as distorções aparecem no mapa como um deslocamento, que será significativo conforme a sua escala e a sua localização geográfica. No quadro 5 são apresentados os deslocamentos máximos - 15 metros, em várias escalas de mapas que variam de 1:1.000.000 a 1:1000. Através desta tabela constatam-se que os deslocamentos correspondentes às distorções máximas são negligenciáveis até a escala de 1:50.000.

**Quadro 5:** Efeito das distorções em diferentes escalas da materialização original do SAD69 para com o ajustamento de 1996.

ESCALA 1:	Deslocamento em mm
1000000	0.02
500000	0.04
250000	0.08
100000	0.15
50000	0.3
25000	0.6
10000	1.5
5000	3.0
2000	7.5
1000	15.0

Fonte: IBGE (2000)

Conforme COSTA & SANTOS (1998) atualmente, o sistema de posicionamento por satélite permite o posicionamento tridimensional em um referencial geocêntrico. Além disso, oferece um nível de precisão superior ao fornecido pelos procedimentos clássicos. Uma compatibilização entre a realização de tais sistemas só é considerada como ideal se as distorções inerentes àquelas materializações forem contempladas. Os autores tratam as distorções residuais como superfície matemática.

Outros estudos foram realizados na tentativa de determinar a melhor maneira de trabalhar com as distorções. OLIVEIRA (1998b) em seu trabalho analisou a situação entre as duas materializações do SAD-69, o inicial e o ajustamento realizado em 1996. O autor apresenta uma análise que além de determinar parâmetros de transformação, é feita uma modelagem das distorções usando uma transformação geométrica afim geral a 12 parâmetros combinada a uma triangulação de *Delaunay*.

Importante salientar neste contexto as atividades realizadas em âmbito do projeto de Mudança do Referencial Brasileiro – PMRG do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e o Infra-Estrutura Geoespacial Nacional – PIGN, entre o Brasil e o Canadá. Este grupo reúne pesquisadores que são responsáveis por estudos referentes à conversão dos referenciais. No ano de 2007, os grupos de trabalho GT3 - Conversão de Referenciais e GT5 – Impactos aos usuários se encontraram para discussão, profissionais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA e Instituto de Geociências Aplicadas de Minas Gerais – IGA. A principal discussão realizada tratou de alternativas para a modelagem de distorções. Os métodos que estão sendo utilizados por este grupo de trabalho tratam-se das seguintes alternativas: redes neurais; interpolador de Sheppard em conjunto com a solução por grades, através do Software NTV2; colocação por mínimos quadrados; método dos elementos finitos; polinômios imaginários

associados à solução por grades e triangulação de *Delaunay*. Maiores informações a respeito dos trabalhos podem ser encontradas em OLIVEIRA et al (2007).

Cabe salientar, a migração avaliada neste trabalho esta direcionada a mudança do SAD69 (1996) para o SIRGAS2000, ambos materializados por técnicas espaciais e são caracterizados por terem um padrão de distorção muito menor que aqueles determinados pelas técnicas terrestres (triangulação e poligonização).

## CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODO

---

### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para realização desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos. Os mapeamentos utilizados nesta pesquisa apresentavam-se na escala 1:2.000, dos seguintes municípios brasileiros, segundo o quadro 6.

**Quadro 6:** Relação dos mapeamentos

	<i>Município - Estado</i>	<i>Data do mapeamento</i>	<i>Projeção – Referencial</i>
1.	Chapecó – Santa Catarina	1998	UTM / SAD69 (1996)
2.	Curitiba - Paraná	2006	UTM/SAD69 (1996)
3.	São José dos Pinhais - Paraná	2006	UTM/SAD69 (1996)

Todos os procedimentos de processamento, análise e editoração da pesquisa foi realizada através de um computador com Processador Core 2 Duo, 2G RAM.

Todas as licenças dos softwares utilizados pertencem ao Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe na Alemanha. Entre os softwares utilizados estão: Microstation V8 – Bentley, Auto CAD 2006 (para manipulação das bases cartográficas); ArcGis 9.2 – ESRI (para transformação dos *data*); Matlab 7.1 (para implementação de rotinas de programação) e Programa AETRA - *Ähnlichkeits-Transformation mit Stochastischen Punkten*, como apoio ao ajustamento para determinação de parâmetros entre os dois sistemas de referência geodésicos estudados.

Entre os softwares disponibilizados pelo IBGE para transformação de coordenadas de pontos, foram utilizados o TCGEO e o PROGRID. Atualmente o segundo substituiu o primeiro.

Entre os pontos de apoio, referentes ao mapeamento do município de Chapecó estão os relatórios das estações geodésicas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, próximas ao município: São Miguel do Oeste – estação IBGE 91865, Caçador - estação IBGE 91862, Campos Novos -estação IBGE 91863 e os dados referentes às estações GPS do Estado de Santa Catarina;

Para o mapeamento dos municípios de Curitiba e São José dos Pinhais foram utilizados os dados da Rede Geodésica GPS/Copel-PR.

### 3.2 ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo abrangem localidades situadas na região Sul do território brasileiro, no Estado de Santa Catarina: o município de Chapecó e no Estado do Paraná, os municípios vizinhos: Curitiba e São José dos Pinhais, ambos pertencentes à Região Metropolitana de Curitiba. Os mapeamentos foram fornecidos por empresas brasileiras da área de Cartografia, após autorização das prefeituras para uso dos materiais. Estas áreas foram selecionadas em virtude das condições do conjunto de dados, dos dados referentes ao apoio de campo e conhecimento de vértices geodésicos que pudessem ser considerados nas

análises. Na Figura 11 a seguir, pode ser observada a localização de cada área de estudo no território nacional.



**Figura 11:** Localização das áreas de estudo

### 3.2.1 Mapeamentos utilizados

a) Mapeamento do Município de Chapecó, Estado de Santa Catarina:

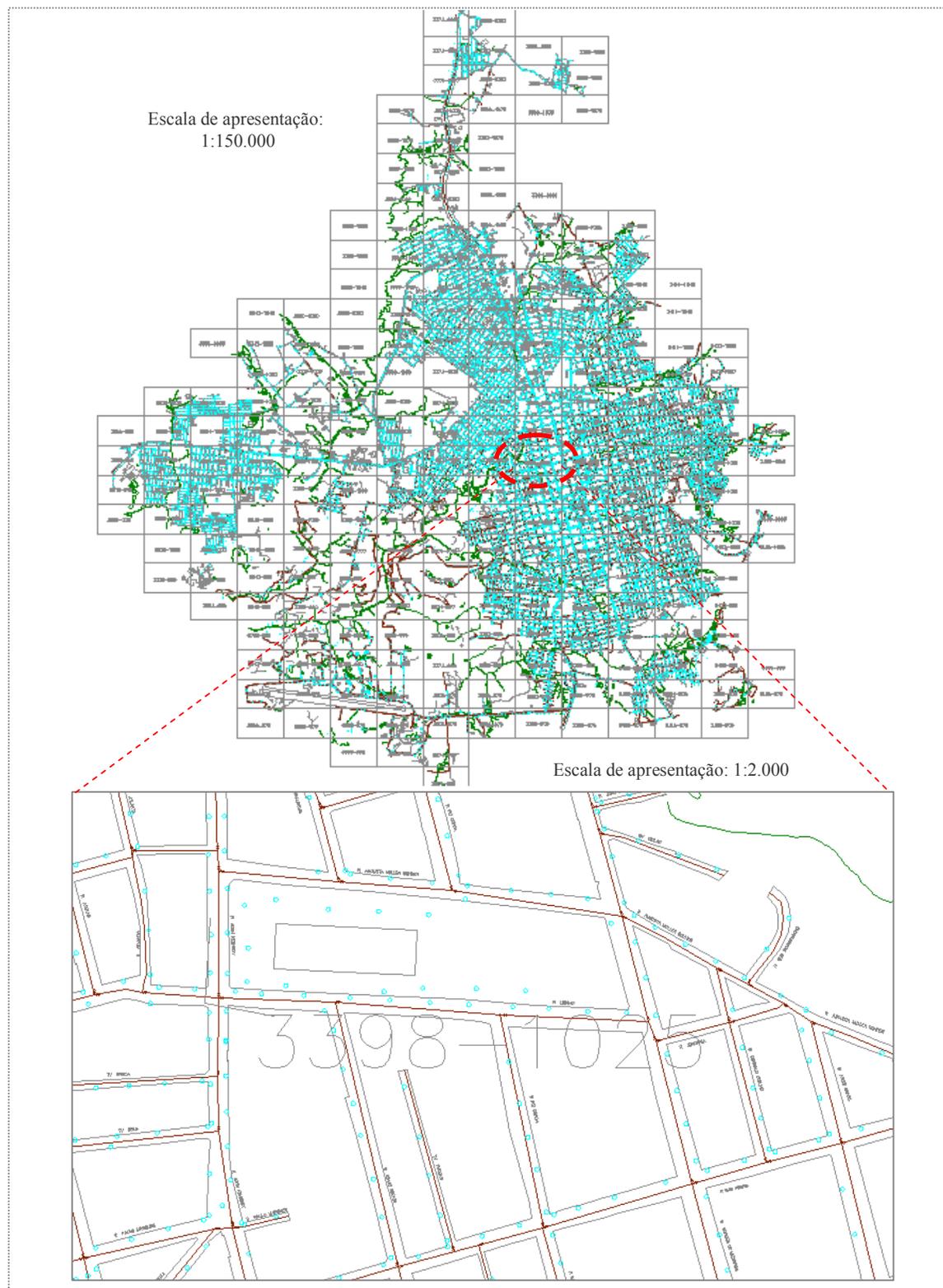


Figura 12: Mapeamento do Município de Chapecó – SC



A figura 13 apresenta o mapeamento do Município de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil. Para efeito de visualização da área total foi apresentado o recorte de uma folha central na escala 1:150.000. O mapeamento original foi efetuado na escala 1:2.000, Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM. As feições presentes no mapeamento são: edificações públicas e residenciais, quadras, pontos de controle, sistema viário (arruamento, ferrovias, rodovias, eixos de via), hidrografia, toponímia de ruas e das edificações públicas, bosques e praças. Este mapeamento foi obtido através de contato com o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba - IPPUC. O arquivo foi cedido no formato *Digital Exchange Format* - .dxf. Dos três mapeamentos utilizados, este é o único que possui as estruturas topológicas já editadas para SIG. O método de levantamento utilizado foi a aerofotogrametria precedida de restituição fotogramétrica digital de todas as feições presentes no mapeamento.

c) Mapeamento do Município de São José dos Pinhais, Estado do Paraná:

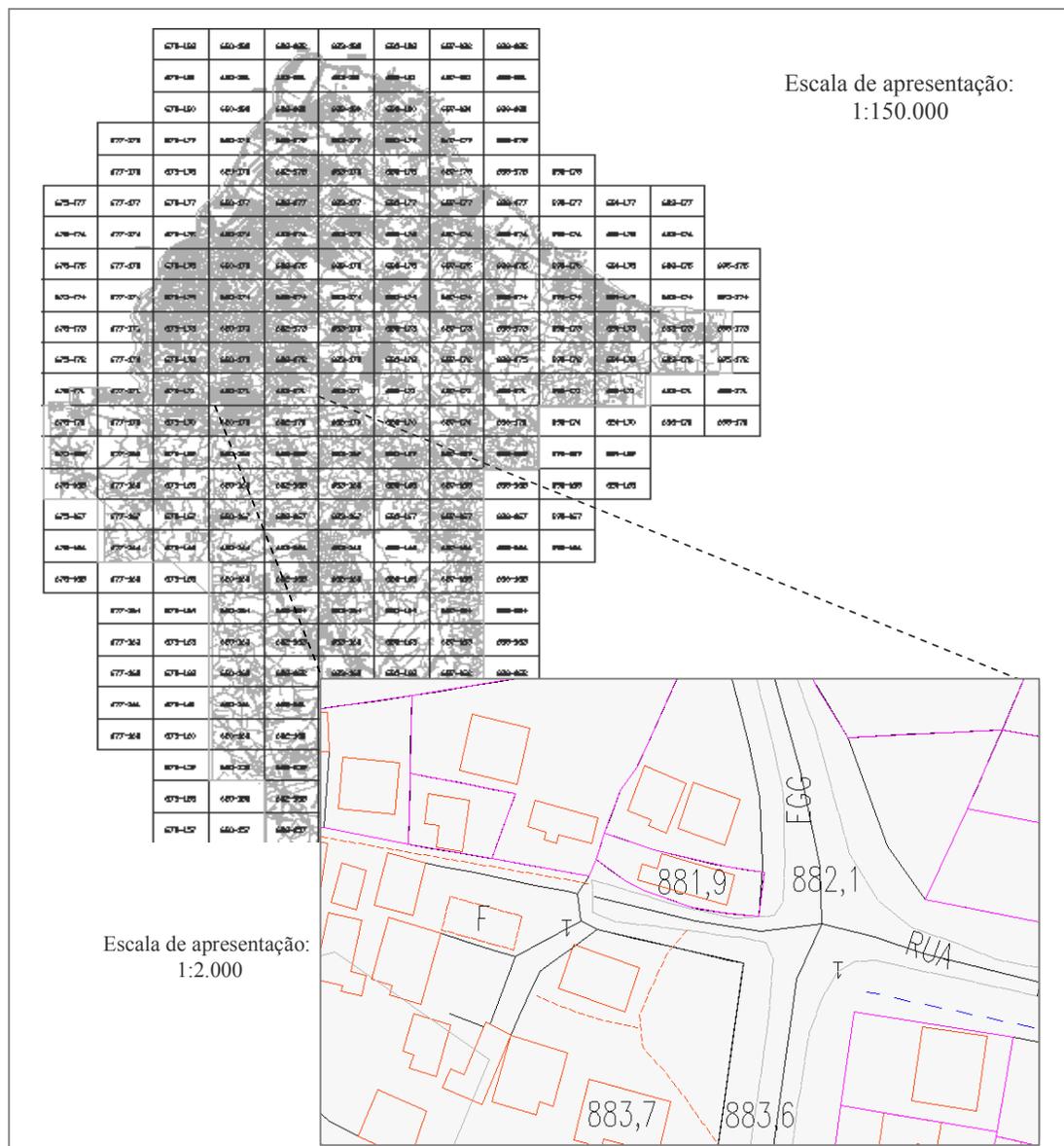


Figura 14: Mapeamento do Município de São Jose dos Pinhais – PR

A figura 14 apresenta o mapeamento do Município de São José dos Pinhais, Estado do Paraná, Brasil. Para efeito de visualização da área total foi apresentado o recorte de uma folha central na escala 1:150.000. O mapeamento original foi efetuado na escala 1:2.000, Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM. Entre os mapeamentos utilizados, este foi o que apresentou o maior número de feições, sendo elas: pontos de controle, curvas de nível, sistema viário (com doze subdivisões), ferrovia, acostamento, limite de propriedade, divisas (municipal, estadual), parques, reservas, pontes, viadutos, pinguela, túnel, trincheira, bueiros, passarela, movimentos de terra, cava, barragens, aterro, aeroporto, chafariz, monumento, poço, tanque, reservatório, caixa d' água, escada, rampa, arquibancada, estação de tratamento de esgoto, piscina, quadras esportivas, chaminé, edificações (residenciais, comerciais e industriais), clube, sítio, chácara, marquise, edificações de uso público, igreja, escola, creche, hospital, posto de saúde, ruína, construção, cemitério, jardim, canteiro, linha de transmissão, usina e subestação, postes, antenas, torre de telecomunicação, adutora, encanamento, vala, dreno, canal, rio perene, cachoeira, corredeira, rio intermitente, nascente, fonte, lago, lago perene, alagado, mangue, árvore isolada, reflorestamento, culturas, pastagem, vegetação de grande porte, vegetação de pequeno porte. Este mapeamento foi obtido através de contato com a Prefeitura de São José dos Pinhais. O arquivo foi cedido no formato *Digital Exchange Format* -.dxf, além de outros arquivos com escala menor no formato Shapefile - .shp. O método de levantamento utilizado foi a aerofotogrametria precedida de restituição fotogramétrica digital de todas as feições presentes no mapeamento.

### 3.3 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para uma melhor compreensão das etapas de desenvolvimento da pesquisa apresenta-se o organograma na figura 15.

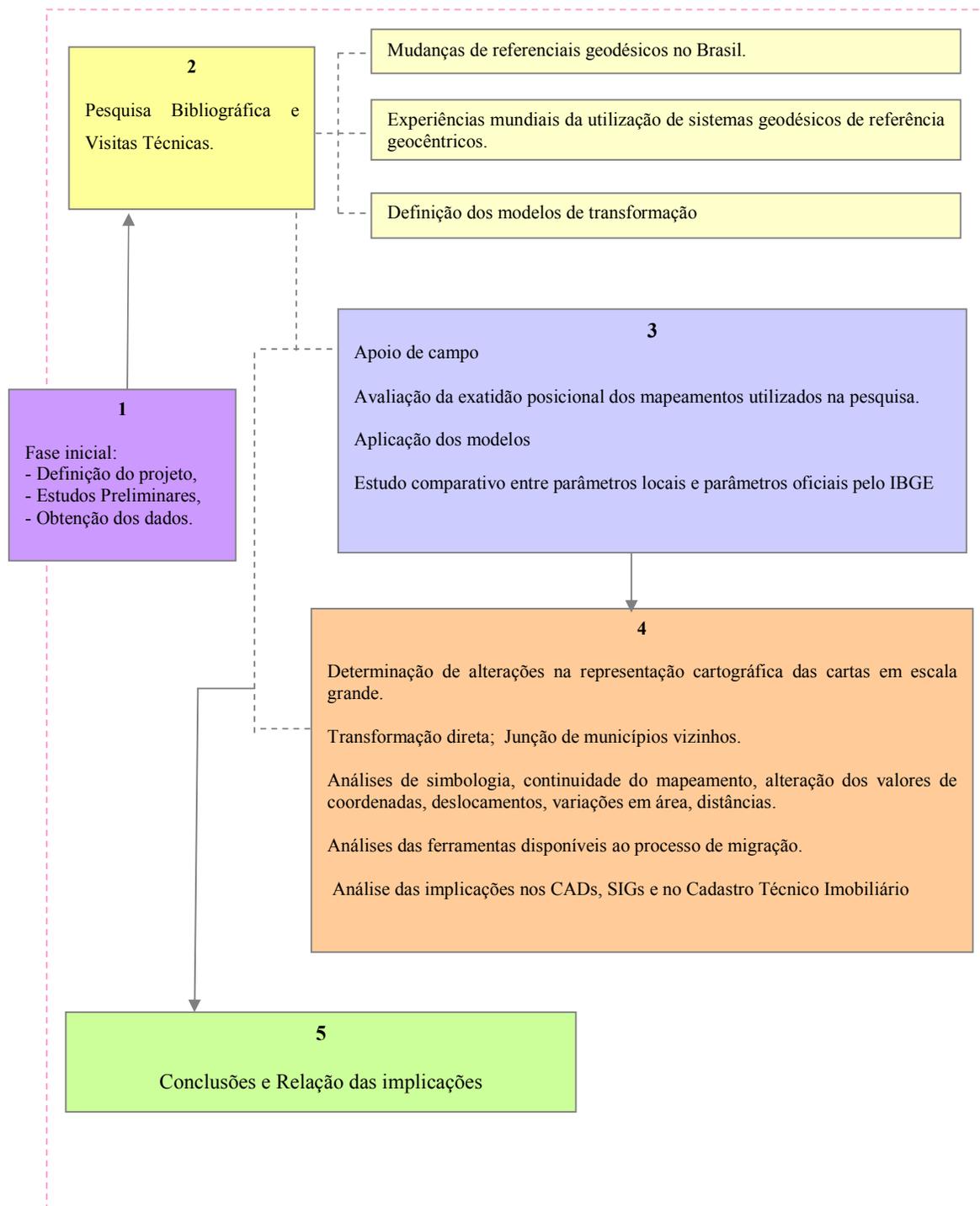


Figura 15: Organograma das etapas de desenvolvimento da tese

### 3.4 MÉTODO

Com base na seqüência do organograma apresentado na figura 15 é descrito o método utilizado nesta pesquisa.

Foram quatro as etapas de desenvolvimento. Na fase inicial foram definidos os objetivos do projeto e alguns estudos preliminares.

Na segunda etapa foi realizado o levantamento bibliográfico, algumas visitas técnicas. Além do levantamento de toda teoria inserida na pesquisa. Um dos objetivos foi o de realizar um levantamento histórico das mudanças de referenciais geodésicos no Brasil e uma pesquisa a respeito das experiências de outros países com o advento da utilização de sistemas geodésicos de referência geocêntricos, podendo assim realizar análises a respeito da situação atual que ocorre no Brasil para com o mundo. A revisão sobre as experiências mundiais da adoção dos referenciais geocêntricos foi realizada a partir de pesquisa bibliográfica, visitas em órgãos responsáveis pela Cartografia na Alemanha, como *Landesvermessungsamt* de Karlsruhe (uma espécie de Instituto de Terras do Estado de Baden-Württemberg) e no *Bundesamt für Kartographie und Geodäsie* de Frankfurt (Instituto de Cartografia e Geodésia da Alemanha), além da participação em Congressos internacionais no qual o tema foi debatido, como *GIS-Days 2007* em Münster na Alemanha e o *TOP-CART 2008* em Valência na Espanha. Nesta etapa também foi realizada a pesquisa sobre os modelos de transformações adequados para posteriormente definição dos quais seriam utilizados. Os resultados estão inseridos no capítulo que abrange a o Referencial Teórico e Metodológico.

Na terceira etapa foi realizado o apoio de campo para avaliação das cartas utilizadas nos testes e a aplicação dos diferentes modelos de transformação. Além do estudo sobre a utilização de parâmetros locais e os globais propostos pelo IBGE.

Como os dados utilizados nesta pesquisa foram adquiridos através de contatos com empresas de Cartografia, verificou-se a necessidade de avaliar a qualidade deste material, através da avaliação da exatidão cartográfica. Para isso foi analisada a qualidade posicional do mapeamento, determinando a classificação da carta de acordo com o Decreto 89.817/84<sup>10</sup> e testes estatísticos para avaliação da existência de tendências no mapeamento, uma vez que é necessário conhecer a qualidade do produto para que se possa levar em consideração nas análises geométricas a respeito das conseqüências das transformações.

O estudo sobre a utilização de parâmetros locais e os globais propostos pelo IBGE foi realizado com o intuito de comparação. Os parâmetros de transformação propostos pelo IBGE foram obtidos considerando as estações localizadas em todo o território nacional. Já os parâmetros locais obtidos nesta pesquisa, consideraram somente estações de uma determinada região de interesse; no caso deste estudo: os municípios de Chapecó-SC e de Curitiba-PR. Foram aplicados os modelos de transformação Molodensky Simplificado e Bursa Wolf para determinação dos parâmetros. O primeiro de acordo com o método do IBGE e o segundo conforme FEATHERSTONE & LANGLEY (1997) e HARVEY (1986).

Considerando o direcionamento dado a este trabalho, que são as implicações na cartografia em escala grande, em virtude da mudança de referencial geodésico, a transformação Bursa Wolf é considerada

---

<sup>10</sup> Decreto 89.817/84 – Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

por FEATHERSTONE & LANGLEY (1997) e HARVEY (1986) como a mais adequada e a que fornece os menores resíduos nas transformações.

A quarta etapa foi direcionada para a determinação das alterações na representação cartográfica em escala grande. Após os estudos realizados anteriormente e com as indicações quanto aos modelos de transformações, algumas simulações foram realizadas como uma maneira de constatar algumas conseqüências nos mapeamentos em estudo. Entre os estudos, foi realizada uma avaliação geométrica da representação cartográfica onde foram analisadas algumas feições pontuais, lineares e de área. Posteriormente, foi realizada uma sobreposição dos diferentes resultados dos mapeamentos após as transformações com diferentes modelos de transformação.

Dando continuidade a quarta etapa, foram analisadas as possibilidades para transformação dos mapeamentos em meio digital, assim como uma análise das implicações nos Sistemas de Informações Geográficas- SIG e de Desenho Auxiliado por Computador – CAD e as conseqüências técnicas, jurídicas e fiscais ao Cadastro Técnico Imobiliário.

## CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

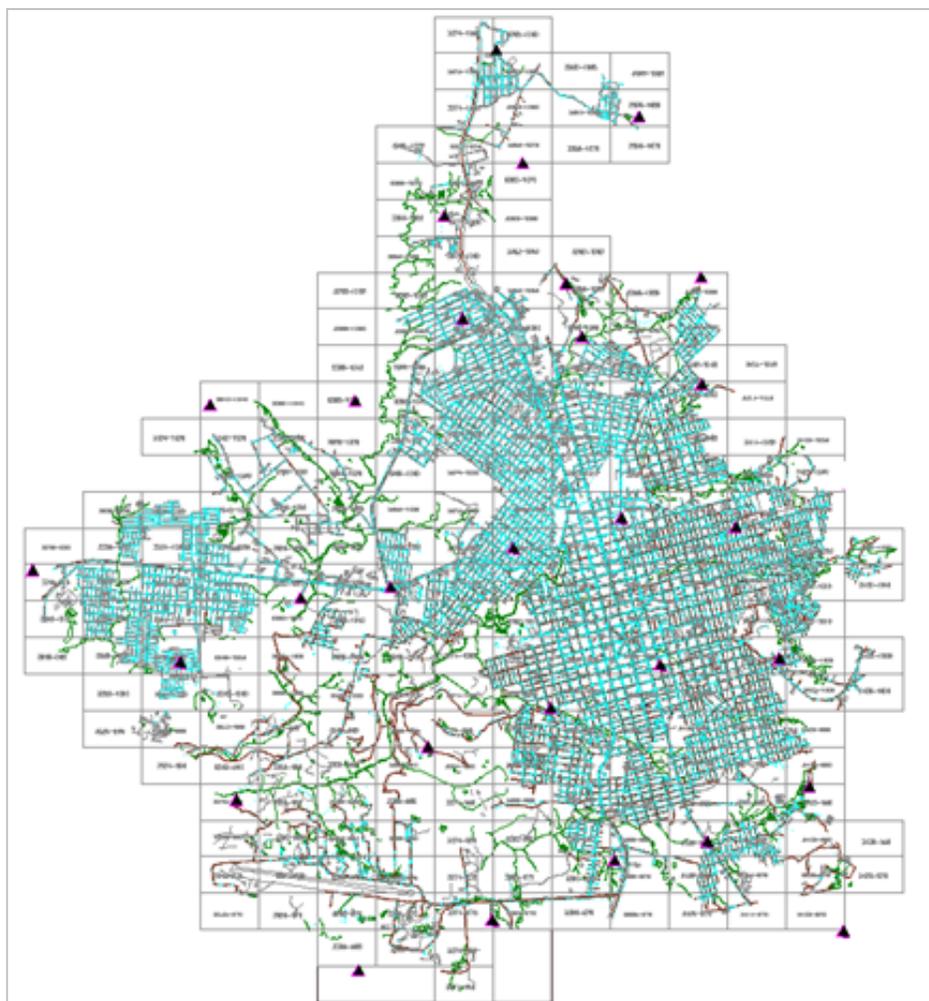
---

Neste capítulo serão apresentados os resultados do desenvolvimento metodológico, assim como as análises e discussões de cada etapa de pesquisa.

### 4.1 DETERMINAÇÃO DO APOIO DE CAMPO

A determinação dos pontos de controle terrestre foi realizada, visto que seriam necessários pontos com qualidade para efetuar a avaliação da exatidão posicional dos mapeamentos e a determinação dos parâmetros locais.

Para o apoio de campo do município de Chapecó-SC foram determinados 26 pontos. Estes pontos foram planejados de maneira que estivessem distribuídos uniformemente pelo município, como mostra a figura 16. Os pontos de apoio foram implantados pela empresa que executou o levantamento e estes restituídos. Estes pontos foram implantados em esquinas de quadras com meio fio materializado.



**Figura 16:** Distribuição dos pontos de apoio no município de Chapecó-SC

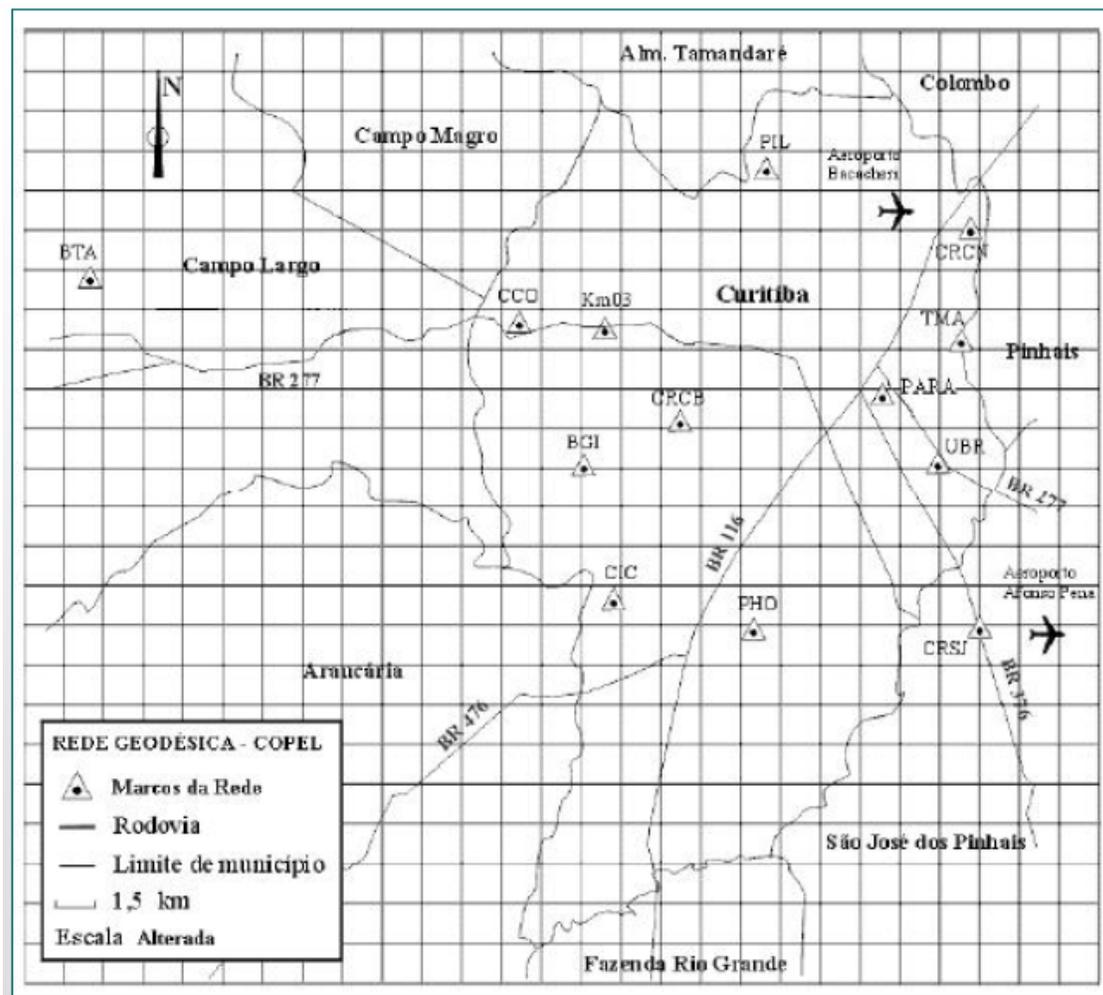
Para o levantamento destes pontos foram utilizados receptores GPS Leica SR 520 de dupla frequência ( $L_1$  e  $L_2$ ). O método de posicionamento utilizado foi o relativo e a técnica estática. A estação utilizada como base para o levantamento foi a Estação Chapecó, pertencente à Rede GPS do Estado de Santa Catarina. O período de ocupação em cada ponto foi de 30 minutos. Este período de ocupação está diretamente relacionado à distância das estações a que se deseja obter as coordenadas e a estação base. O pós-processamento foi realizado com o software Sky Pro 1.0 e a precisão pós-processamento ficou dentro dos valores de 20 mm + 2 ppm, dentro da tolerância exigida pelo erro padrão de uma carta classe A, proposta pelo Padrão de Exatidão Cartográfica Nacional. As coordenadas dos pontos de controle são apresentadas na tabela 1 a seguir.

**Tabela 1:** Coordenadas dos pontos de referência Chapecó-SC

<b>Pontos de controle no terreno - UTM SAD69</b>		
	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>
1	333056,12	6997060,03
2	333912,03	7000639,06
3	331638,95	7003487,05
4	335559,68	6998637,12
5	335554,89	7001520,04
6	334321,70	7004166,12
7	338177,67	6997102,23
8	336301,06	7004220,03
9	340129,83	6995998,34
10	338999,62	6995212,34
11	338459,71	7002201,56
12	337773,32	7005345,34
13	335491,24	7005765,56
14	337514,59	7006748,78
15	335209,07	7006912,34
16	341828,93	6996355,23
17	340467,72	7000599,67
18	339184,18	7005830,21
19	338227,09	7009025,23
20	342977,88	6996952,23
21	342505,97	6998929,34
22	341027,51	7005915,56
23	340179,62	7008108,67
24	343930,15	6999345,98
25	343728,88	7001178,56
26	343069,31	7003078,45

Para a determinação dos pontos de controle dos municípios vizinhos de Curitiba e São José dos Pinhais foram utilizados pontos pertencentes à Rede Geodésica GPS da Companhia de Energia Elétrica do Paraná – COPEL. Esta rede possui uma série de dados atualizados e de diversas épocas.

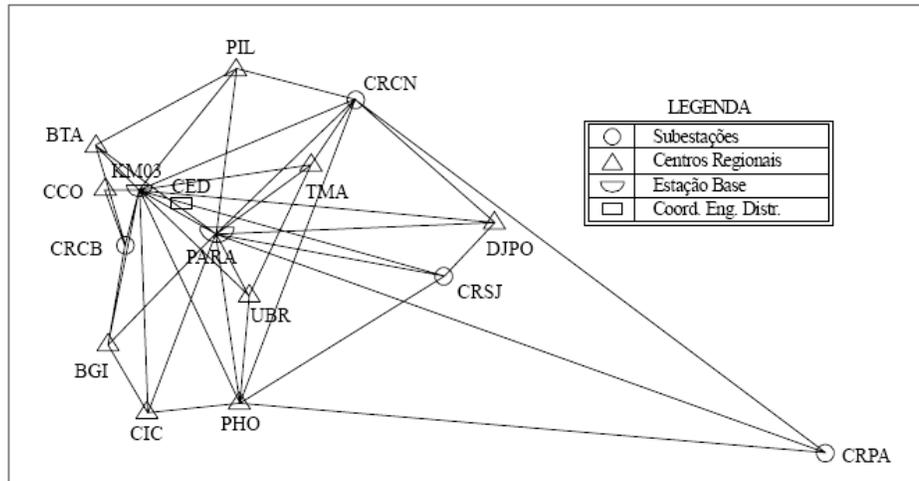
Na região metropolitana de Curitiba estão presentes 15 estações desta rede. As estações estão localizadas nos municípios de Curitiba, São José dos Pinhais, Colombo e Campo Largo, como mostra a figura 17.



**Figura 17:** Localização das Estações da Rede Geodésica da Copel na Região Metropolitana de Curitiba

Fonte: TEIXEIRA & FERREIRA (2003)

A rede geodésica da Copel figura 18 foi materializada em 1998 com o objetivo de disponibilizar à Copel suas próprias estações base para levantamentos cadastrais de postes e de linhas de transmissão com o uso da tecnologia de posicionamento por satélites. Estas estações encontram-se nas dependências das subestações e dos centros regionais, monumentadas diretamente no solo, na cobertura de edifícios ou em caixas d' água dos edifícios.



**Figura 18:** Rede Geodésica GPS/COPEL.

Fonte: FREIBERGER (2007)

Para o posicionamento das estações desta rede, foram utilizadas as estações KM03 e PARA (atualmente é denominada Estação UFPR) - esta pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC - como base para o rastreamento. A técnica utilizada foi a estática, empregando-se três receptores geodésicos (dois Ashtech Z-XII e um Trimble SSI), com taxa de coleta de 15s, ângulo de elevação de 15 graus e o período de ocupação em cada estação de aproximadamente 120 minutos. Este período de ocupação está diretamente relacionado à distância das estações a que se deseja obter as coordenadas e a estação base. Maiores informações sobre a implantação dos pontos desta rede em (CUNHA, 1997).

A rede geodésica GPS da Copel além de subsidiar as atividades de mapeamentos cadastrais da Copel, forneceu subsídios para a realização de várias pesquisas como as de TEIXEIRA & FERREIRA (2003), FREIBERG (2006), PRADO (2001) entre outros.

As estações materializadas no solo constituem-se de estruturas tronco-piramidais de concreto ao passo que as estações dos centros regionais foram materializadas em pilares com sistema de centragem forçada. Algumas destas estações estão localizadas próximas a estruturas metálicas e a linhas de transmissão, o que sugere a vulnerabilidade do posicionamento GPS de alta precisão ao efeito de multicaminho dos sinais que causam erros no posicionamento.

Estas estações foram submetidas à ocupação pelo método relativo, técnica estática para a determinação de coordenadas precisas. Na figura 19 mostra-se a monumentalização de uma estação desta rede.



**Figura 19:** Exemplo da monumentalização das estações da rede

O pós-processamento dos dados foi realizado com o programa comercial PRISM IITM (*Ashtech Precision GPS Surveying Software*), por meio do qual foram realizadas a preparação dos dados brutos, o processamento e o ajustamento deles. Os relatórios gerados pelo programa forneceram os resultados do processamento, a qualidade destes resultados e a solução final do ajustamento. A precisão pós-processamento apresentou-se dentro dos valores de 10mm + 1 ppm, cerca de 20 mm – visto que o comprimento das linhas base foram em média de 10Km - dentro da tolerância exigida pelo erro padrão de uma carta classe A, proposta pelo Padrão de Exatidão Cartográfica Nacional.

A seguir, na tabela 2 apresentam-se as coordenadas presentes nas áreas de estudo. A rede possui na região metropolitana 15 estações, onde 11 estações abrangem os municípios de Curitiba e São José dos Pinhais.

**Tabela 2:** Coordenadas dos pontos de controle dos municípios de Curitiba e São José dos Pinhais.

<b>Pontos de controle no terreno - UTM</b>		
<b>SAD69</b>		
	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>
1	673531,010	7192716,498
2	681300,421	7190331,810
3	677929,987	7184270,000
4	680985,998	7186013,221
5	680191,800	7181167,787
6	688246,671	7175126,875
7	681800,100	7174655,998
8	672966,432	7174563,910
9	667723,631	7175734,410
10	666634,932	7180934,910
11	670209,431	7182713,987
12	666919,021	7186067,687
13	664023,943	7186527,510

## 4.2 AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO POSICIONAL DOS MAPEAMENTOS

O procedimento de análise da exatidão cartográfica teve como base as discrepâncias entre as coordenadas de pontos retirados do mapeamento e as coordenadas dos pontos homólogos obtidos a partir de observações realizadas em campo, consideradas como coordenadas de referência. De posse destas discrepâncias, diversos procedimentos podem ser utilizados para a análise da exatidão. Nesta pesquisa foram seguidos os procedimentos sugeridos por MERCHANT (1982) e pelo Decreto 89.817/84, apresentados no capítulo II.

Para que a classificação da carta seja realizada com segurança, deve-se saber qual a qualidade necessária na determinação dos pontos de referência. Esta qualidade depende da escala e da classe esperada para a carta. Segundo MERCHANT (1982) os pontos de referência devem ser determinados por procedimentos na qual o erro não seja superior a 1/3 do erro padrão esperado para a classe do mapeamento.

Como os mapeamentos analisados estavam em meio digital, foram extraídas as coordenadas e posteriormente definida uma escala de referência para que o procedimento pudesse ser aplicado.

**Quadro 7:** Padrão de exatidão planimétrico e erro padrão para as classes A, B e C.

	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>
<b>PEC Planimétrico</b> <sup>(1)</sup>	0,5 mm <sup>(1)</sup>	0,8 mm <sup>(1)</sup>	1,0 mm <sup>(1)</sup>
<b>Erro-padrão</b> <sup>(1)</sup>	0,3 mm <sup>(1)</sup>	0,5 mm <sup>(1)</sup>	0,6 mm <sup>(1)</sup>

Fonte: BRASIL (1984) <sup>(1)</sup> na escala do mapeamento

Em função dos valores expostos no quadro 7, pode-se calcular qual deve ser o erro tolerável para os pontos a serem utilizados como referência para o controle. O quadro 8 a seguir mostra as tolerâncias planimétricas em metros para a escala 1:2.000 no caso dos mapeamentos estudados.

**Quadro 8:** Tolerância planimétrica para o controle de qualidade do mapeamento na escala 1:2 000.

<b>Escala do Mapeamento</b>	<b>Classe</b>	<b>PEC(m)</b>	<b>EP(m)</b>
<b>1:2000</b>	A	1	0,6
	B	1,6	1
	C	2	1,2

Para o município de Chapecó-SC foram utilizados 26 pontos bem distribuídos no mapeamento com suas referentes monografias, as quais estavam acompanhadas um croqui de localização dos pontos, fotografias aéreas e especificações dos pontos como as coordenadas geográficas, *Datum*. Estas informações foram importantes para a localização dos pontos homólogos no mapeamento e no terreno. As coordenadas dos pontos de referência no terreno e do mapeamento utilizados encontram-se na tabela 3. Estes pontos encontravam-se em esquinas de quadras e em quadras poliesportivas.

**Tabela 3:** Coordenadas dos pontos de referência no terreno e no mapeamento de Chapecó-SC

	Terreno		Mapeamento		Discrepâncias	
	UTM SAD69		UTM SAD69			
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
1	333056,12	6997060,03	333057,71	6997059,00	-1,59	1,03
2	333912,03	7000639,06	333912,32	7000638,00	-0,29	1,06
3	331638,95	7003487,05	331639,74	7003488,00	-0,79	-0,95
4	335559,68	6998637,12	335562,32	6998637,00	-2,64	0,12
5	335554,89	7001520,04	335553,36	7001522,00	1,53	-1,96
6	334321,70	7004166,12	334322,01	7004165,00	-0,31	1,12
7	338177,67	6997102,23	338176,76	6997102,00	0,91	0,23
8	336301,06	7004220,03	336299,10	7004220,00	1,96	0,03
9	340129,83	6995998,34	340128,30	6995996,00	1,53	2,34
10	338999,62	6995212,34	339000,20	6995211,00	-0,58	1,34
11	338459,71	7002201,56	338459,70	7002202,00	0,01	-0,44
12	337773,32	7005345,34	337774,20	7005346,00	-0,88	-0,66
13	335491,24	7005765,56	335489,80	7005765,00	1,44	0,56
14	337514,59	7006748,78	337512,00	7006748,00	2,59	0,78
15	335209,07	7006912,34	335210,20	7006911,00	-1,13	1,34
16	341828,93	6996355,23	341828,90	6996353,00	0,03	2,23
17	340467,72	7000599,67	340467,50	7000599,00	0,22	0,67
18	339184,18	7005830,21	339183,20	7005829,00	0,98	1,21
19	338227,09	7009025,23	338226,10	7009028,00	0,99	-2,77
20	342977,88	6996952,23	342977,70	6996952,00	0,18	0,23
21	342505,97	6998929,34	342506,90	6998930,00	-0,93	-0,66
22	341027,51	7005915,56	341026,50	7005913,00	1,01	2,56
23	340179,62	7008108,67	340180,10	7008109,00	-0,48	-0,33
24	343930,15	6999345,98	343930,20	6999345,00	-0,05	0,98
25	343728,88	7001178,56	343727,40	7001178,00	1,48	0,56
26	343069,31	7003078,45	343067,20	7003077,00	2,11	1,45

Para a medição dos pontos no mapeamento de cada ponto de interesse, foram realizadas três medidas de cada ponto e realizada a média aritmética. Como os pontos de referência foram obtidos através das coordenadas geográficas e referenciados ao SIRGAS2000, estes pontos coletados no mapeamento necessitaram de transformação. Para isso foi utilizado o Programa TCGeo do IBGE.

A partir da determinação dos pontos de referência, das transformações necessárias, da medição dos pontos no mapeamento e do cálculo das discrepâncias e a análise estatística foi realizada conforme as Eq. 01 a 10 descritas no capítulo II. Na tabela 4 é apresentado um resumo das estatísticas.

**Tabela 4:** Resumo das estatísticas das amostras

Direção	E	N	
<b>Média (E, N) (m)</b>	-0,03	-0,24	
<b>Desvio-padrão (E, N) (m)</b>	1,20	1,25	
<b>t amostral</b>	-0,14	-0,98	
<b>t<sub>(10%)</sub></b>	1,31	1,31	
<b><math>\chi^2_{(10%)}</math></b>	35,56	35,56	
<b><math>\chi^2</math> Classe A</b>	25,96	28,29	<i>Aceita-se H<sub>0</sub></i>
<b><math>\chi^2</math> Classe B</b>	9,34	10,18	<i>Aceita-se H<sub>0</sub></i>
<b><math>\chi^2</math> Classe C</b>	6,49	7,07	<i>Aceita-se H<sub>0</sub></i>

Como pode ser verificada na tabela 4 e 5, a comparação do valor de t amostral é menor do que o valor teórico, revelando assim a inexistência de tendências. A comparação do Qui-quadrado amostral com os valores teóricos indica que o mapeamento pode ser classificado como classe A, para um nível de significância de 10%.

**Tabela 5:** Resumo das estatísticas das amostras

Direção	Resultante	
<b>Média (R) (m)</b>	1,54	
<b>Desvio-padrão(R) (m)</b>	0,78	
<b><math>\chi^2_{(10%)}</math></b>	35,56	
<b><math>\chi^2</math> Classe A</b>	10,94	<i>Aceita-se H<sub>0</sub></i>
<b><math>\chi^2</math> Classe B</b>	3,94	<i>Aceita-se H<sub>0</sub></i>
<b><math>\chi^2</math> Classe C</b>	2,74	<i>Aceita-se H<sub>0</sub></i>

A utilização do critério da proporção amostral, sobre as discrepâncias resultantes, indica resultado semelhante. Dos 26 pontos utilizados, mais de 90% atendem ao PEC planimétrico para a classe A (2 m para a escala 1:2.000) e 90% das discrepâncias são menores que 1,2 mm na escala da carta, conforme o quadro 3.

As cartas de Curitiba e São José dos Pinhais foram avaliadas em conjunto, uma vez que foram utilizados os pontos de controle da Rede Geodésica da Copel e os mapeamentos foram produzidos de acordo com a mesma metodologia.

Adotou-se o mesmo procedimento para medição dos pontos no mapeamento. Foram realizadas três medidas de cada ponto e realizada a média aritmética. As coordenadas dos pontos de referência utilizados encontram-se na tabela 6.

**Tabela 6:** Coordenadas dos pontos de referência Curitiba e SJP-PR

	Pontos no Mapeamento		Pontos no terreno		Discrepâncias	
	UTM SAD69		UTM SAD69			
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
1	673530,86	7192714,04	673531,01	7192716,49	0,14	2,45
2	681298,67	7190330,76	681300,42	7190331,81	1,75	1,05
3	677928,38	7184267,14	677929,98	7184270,00	1,61	2,86
4	680984,36	7186012,93	680985,99	7186013,22	1,64	0,29
5	680190,34	7181166,33	680191,80	7181167,78	1,46	1,45
6	688246,21	7175125,42	688246,67	7175126,87	0,46	1,45
7	681798,64	7174654,54	681800,10	7174655,99	1,46	1,45
8	672968,49	7174562,22	672966,43	7174563,91	-2,06	1,68
9	667723,80	7175732,45	667723,63	7175734,41	-0,17	1,96
10	666635,42	7180934,13	666634,93	7180934,91	-0,48	0,78
11	670208,34	7182711,58	670209,43	7182713,98	1,08	2,39
12	666916,56	7186065,23	666919,02	7186067,68	2,46	2,45
13	664022,18	7186529,97	664023,94	7186527,51	1,76	-2,46

Como resultado da análise estatística para a Carta de Curitiba-PR, o resumo da análise estatística é apresentado através das tabelas 7 e 8.

**Tabela 7:** Resumo das estatísticas das amostras

Direção	E	N	
<b>Média (E, N) (m)</b>	-1,37	-0,85	
<b>Desvio-padrão (E, N) (m)</b>	1,36	1,23	
<b>t amostral</b>	-3,62	-2,50	
<b>t<sub>(10%)</sub></b>	1,36	1,36	
<b>χ<sup>2</sup><sub>(10%)</sub></b>	18,55	18,55	
<b>χ<sup>2</sup> Classe A</b>	15,51	12,58	Aceita-se H <sub>0</sub>
<b>χ<sup>2</sup> Classe B</b>	5,58	4,53	Aceita-se H <sub>0</sub>
<b>χ<sup>2</sup> Classe C</b>	3,88	3,15	Aceita-se H <sub>0</sub>

Como pode ser verificada na tabela 8, a comparação do valor de t amostral é menor do que o valor teórico, revelando assim a inexistência de tendências. A comparação do Qui-quadrado amostral com os valores teóricos indica que a carta pode ser classificada como classe A, para um nível de significância de 10%.

**Tabela 8:** Resumo das estatísticas das amostras

Direção	Resultante	
<b>Média (R) (m)</b>	1,54	
<b>Desvio-padrão(R) (m)</b>	0,78	
$\chi^2_{(10\%)}$	35,56	
$\chi^2$ Classe A	10,94	Aceita-se $H_0$
$\chi^2$ Classe B	3,94	Aceita-se $H_0$
$\chi^2$ Classe C	2,74	Aceita-se $H_0$

A utilização do critério da proporção amostral, sobre as discrepâncias resultantes, indica resultado semelhante. Dos 13 pontos utilizados, mais de 90% atendem ao PEC planimétrico para a classe A (2m para a escala 1:2.000) e 90% das discrepâncias são menores que 1,2mm na escala da carta, de acordo com o quadro 7.

Ambas as cartas das áreas de estudo utilizadas nesta pesquisa atenderam ao PEC planimétrico para a classe A e estendidos para as tolerâncias e escalas de referência utilizadas, seguindo os critérios estabelecidos para o método empregado na avaliação.

Apesar da utilização do PEC proposto na legislação cartográfica nacional como indicador de qualidade das cartas utilizadas, esta metodologia merece algumas considerações. Muitos autores BRANDALIZE (2006), BURITY (1999), LEAL & DALMOLIN (2002), ROCHA (2002) e KARNAUKHOVA (2001) concluem que o PEC, por ser um padrão concebido para avaliar e classificar produtos analógicos, não seria adequado à avaliação de produtos cartográficos em meio digital. Estes autores ressaltam que apesar do PEC necessitar uma revisão quanto à compreensão da avaliação de produtos gerados por processos digitais. Padrões similares continuam sendo utilizados no exterior, dentre eles podem ser citados os da *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* - ASPRS, intitulado “*Accuracy Standards for Large-Scale Maps*” e do *North Atlantic Treaty Organization* - NATO, intitulado “*Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data*” - STANAG 2215. Ambos tratam a acurácia horizontal absoluta como um erro circular que consiste no comprimento do raio do círculo com centro na posição estimada e dentro do qual a verdadeira posição se encontra, com uma probabilidade dada pelo grau de confiança, e a acurácia vertical absoluta como um erro linear ao longo do eixo Z, determinado também como um grau de confiança. Ambos adotam para a acurácia posicional absoluta (horizontal e vertical), graus de confiança de 90%, indicando que a acurácia vertical é uma função da acurácia horizontal, como é feito no PEC.

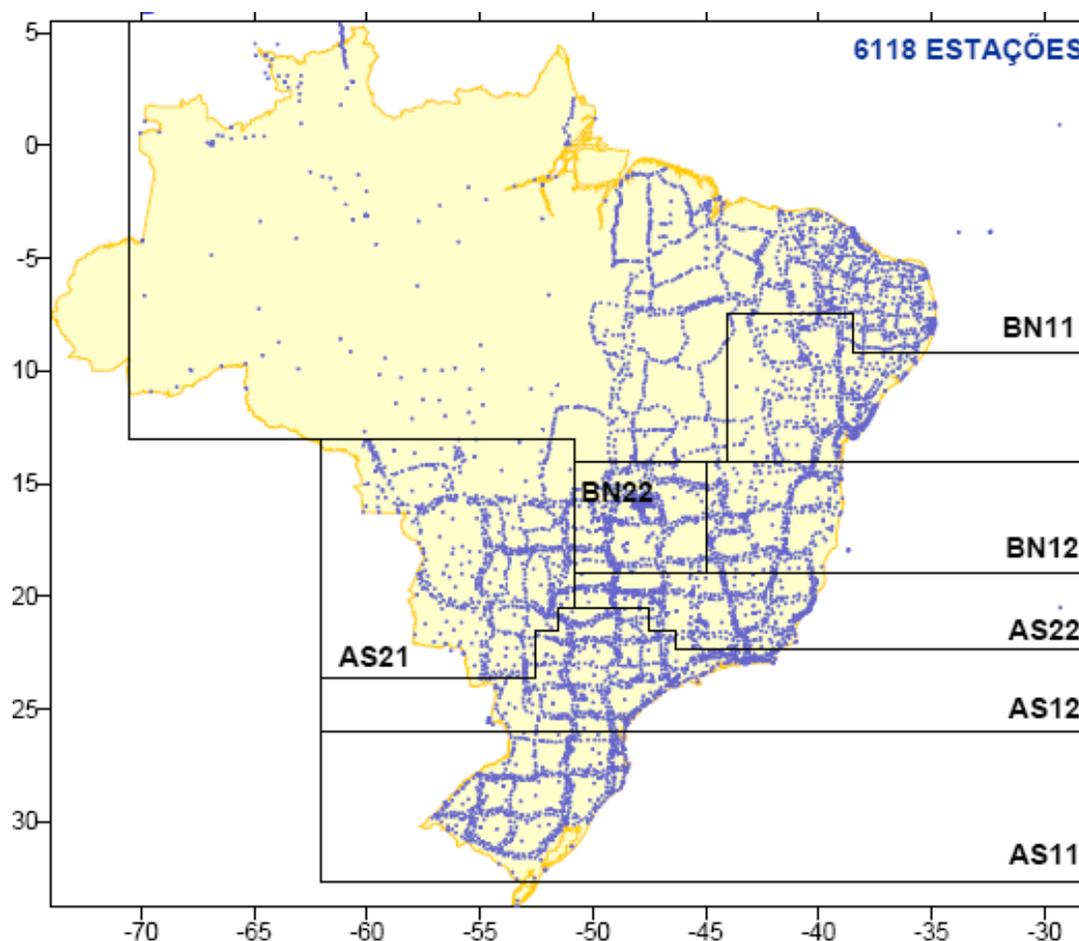
Já o padrão do *Federal Geographic Data Committee* - FGDC intitulado “*Geospatial Positioning Accuracy Standards*” - NCGS, adota um grau de confiança de 95% para a acurácia posicional absoluta. Este padrão é utilizado por diversas instituições americanas.

Visto que as dificuldades encontradas em discussões para a adoção de um padrão para avaliação posicional é um problema mundial e não somente uma dificuldade no Brasil, além de não ser objeto desta pesquisa avaliar qual o padrão ideal, reconhece-se a importância do PEC, além de reconhecer a

importância de estudos a respeito da necessidade de padrões mais apropriados. A utilização do PEC é adequado para a avaliação de um mapeamento em meio digital, desde que seja definida uma escala de referência ao mapeamento avaliado, levando em consideração a legislação nacional.

#### 4.3 ESTUDO COMPARATIVO DE PARÂMETROS LOCAIS E DOS PARÂMETROS GLOBAIS PROPOSTOS PELO IBGE

O propósito do estudo que visa à comparação entre os parâmetros de transformação propostos pelo IBGE (globais) e os parâmetros locais justificam-se pelo fato de que as metodologias para a determinação destes parâmetros são distintas. Para determinação dos parâmetros propostos pelo IBGE foram consideradas estações localizadas em todo o território nacional, conforme o que mostra a figura 20.



**Figura 20:** Estações utilizadas no ajustamento dos referenciais SAD69 e SIRGAS 2000 em 2004

Fonte: IBGE, 2005.

Na figura 20 é possível constatar que a amostragem realizada pelo IBGE não é representativa para todo o território nacional. A Região Norte apresenta um número muito reduzido de estações quando

comparado com as demais regiões. Esta configuração reflete na qualidade dos parâmetros de transformação, devido a problemas na amostragem destas estações.

Para determinação de parâmetros locais são consideradas estações distribuídas por toda a área do município, conforme as estações nas figuras 16 e 17 apresentadas anteriormente, fornecendo assim uma maior representatividade das amostras.

O modelo de transformação utilizado para determinação dos parâmetros globais propostos pelo IBGE foi o Modelo Molodensky Simplificado, conforme as Eq. 21 e 22, que segue o estabelecido na Resolução nº. 23, de 21 de fevereiro de 1989.

Na determinação dos parâmetros locais, além do modelo Molodensky Simplificado foi utilizado o modelo Bursa Wolf, conforme a Eq. 20. As etapas para determinação destes parâmetros foram as seguintes: a) Determinação das coordenadas geodésicas de pontos da rede nos referenciais geodésicos SAD69 e SIRGAS2000. Os pontos utilizados foram os pontos de controle descritos no tópico 4.1; b) Transformação das coordenadas geodésicas para coordenadas cartesianas, conforme as equações 16 a 19; c) Determinação dos parâmetros de transformação através dos modelos de transformação Molodensky Simplificado (Eq. 21 e 22) e Bursa Wolf (Eq. 20). Nesta etapa foi implementada uma rotina em MATLAB para o modelo Molodensky Simplificado e para o modelo Bursa Wolf foi utilizado o software AETRA, da Universidade de Karlsruhe, pois na Europa este modelo é amplamente utilizado e o mesmo encontrava-se implementado. Em ambas as rotinas a formulação do problema utilizou o Ajustamento Paramétrico pelo Método dos Mínimos Quadrados – MMQ, descrita nas Eq. 23 a 31.

Foram determinados parâmetros locais a partir das coordenadas de 26 pontos de controle no município de Chapecó-SC e de 13 pontos no município de Curitiba-PR, conforme as tabelas 9 e 10.

**Tabela 9:** Parâmetros de transformação SAD69 para SIRGAS2000 –  
Modelos: Molodensky Simplificado e Bursa Wolf - Chapecó – SC

<i>Molodensky Simplificada</i>	$\Delta x \sigma_x$ (m)	$68,010 \pm 0,460$
	$\Delta y \sigma_y$ (m)	$-3,426 \pm 0,412$
	$\Delta z \sigma_z$ (m)	$38,065 \pm 0,397$
	$\Delta a$ (m)	23
	$\Delta f$	$0,00081204 \cdot 10^{-4}$
<i>Bursa Wolf</i>	$Tx \sigma_x$ (m)	$67,340 \pm 0,022$
	$Ty \sigma_y$ (m)	$-3,810 \pm 0,059$
	$Tz \sigma_z$ (m)	$38,300 \pm 0,055$
	$Rx \sigma_x$ (s)	$-0,0012 \pm 0,0525$
	$Ry \sigma_y$ (s)	$-0,0014 \pm 0,0020$
	$Rz \sigma_z$ (s)	$-0,0023 \pm 0,0310$
	<b>Escala (ppm)</b> ppm	$0,0031 \pm 0,0028$

**Tabela 10:** Parâmetros de transformação SAD69 para SIRGAS 2000 –  
Modelos: Molodensky Simplificado e Bursa Wolf - Curitiba / PR

<i>Molodensky Simplificada</i>	$\Delta x \sigma_x (m)$	$68,016 \pm 0,197$
	$\Delta y \sigma_y (m)$	$-0,546 \pm 0,219$
	$\Delta z \sigma_z (m)$	$31,989 \pm 0,276$
	$\Delta a (m)$	23
	$\Delta f$	$0,00081307 \cdot 10^{-4}$
<i>Bursa Wolf</i>	<b>Tx</b> $\sigma_x (m)$	$67,8490 \pm 0,078$
	<b>Ty</b> $\sigma_y (m)$	$-0,384 \pm 0,057$
	<b>Tz</b> $\sigma_z (m)$	$32,1991 \pm 0,018$
	<b>Rx</b> $\sigma_x (s)$	$-0,0026 \pm 0,0008$
	<b>Ry</b> $\sigma_y (s)$	$-0,0013 \pm 0,0008$
	<b>Rz</b> $\sigma_z (s)$	$0,0046 \pm 0,0012$
	<b>Escala (ppm)</b> <i>ppm</i>	$0,001 \pm 0,0035$

Após a determinação dos parâmetros foram realizadas análises comparativas dos mesmos. Os parâmetros que serviram de base para a comparação foram divulgados pelo IBGE (2004) através do relatório do Ajustamento da Rede Planimétrica Brasileira no Sistema SIRGAS2000 com 7 parâmetros e com a utilização da transformação de similaridade, publicado pela Coordenação de Geodésia, de acordo com a tabela 11.

**Tabela 11:** Parâmetros de transformação SAD69 para SIRGAS2000 IBGE (2004)

<i>Parâmetros</i>	<i>Translação</i>			<i>Rotação</i>			<i>Escala</i>
	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	$\sigma_{ppm}$
	$\sigma_x (m)$	$\sigma_y (m)$	$\sigma_z (m)$	$\sigma_x (s)$	$\sigma_y (s)$	$\sigma_z (s)$	
<b>IBGE (2004)</b>	67,411	-3,794	38,269	-0,0004	-0,0014	0,0034	0,0054
	±	±	±	±	±	±	±
	0,038	0,040	0,036	0,0012	0,0010	0,0015	0,0044

Cabe salientar que de acordo com VANICEK & STTEVES (1996) em COSTA (2007) em algumas situações, os parâmetros de rotação e de escala oriundos da transformação de similaridade não são considerados, justificado pela afirmação de que a diferença em escala representa uma distorção sistemática oriunda da realização do sistema. Esta alternativa não deve ser aplicada nesta pesquisa, pois o objeto de estudo é a Cartografia em escala grande e deve-se considerar a verdadeira situação da relação entre os sistemas. O efeito da distorção afeta somente os referenciais que foram materializados por técnicas anteriores ao posicionamento por satélites como poligonação e triangulação.

Os parâmetros considerados oficiais na transformação de SAD69 para SIRGAS2000 apresentam somente 3 parâmetros oriundos do Modelo de Molodensky Simplificado com 5 parâmetros. Porém o IBGE

considerou somente os acréscimos em latitude, longitude e altitude geodésicas às coordenadas do ponto – que são as três translações. Os outros dois parâmetros referem-se a  $\Delta a$  e  $\Delta f$  são as diferenças entre o semi-eixo maior e o achatamento dos dois elipsóides não foram considerados.

As discrepâncias oriundas da comparação dos parâmetros segundo IBGE (2004) e os apresentados nas tabelas 9 para o município de Chapecó-SC e na tabela 10 para o município de Curitiba-PR, baseado no modelo matemático Bursa Wolf estão na tabela 12 e 13 a seguir.

**Tabela 12:** Comparação entre os parâmetros de transformação para Chapecó – SC

<i>Parâmetros</i>	<i>Translação</i>			<i>Rotação</i>			<i>Δ Escala</i> ppm
	$\Delta T_x$ (m)	$\Delta T_y$ (m)	$\Delta T_z$ (m)	$\Delta R_x$ (s)	$\Delta R_y$ (s)	$\Delta R_z$ (s)	
<b>Discrepâncias</b>	-0,071	-0,016	-0,031	-0,0008	-0,0000	0,0011	0,0023
	±	±	±	±	±	±	±
	0,460	0,412	0,397	0,0012	0,0010	0,0015	0,0044

Observa-se que existem discrepâncias entre os parâmetros calculados para a região de Chapecó e para todo o território brasileiro usando os parâmetros determinados pelo IBGE. As discrepâncias encontradas foram de -0,071m para a translação em x, -0,016m na translação em y, -0,031m na translação em z. A rotação no eixo x foi de -0,0008 segundos, rotação no eixo y foi de 0 segundos, rotação no eixo z foi de 0,0011 segundos. O fator de escala foi de 0,0011 ppm.

**Tabela 13:** Comparação entre os parâmetros de transformação para Curitiba – PR

<i>Parâmetros</i>	<i>Translação</i>			<i>Rotação</i>			<i>Δ Escala</i> ppm
	$\Delta T_x$ (m)	$\Delta T_y$ (m)	$\Delta T_z$ (m)	$\Delta R_x$ (s)	$\Delta R_y$ (s)	$\Delta R_z$ (s)	
<b>Discrepâncias</b>	-0,438	-3,410	6,069	-0,0004	-0,0001	0,0023	0,0031
	±	±	±	±	±	±	±
	0,058	0,048	0,027	0,001	0,0009	0,0014	0,0039

Entre os parâmetros calculados para a região de Curitiba e para todo o território brasileiro, assim como para Chapecó, também foram encontradas as discrepâncias que resultaram em -0,438 m para a translação em x, -3,410m na translação em y – 6,069m na translação em z. A rotação no eixo x foi de -0,0004 segundos, rotação no eixo y foi de -0,0001 segundos, rotação no eixo z foi de 0,0023 segundos. O fator de escala foi de 0,0031 ppm.

Diante dos parâmetros oficiais divulgados pelo IBGE (2005):  $T_x=67,35$  m,  $T_y=-3,88$  m,  $T_z=38,22$  m,  $\Delta a=23$  m e  $\Delta f=0,00081188 \cdot 10^{-4}$  foram realizadas comparações com os parâmetros locais obtidos pelo modelo Molodensky Simplificado e as discrepâncias encontradas são apresentadas nas tabelas 14 e 15.

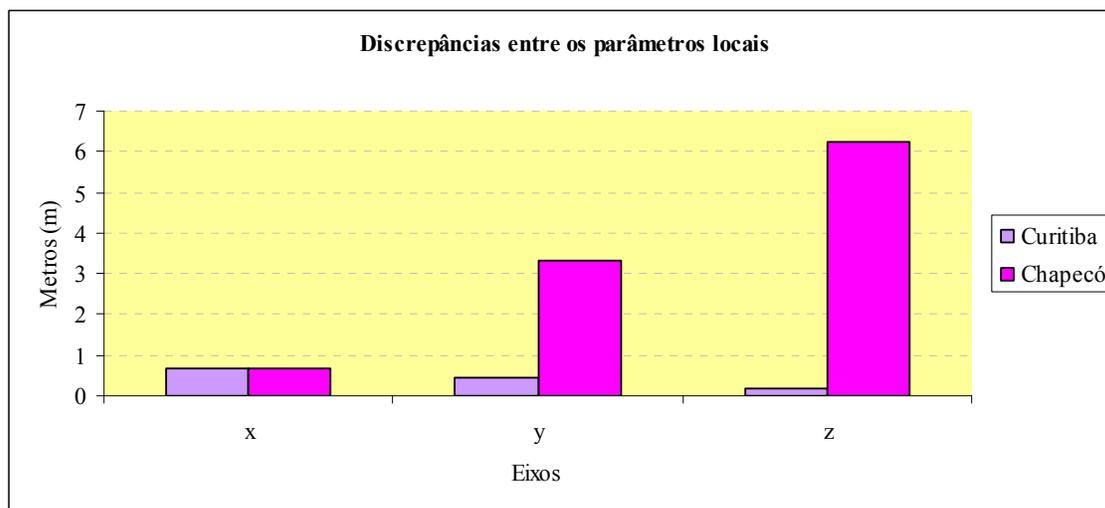
**Tabela 14:** Discrepâncias entre os parâmetros de transformação para Chapecó-SC

<b>Chapecó (MS)</b>	$\Delta x \sigma_x$ (m)	0,66
	$\Delta y \sigma_y$ (m)	0,45
	$\Delta z \sigma_z$ (m)	0,16
	$\Delta a$ (m)	0
	$\Delta f$	$0,000000016 \cdot 10^{-4}$

**Tabela 15:** Discrepâncias entre os parâmetros de transformação para Curitiba – PR

<b>Curitiba (MS)</b>	$\Delta x \sigma_x$ (m)	0,67
	$\Delta y \sigma_y$ (m)	3,33
	$\Delta z \sigma_z$ (m)	6,23
	$\Delta a$ (m)	0
	$\Delta f$	$0,00000119 \cdot 10^{-4}$

As tabelas 14 e 15 apresentam as discrepâncias encontradas entre os parâmetros globais e os locais, determinados com o modelo matemático Molodensky Simplificado. Os dados indicam que há uma diferença considerável na determinação de parâmetros locais. As diferenças na translação em x são aproximadas para os municípios de Chapecó e Curitiba de 0,66 m e 0,67 m respectivamente. Para translação em y as discrepâncias foram de 0,45 m e de 3,33 m. Para o eixo z foram de 0,16 m e 6,23 m, valores os quais são representados através da figura 21. Somente a translação em x obteve aproximação. A translação em y divergiu em 2,88 m e na translação em z de 6,07 m.



**Figura 21:** Discrepâncias entre os parâmetros locais de Curitiba-PR e Chapecó-SC

Os parâmetros locais obtidos através de pontos bem distribuídos na área de interesse descrevem de uma maneira mais aproximada às características da relação entre os referenciais envolvidos. A

utilização de parâmetros globais é uma solução que remete maior uniformização dos parâmetros, no entanto, longe da realidade física da área, como mostram as tabelas 13 a 15.

OLIVEIRA et al (1995) e VERONEZ (1998) encontraram discrepâncias significativas nos valores das coordenadas transformadas, advindas de parâmetros de transformação divulgados pelo IBGE para os sistemas SAD69 e WGS84, para regiões do Rio de Janeiro - RJ e São Carlos - SP, respectivamente. A estimativa de novos parâmetros se justifica, em função da cartografia resultante da transformação usando parâmetros oficiais do IBGE. Num estudo realizado OLIVEIRA et al (1995) para o município de Rio de Janeiro - RJ foram encontrados deslocamentos da ordem de 4 a 5 metros. Com a aplicação de parâmetros locais, VERONEZ (1998) afirma que se esperam resíduos menores, pois são levados em consideração influências como ondulação geoidal e distorções da rede. Para a compatibilização entre dois referenciais é necessário observar mais do que três vértices comuns nos dois sistemas envolvidos, para que se possa ter abundância de informações, permitindo a utilização do método dos mínimos quadrados na determinação dos valores mais prováveis para os parâmetros de transformação.

#### **4.4 DETERMINAÇÃO DAS IMPLICAÇÕES NA REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA**

Para a avaliação das implicações na representação cartográfica foram analisados vários aspectos como: conseqüências na geometria de feições após a transformação de referencial utilizando diferentes modelos matemáticos, visualização do efeito da diferença entre SAD69 e SIRGAS2000 nas diferentes escalas de mapeamento; implicações em softwares referentes à *Computer Aided Design - CAD* e Sistemas de Informações Geográficas – SIG e implicações no Cadastro Técnico Imobiliário.

##### **4.4.1 Avaliação geométrica das feições**

A forma é apenas uma das variáveis visuais que podem ser usadas para diferenciar símbolos pontuais em um mapa. Podem ser utilizadas outras variáveis, como a cor e o tamanho. Porém, no que diz respeito à variação posicional a forma do símbolo é mais relevante num processo de migração de referencial geodésico.

Para os símbolos pontuais existem três variações principais de forma: a geométrica, a pictórica e a alfanumérica.

Os símbolos geométricos ou abstratos são símbolos com uma forma regular tal como um círculo, um quadrado, um triângulo, um hexágono, etc. Ao contrário dos símbolos pictóricos, os símbolos geométricos não estabelecem relações métricas que não lembram a feição geométrica representada. No mapa, um círculo pode representar uma cidade, ou uma torre, ou um ponto de ônibus, ou uma indústria, etc. Conseqüentemente, símbolos geométricos precisam ter seu significado explicado na legenda do mapa.

Os símbolos pictóricos ou figuras evocativas são utilizados para representar objetos do mundo real de tal maneira que evocam a mente humana e ligam diretamente o símbolo ao seu significado no mundo real.

O terceiro grupo de símbolos é formado por caracteres alfanuméricos, compostos por letras ou números. Muitas vezes, utiliza-se apenas uma letra para dar a identificação das feições específicas.

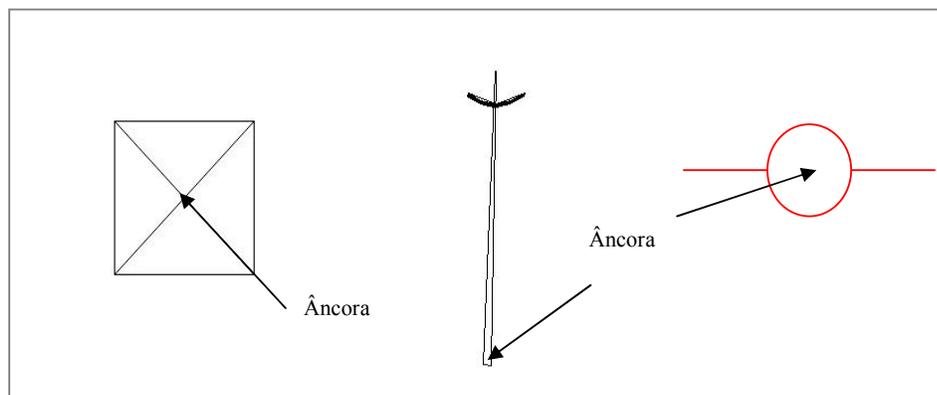
Na Cartografia em escala grande, as feições que são representadas como pontos são as que com maior freqüências são representadas por simbologia. Nos mapeamentos utilizados nesta pesquisa, observaram-se alguns símbolos pontuais, conforme mostra o quadro 9 a seguir.

**Quadro 9:** Variações para a simbologia da feição poste nos mapeamentos analisados

Mapeamento	Feição Pontual	Representação
<i>Chapecó-SC</i>	Poste	
<i>Curitiba-PR</i>	Poste	
<i>São José dos Pinhais-PR</i>	Poste	

Verificam-se três diferentes símbolos para a feição poste nos mapeamentos de Chapecó, Curitiba e de São José dos Pinhais. Além da forma diferente, as cores também são distintas.

Tanto para os símbolos pictóricos quanto para os símbolos alfanuméricos, o mais comum é se determinar um ponto de referência para o símbolo que representa a posição indicada. Tal referência pode ser denominada como âncora. Esta âncora pode ou não estar associada ao centro geométrico do símbolo. Sua posição é definida no projeto da simbologia pontual.



**Figura 22:** Variações da representação do símbolo pontual POSTE

No exemplo da figura 22 são apresentadas três variações para a feição poste, quanto à representação da forma do símbolo pontual, onde se identificam as âncoras de cada símbolo. Isto é, a posição a qual o poste foi levantado em campo.

Ainda no exemplo da figura 22 é possível verificar que a interpretação sobre a posição da âncora no símbolo pictórico pode representar um problema na determinação da feição. Caso o usuário da informação não esteja a par da posição da âncora no projeto do símbolo, poderá identificar outra posição na representação pictórica como sendo a posição da feição no terreno resultando numa variação indesejada da posição real da feição.

Cabe ainda salientar os problemas resultantes do levantamento em campo da feição poste. Se o levantamento destes postes for realizado através de posicionamento GNSS, o ponto referente à coordenada do poste está localizado no pé do poste e não necessariamente no centro do poste. Considerando que um poste tem em média 15 cm de raio, a coordenada já se encontra deslocada de 15cm dependendo da localização do ponto âncora da simbologia.

Outro caso a que os símbolos pictóricos estão sujeitos é o da dissociação de seus elementos, isto ocorre devido à interface computacional utilizada no processamento do arquivo vetorial. Caso a interface não esteja preparada para estrutura do símbolo, ocorre a dissociação do mesmo, causando a dissociação da âncora do símbolo pictórico. No mesmo sentido, uma variação deste problema pode ser a substituição da posição da âncora projetada pelo centro geométrico do símbolo.

No processo de transformação de referencial, o arquivo vetorial do mapeamento pode ficar exposto aos casos abordados acima, onde o símbolo pontual, além de uma variação posicional derivada da transformação, sofre a variação derivada das mudanças de características inerentes ao projeto do símbolo pontual no arquivo do projeto original.

Nos casos de símbolos lineares e de área, as variações relacionam-se mais com a representação do que com a forma da feição. A variação da forma geométrica é mais inerente a representação pontual em escala grande.

Para avaliação geométrica do que ocorre na representação cartográfica, foram eleitas as primitivas gráficas: ponto, linha e área, para a transformação de referencial geodésico de feições utilizando os parâmetros locais e os modelos Molodensky Simplificado e Bursa Wolf. O município utilizado nesta avaliação foi o de Chapecó - SC.

Os parâmetros do IBGE não foram objeto deste estudo, pois estes parâmetros apresentam somente uma translação em X, Y e Z. Não apresentando assim, parâmetros que causem implicações na forma. Ao aplicar estes parâmetros, os vértices das feições apenas mudam suas coordenadas, pois passam a ocupar um local diferente no espaço.

Para avaliação das feições pontuais foram utilizados os postes, pois estes são representados de forma pontual no mapeamento. Foram escolhidos 16 postes distribuídos em todo o mapeamento de Chapecó-SC para o cálculo das coordenadas anteriores e posteriores à transformação. As coordenadas obtidas nesta etapa são apresentadas na tabela 16.

**Tabela 16:** Coordenadas UTM das feições pontuais - postes do município de Chapecó-SC nos referenciais SAD69 e SIRGAS2000

	SAD69 UTM		SIRGAS UTM – Bursa Wolf		SIRGAS UTM – Molodensky Simplificada	
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
1	333.056,09	6.997.059,64	333.107,40	6.997.125,29	333.107,19	6.997.125,22
2	331.639,13	7.003.486,93	331.690,22	7.003.552,64	331.690,02	7.003.552,58
3	339.444,15	7.009.597,15	339.496,16	7.009.661,52	339.495,96	7.009.661,46
4	335.209,04	7.006.911,57	335.260,31	7.006.977,22	335.260,10	7.006.977,15
5	336.301,07	7.004.220,76	336.352,22	7.004.285,88	336.352,01	7.004.285,81
6	341.034,53	7.004.440,12	341.085,13	7.004.506,37	341.084,92	7.004.506,31
7	343.067,85	7.003.078,56	343.120,58	7.003.143,34	343.120,37	7.003.143,28
8	332.451,16	7.000.210,98	332.502,64	7.000.276,03	332.502,43	7.000.275,96
9	335.553,96	7.001.519,90	335.605,90	7.001.585,13	335.605,69	7.001.585,07
10	339.931,25	7.002.568,30	339.982,53	7.002.633,83	339.982,33	7.002.633,76
11	334.679,46	6.998.755,53	334.731,04	6.998.820,64	334.730,83	6.998.820,57
12	338.970,07	7.000.010,85	339.021,31	7.000.076,36	339.021,11	7.000.076,29
13	343.728,91	7.001.178,08	343.780,15	7.001.243,58	343.779,94	7.001.243,52
14	341.113,65	6.998.182,21	341.165,81	6.998.246,91	341.165,60	6.998.246,85
15	338.177,32	6.997.102,40	338.228,73	6.997.167,90	338.228,52	6.997.167,84
16	338.999,62	6.995.212,40	339.050,87	6.995.277,98	339.050,66	6.995.277,92

A tabela 16 apresenta na primeira coluna as coordenadas UTM referenciadas ao SAD69, as quais foram coletadas no mapeamento e consideradas como coordenadas originais para as análises. Na segunda coluna as mesmas coordenadas são apresentadas no referencial SIRGAS2000, obtidas pela transformação com o modelo Bursa Wolf e na terceira coluna estas coordenadas são apresentadas após a transformação com o modelo Molodensky Simplificado.

Com base na tabela 16 as coordenadas UTM em SAD69 foram subtraídas das coordenadas UTM em SIRGAS2000, obtidas pelo modelo Bursa Wolf e as discrepâncias entre elas são apresentadas na tabela 17.

**Tabela 17** – Discrepância entre as coordenadas SAD69 e SIRGAS2000 após a transformação com o modelo Bursa Wolf.

	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>
1	-51,30	-65,65
2	-51,09	-65,71
3	-52,01	-64,37
4	-51,27	-65,64
5	-51,15	-65,12
6	-50,60	-66,25
7	-52,73	-64,78
8	-51,47	-65,05
9	-51,94	-65,24
10	-51,29	-65,53
11	-51,58	-65,11
12	-51,24	-65,51
13	-51,24	-65,51
14	-52,16	-64,70
15	-51,40	-65,50
16	-51,25	-65,58
<b>Média</b>	<b>-51,48 m</b>	<b>-65,33 m</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,51 m</b>	<b>0,46 m</b>

Na tabela 17 verifica-se que a média das discrepâncias entre as coordenadas Leste (E) e Norte (N) foram de  $-51,48 \pm 0,51$  m para coordenada E e de  $-65,33 \pm 0,46$  m para coordenadas N, apresentando uma resultante de  $83,18 \pm 0,48$  m.

O mesmo foi realizado para o caso da transformação com o modelo Molodensky Simplificado. Na tabela 18 são apresentadas as discrepâncias entre os pontos referenciados em SAD69 e SIRGAS2000 através da utilização do Modelo de transformação Molodensky Simplificado.

**Tabela 18** – Discrepâncias entre as coordenadas SAD69 e SIRGAS2000 após a transformação com o modelo Molodensky Simplificado.

	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>
1	-51,10	-65,58
2	-50,88	-65,64
3	-51,80	-64,31
4	-51,06	-65,57
5	-50,94	-65,05
6	-50,39	-66,19
7	-52,52	-64,72
8	-51,27	-64,99
9	-51,73	-65,17
10	-51,08	-65,46
11	-51,37	-65,04
12	-51,03	-65,44
13	-51,03	-65,44
14	-51,95	-64,64
15	-51,20	-65,44
16	-51,04	-65,52
<b>Média</b>	<b>-51,27</b>	<b>-65,26</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,51</b>	<b>0,46</b>
<b>Padrão</b>		

Na tabela 18 verifica-se que a média das discrepâncias entre as coordenadas E e N foram de  $-51,27 \pm 0,51$  m para coordenada Este e de  $-65,26 \pm 0,46$  m para coordenadas N, apresentando uma resultante de  $83,17 \pm 0,48$  m.

**Tabela 19:** Discrepâncias das coordenadas E e N com a aplicação dos modelos Bursa Wolf e Molodensky Simplificado referenciado ao SIRGAS2000.

	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>
1	0,21	0,07
2	0,21	0,07
3	0,21	0,07
4	0,21	0,07
5	0,21	0,06
6	0,21	0,06
7	0,21	0,06
8	0,21	0,06
9	0,21	0,07
10	0,21	0,07
11	0,21	0,07
12	0,21	0,07
13	0,21	0,07
14	0,21	0,06
15	0,21	0,06
16	0,21	0,07
<b>Média</b>	<b>0,21 m</b>	<b>0,07 m</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,001 m</b>	<b>0,002 m</b>

A tabela 19 demonstra as diferenças entre as coordenadas UTM dos postes avaliados referenciadas ao SIRGAS2000 obtidas após a transformação com os diferentes modelos de transformação. Para ordenada E foi obtida uma discrepância de 21 cm e para abcissa N uma diferença de 7 cm, com uma resultante de 22 cm.

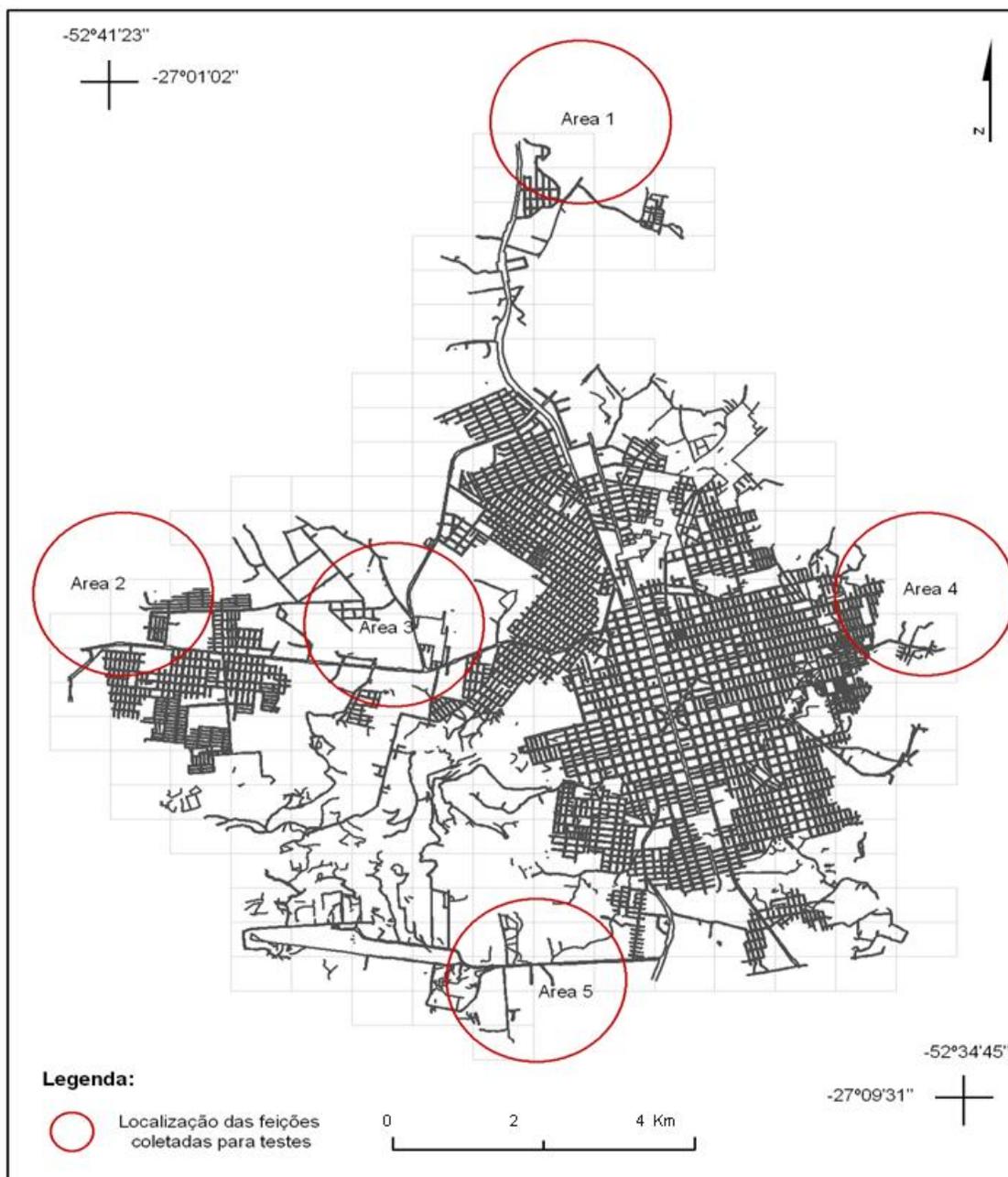
Verifica-se que as diferenças entre SAD69 e SIRGAS2000 para as feições pontuais ficam em torno de 83 m e entre as coordenadas SIRGAS2000 obtidas por diferentes modelos de transformação apresentam diferenças de 22 cm.

Isto revela que além dos cuidados que devem ser tomados na transformação dos referenciais, deve-se atenção aos modelos utilizados nas transformações, principalmente quando se trata da junção de vetores de diferentes proveniências, contratados separadamente.

Ao analisar as discrepâncias encontradas entre os resultados obtidos na transformação utilizando diferentes modelos de transformação, verifica-se que as implicações ocorridas em feições pontuais geram uma discrepância média com resultante de 21 cm. Uma discrepância desta ordem pode causar várias

implicações no planejamento de obras de Engenharia, pois estas feições poderão apresentar erros no posicionamento em loco de estruturas como sinais de trânsito, bocas de lobo, postes, entre outras feições.

Para a análise das feições lineares foram selecionadas 5 feições no mapeamento. Estas feições representavam o comprimento de algumas quadras. A figura 23 apresenta as áreas no município de Chapecó onde foram coletadas estas informações a respeito das feições.



**Figura 23:** Localização das áreas no município de Chapecó onde foram coletadas as feições lineares e de área

As feições lineares foram coletadas em diferentes áreas do município para que fosse possível avaliar o comportamento destas variações e de uma possível tendência devido a estas diferentes localizações.

As coordenadas dos vértices em SAD69 foram coletadas e posteriormente transformadas para SIRGAS2000, com a utilização dos modelos Bursa Wolf e Molodensky Simplificada. Com as coordenadas destes vértices foram calculados os comprimentos destas vias. Na tabela 20 são apresentados estes comprimentos – original em SAD69, em SIRGAS2000 obtido por Bursa Wolf e SIRGAS2000 por Molodensky Simplificado e as diferenças em porcentagens das comparações das diferenças encontradas na determinação das coordenadas geocêntricas.

**Tabela 20:** Resultados dos valores dos comprimentos das feições coletadas no mapeamento

	SAD69 original (m)	Sirgas2000 MS (m)	Sirgas2000 BW (m)	Comprimento original SAD69 – Comprimento Sirgas2000 MS (m)	Comprimento original SAD69 – Comprimento Sirgas2000 BW (m)	Diferença em % entre comprimento original SAD69 e Sirgas2000 MS	Diferença em % entre comprimento original SAD69 e Sirgas2000 MS
C <sub>1</sub>	26,02	26,15	26,04	0,13	0,02	0,48	0,08
C <sub>2</sub>	139,62	139,73	139,69	0,11	0,07	0,08	0,05
C <sub>3</sub>	177,51	177,99	177,46	0,48	-0,05	0,27	0,03
C <sub>4</sub>	88,73	89,5	88,65	0,77	-0,08	0,86	0,09
C <sub>5</sub>	173,67	173,79	173,64	0,12	-0,03	0,07	0,02
						<b>Média:</b> 0,35 %	<b>Média:</b> 0,05 %

Na tabela 20, as alterações dos comprimentos após as transformações, resultam numa média de 0,35% entre o comprimento original em SAD69 quando transformado para SIRGAS2000, através do modelo Molodensky Simplificado e de 0,05% de alteração para o modelo Bursa Wolf.

Testes semelhantes foram realizados para feições de área. As feições de área utilizadas foram cinco edificações localizadas nas áreas marcadas de acordo com a (Figura 22).

**Tabela 21:** Resultados dos valores das áreas das feições coletadas no mapeamento.

	SAD69 original (m)	Sirgas2000 MS (m)	Sirgas2000 BW (m)	Área original SAD69 – Área Sirgas2000 MS (m)	Área original SAD69 – Área Sirgas2000 BW (m)	Diferença em % entre Área original SAD69 e Sirgas2000 MS	Diferença em % entre Área original SAD69 e Sirgas2000 MS
<b>A<sub>1</sub></b>	36,94	37,17	36,98	0,23	0,04	0,62	0,11
<b>A<sub>2</sub></b>	890,07	892,87	890,88	2,8	0,81	0,31	0,09
<b>A<sub>3</sub></b>	1020,56	1021,82	1020,33	1,26	-0,23	0,12	0,02
<b>A<sub>4</sub></b>	277,81	278,84	277,65	1,03	-0,16	0,37	0,06
<b>A<sub>5</sub></b>	1816,38	1819,48	1816,56	3,1	0,18	0,17	0,01
						<b>Média:</b> 0,32 %	<b>Média:</b> 0,06 %

De acordo com a tabela 21, as diferenças para as áreas transformadas foram de 0,32% para aquelas transformadas com o modelo Molodensky Simplificado e de 0,06% para o modelo Bursa Wolf.

Verifica-se que tanto para as transformações das feições lineares e de área, estas apresentam menor divergência quando transformadas segundo o modelo Bursa Wolf, apesar de Bursa Wolf e Molodensky Simplificado sejam modelos conformes de transformação.

Para os testes realizados com as feições pontuais, os resultados obtiveram aproximação para ambos os modelos.

#### 4.4.2 Escala na Cartografia Digital

Durante muito tempo os mapeamentos eram armazenados em papel ou em outro sólido para registrar o modelo da superfície a representar. Esta imposição física traz diversas conseqüências, amarrando à escala a quantidade de informações a serem representadas e a precisão com que estas informações são levantadas.

Com os avanços no emprego da informatização de processos, produzindo assim mapeamentos em meio digital, sem escala direta, porém devendo apresentar uma medida de dispersão das informações métricas levantadas em relação a suas correspondentes no terreno. Isto não significa que a Cartografia Digital não possui escala.

Em meio digital, o modo como as informações são armazenadas diferem do modo como as mesmas são visualizadas no *display* de um computador. As informações espaciais podem ser visualizadas em diferentes ampliações (“*zoom*”). Fazendo um paralelo com as cartas analógicas, ter-se-ia o leitor auxiliado por uma lupa na leitura da carta. Porém, a escala refere-se à capacidade de mensura frente à acuidade visual humana, isto é, com a vista desarmada (ausente de instrumentos de ampliação).

Deste modo, pode-se entender que a possibilidade de diferentes ampliações de uma representação em meio digital possa acarretar em uma representação numa escala variável ou uma

representação sem escala. Esta afirmação não se verifica, porque existe uma acurácia ligada ao levantamento destas informações que gera conseqüentemente uma escala nominal para estas informações. Apesar da capacidade da ampliação além da escala de levantamento, a mesma não gera uma maior acurácia à informação. Esta ampliação corresponde à utilização de um instrumento de ampliação, como uma lupa, para aumentar a capacidade visual humana.

A Cartografia em meio digital pode gerar produtos analógicos através da impressão destas informações em papel. Desta forma, a escala que era variável no *display* do computador volta a ter a mesma natureza clássica limitando-se a acuidade visual humana. Por isso, a maior escala de representação deve estar restrita a escala de levantamento da informação. O que não se verifica muitas vezes é a desagregação das informações referentes ao levantamento dos dados.

Cria-se a necessidade de estabelecimento de uma escala de trabalho. Escala de trabalho entende-se como a escala variável associada à representação da informação espacial num *display* eletrônico. Esta escala limite seria a escala associada à acurácia dos dados levantados.

A escala de trabalho faz referência à relação entre as dimensões dos elementos representados no *display* e suas correspondentes dimensões na superfície terrestre, devido às funcionalidades estabelecidas em meio digital, esta escala de trabalho pode variar ampliando-se ou reduzindo-se. De forma geral, a interface gráfica não restringe esta ampliação ou redução, ficando a cargo do gerador da informação a limitação técnica de representação associada à escala de levantamento. Algumas vezes esta restrição, não está somente associada à escala de levantamento, mas também às transformações que o dado original sofreu.

Neste sentido, quando se confrontam os efeitos da transformação entre *Data* geodésicos com diferentes parâmetros, pode-se afirmar que ocorrerá a degradação da escala original de levantamento.

Para o caso da transformação entre os referenciais SAD69 e SIRGAS2000 foram divulgados em (IBGE, 2000) uma correspondência entre as escalas e os deslocamentos, que caracterizam questões relacionadas à má distribuição de estações as quais materializam os dois sistemas de referência em território nacional, além de um modelo simplificado adotado para transformação adotado entre estes *Data*.

**Quadro 10:** Efeito da diferença entre SAD69 (1996) e SIRGAS2000 nas diferentes escalas de mapeamento

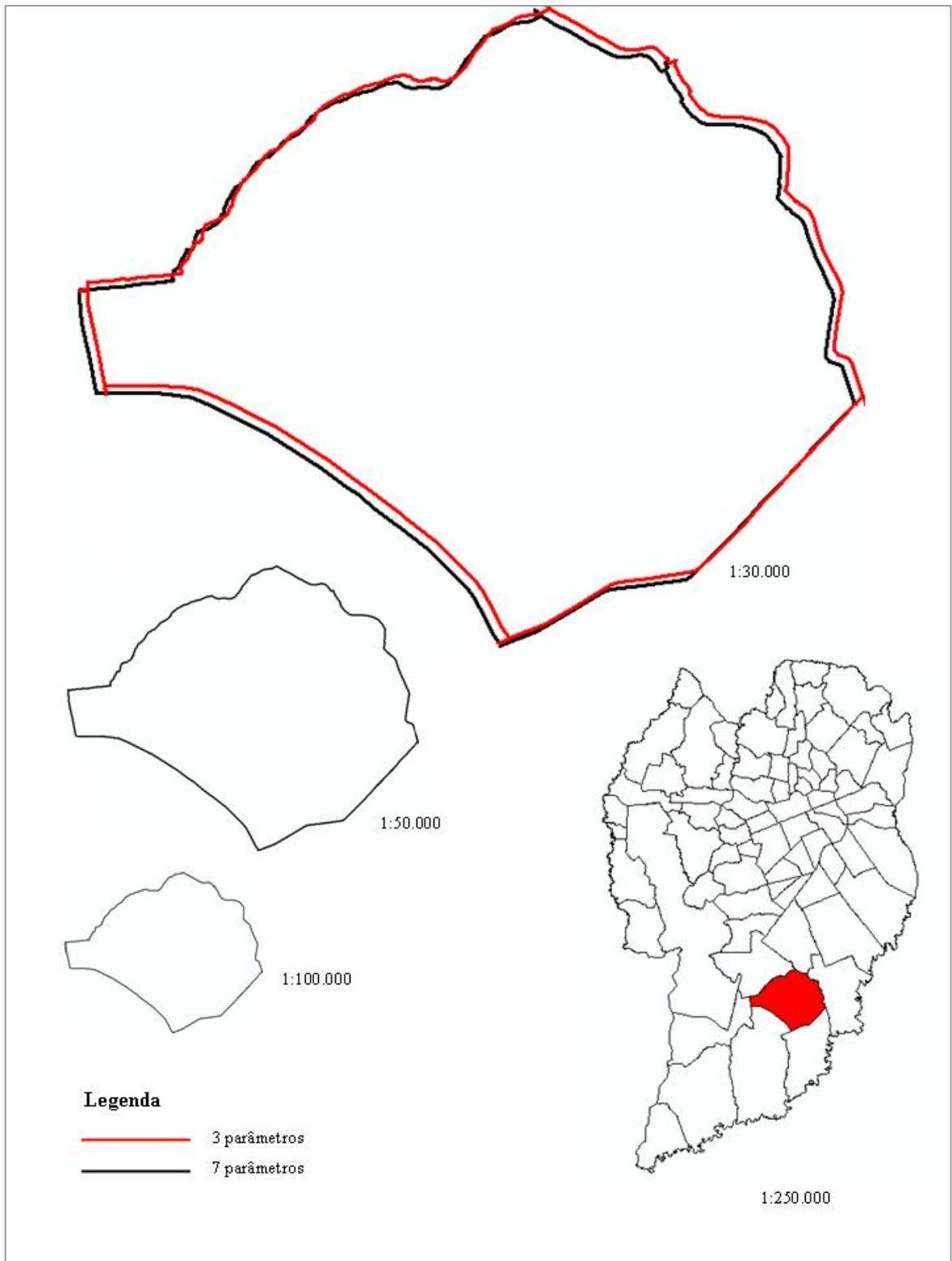
<b>Escala</b>	<b>Deslocamento (mm)</b>
1:1000.000	<b>0,065</b>
1:500.000	<b>0,13</b>
1:250.000	<b>0,26</b>
1:100.000	<b>0,65</b>
1:50.000	<b>1,30</b>
1:25.000	<b>2,60</b>
1:10.000	<b>6,5</b>
1:5.000	<b>13,0</b>
1:2.000	<b>32,5</b>
1:1.000	<b>65,0</b>

Fonte: IBGE, 2000

Ao analisar o quadro 10, observam-se que as diferenças entre SIRGAS2000 e SAD69 (1996) começam a ser significativas para as escalas maiores ou iguais a 1:250.000. No caso das cartas em escala 1:250.000, uma variação de 65 m entre os dois sistemas provocaria um deslocamento gráfico de 0,26 mm. Esta variação torna-se sensível nas cartas em escalas grandes. No caso de mapeamentos em escala 1:1.000, uma variação de 65 m no terreno entre os dois sistemas tem como consequência um deslocamento gráfico de 6,5mm.

Estas diferenças não são constantes em todo o território nacional. Por exemplo, no Estado do Rio de Janeiro ficam em torno de 78m e no Estado do Ceará em torno de 40m.

A menor resolução perceptível pelo olho humano (acuidade visual) é de cerca de 0,2 mm, considerando este valor como limite mínimo a partir do qual as variações começam a ser significativas. No entanto, uma variação de 15 m nas coordenadas começa a ser significativa para as escalas maiores ou iguais a 1:50.000. Mesmo com a possibilidade oferecida pelo *display* eletrônico de ampliação, a limitação de acurácia do dado faz referência ainda à acuidade visual humana. Porém, este limite é somente aplicado à impressão em papel das informações. A degradação da escala pode ser observada na figura 24 onde os vetores de delimitação do bairro do Sitio Cercado, na cidade de Curitiba-PR foram transformados utilizando uma transformação com 3 parâmetros do IBGE e outra transformação com parâmetros locais com 7 parâmetros.



**Figura 24:** Comparação dos vetores do bairro do Sitio Cercado no município de Curitiba-PR após a transformação utilizando uma transformação com 3 parâmetros globais e outra transformação com 7 parâmetros nas escalas 1:30.000, 1:50.000, 1:100.000

Outra característica dos mapeamentos registrados em meio digital é a inexistência teórica de limites na quantidade de informações a serem levantadas, podendo ser superpostas ou retiradas, dependendo da necessidade da informação.

Nos projetos de mapeamento em meio digital, os maiores cuidados devem-se ater para qual a exatidão posicional que é requerida. Além de outros fatores como atualização, consistência lógica e completude, ou seja, se todas as feições necessárias foram levantadas.

#### **4.4.3 Implicações inerentes aos Softwares**

São várias as possibilidades de utilização de softwares para transformação de sistemas geodésicos de referência. Entre estes softwares estão aqueles disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, os de Projeto Auxiliado por Computador - *Computer Aided Design* – CAD, Sistemas de Informações Geográficas – SIG, softwares de programação que possibilitam a implementação de rotinas de cálculos através de linguagens como: C++, Fortran, Matlab, Java. Além de softwares exclusivamente de uso científico de uso restrito, outros comerciais e até algumas rotinas disponibilizadas na Internet.

##### **4.4.4.1 Softwares disponibilizados pelo IBGE**

Com a resolução nº1/2005 do IBGE que estabeleceu o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS, em sua realização do ano de 2000 – SIRGAS2000, o IBGE disponibilizou o programa para transformação de coordenadas TCGEO. Este programa utiliza todas informações oficiais para a execução dos cálculos – parâmetros globais e os procedimentos de cálculos presentes na Resolução nº23, de 21 de fevereiro de 1989.

O TCGEO - Sistema de Transformação de Coordenadas permite utilizar como entrada e saída quatro tipos de coordenadas, sendo elas: cartesianas, planas UTM, geodésicas (sexagesimais e graus decimais). Ele permite que as coordenadas sejam inseridas através de arquivos ou teclado. O programa TCGEO também fornece uma estimativa de erro da transformação, uma vez selecionada a realização a que a rede planimétrica se refere. Paralelamente torna-se necessária a utilização do programa MAPGEO, também disponibilizado pelo IBGE que auxilia nas conversões das altitudes, sendo que o SAD69 esta baseado na altitude ortométrica e o SIRGAS2000 na altitude elipsoidal. O formato utilizado pelo TCGEO no arquivo de entrada possibilita a inserção das coordenadas planas UTM em metros (Identificador do ponto, Coordenada Norte, Coordenada Este, Meridiano Central). Este programa possui duas opções de entrada das coordenadas, no modo manual ou através de um arquivo ASCII. O TCGeo só possui a opção de transformação de coordenadas de um ponto ou de um conjunto de coordenadas. Não sendo possível a transformação de vetores. Sendo esta uma deficiência desta ferramenta.

No início de 2009, o IBGE disponibilizou o programa ProGriD, substituindo o TCGeo como uma proposta de apresentar resultados mais precisos e com mais opções de referenciais geodésicos.

De acordo com IBGE (2009) dois referenciais geodésicos se relacionam através de parâmetros de transformação constantes para qualquer área coberta por estes referenciais. O que estes parâmetros não

conseguem transformar tornam-se resíduos, representando as distorções da rede geodésica. O software ProGrid modela esses resíduos (ou seja, a própria distorção da rede), possibilitando um resultado final mais preciso. O ProGrid contém arquivos com uma grade de valores em latitude e longitude que permite a direta transformação entre o Córrego Alegre, SAD69 e SIRGAS2000, seguindo o formato NTV2. O formato NTV2 é utilizado em vários países, teve origem no Canadá onde foi desenvolvido. O ProGrid escolheu este formato pelo fato de que muitos dos softwares de GIS e de processamento de dados GPS terem capacidade para ler este formato, possibilitando a interoperabilidade entre eles.

O ProGrid foi desenvolvido primordialmente como uma ferramenta de transformação entre coordenadas bi-dimensionais geodésicas (latitude/longitude) ou UTM (E/N) usando-se grades de transformação. Porém, também permite a transformação de coordenadas tri-dimensionais geodésicas (latitude/longitude/altitude geométrica) e cartesianas (X, Y, Z) em alguns casos particulares.

O ProGrid tem a possibilidade de trabalhar com dados de diferentes materializações do SAD69 devido dois fatores: (a) estes pontos são de natureza tridimensional; (b) estes pontos tem um padrão de distorção muito menor que aqueles determinados pelas técnicas terrestres (triangulação e poligonação). Sendo assim, utilizam-se neste caso, somente as transformações tridimensionais. Estes pontos foram agrupados no ProGrid como: *SAD 69 Técnica Doppler ou GPS*. No ProGrid a relação entre SAD 69 Técnica Doppler ou GPS e SIRGAS2000 ocorre através dos parâmetros de transformação. Não existe necessidade de modelagem de distorções neste caso, já que elas são homogêneas e diminutas. Sendo assim, para os dados utilizados nesta pesquisa. As distorções entre o SAD69 e SIRGAS2000 comportam-se de maneira homogênea e diminuta, não ocorrendo distorção na forma.

Os tipos de coordenadas utilizadas associadas a cada um dos referenciais (SAD69 Técnica Doppler/GPS e SIRGAS2000) são caracterizados abaixo:

- a) SAD69 Técnica Doppler/GPS: latitude/longitude/altura geométrica, cartesianas (X, Y, Z) e UTM (E, N).
- b) SIRGAS2000: latitude/longitude/altura geométrica, cartesianas (X, Y, Z), latitude/longitude e UTM (E, N).

O Progrid permite a entrada de dados através de teclado, arquivo de texto e arquivo GML. E como saída dos dados é disponibilizada as opções em tela, arquivo texto, arquivo GML<sup>11</sup>, arquivo PDF. Maiores informações em (IBGE, 2008).

Verifica-se que as duas versões de softwares disponibilizados pelo IBGE transformam somente coordenadas e ambos não apresentam a possibilidade de vetores em arquivos digitais, sendo que esta é uma das demandas maiores numa fase de mudança de referencial geodésico, principalmente para os mapeamentos em meio digital. No entanto, uma série de possibilidades através de outros softwares comerciais, livres e de uso restrito são disponibilizados para transformação.

---

<sup>11</sup> A *Geography Markup Language* (GML) utiliza XML (*eXtensible Markup Language*) para exprimir características geográficas. Pode servir de linguagem de modelagem para sistemas geográficos e como um formato aberto para troca de informação geográfica. A GML é definida pelo Consórcio Geoespacial Livre.

#### 4.4.4.2 Softwares de Projeto Auxiliado por Computador ou *Computer Aided Design* – CAD e de Sistema de Informação Geográfica – SIG

Na transformação de referencial geodésico de mapeamentos em meio digital há a possibilidade de utilização de softwares CAD e de SIG. Estes transformam os vetores e não somente coordenadas isoladas, como os softwares descritos no tópico anterior.

São vários os softwares de CAD existentes no mercado. Os CAD são sistemas que foram desenvolvidos para desenhar e projetar. Os CAD são mais utilizados na Cartografia para processos de edição, para conversão de formatos de arquivos e para plotagens. Enquanto eles podem produzir projetos de engenharia, geralmente, eles são menos capazes de fazer análises espaciais complexas. Alguns CAD's possuem extensões apropriadas para mapeamento, são as versões “*Map*”. Os CAD's normalmente são utilizados em conjunto com outros programas, por ex. os Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

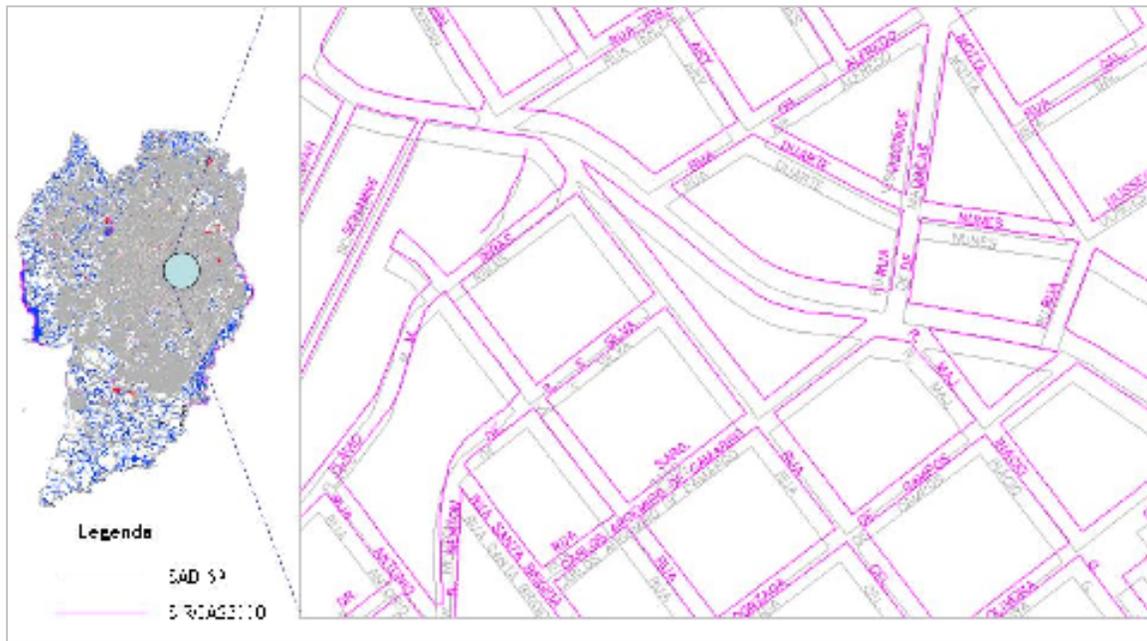
Em CAD's com as versões “*Map*”, existem ferramentas para transformações de referenciais, com as opções de entrada para parâmetros calculados pelo usuário, e para os parâmetros “*default*” do software. Na maioria dos softwares, o usuário não tem acesso a estes parâmetros “*default*”. No entanto, é indicado que o usuário insira os parâmetros de interesse.

Nos Sistemas de Informações Geográficas – SIG, também existem ferramentas para transformação de referenciais. Um SIG é capaz de gerar novas informações, prover modelagens e simulação dos dados geograficamente referenciados, enquanto os CAD proporcionam suporte eficaz na edição de dados cartográficos, exceto as versões “*Map*”. Apesar dos SIG's também realizarem edições de dados cartográficos.

O processo de transformação de referencial geodésico funciona de maneira semelhante em SIG's e CAD's, porém alguns SIG's oferecem uma gama maior de possibilidades de escolha do modelo de transformação a ser utilizado. Por exemplo, no ArcGis versão 9 são oito os modelos baseados em translações e três os modelos que se baseiam no cálculo da mudança de grid.

Como um dos objetivos desta pesquisa é a de indicar as possíveis implicações da mudança de referencial geodésico em virtude da utilização de um tipo específico de software para com a Cartografia em meio digital. Foram avaliados um software CAD e um software SIG: AutoCAD2006 e o ARCGIS 9.2, respectivamente e o mapeamento da Cidade de Curitiba-PR.

A (Figura 25) mostra os vetores em SAD69 (em cinza) e em SIRGAS2000 (em magenta) do processo de transformação de referencial realizado no CAD. Nesta transformação utilizaram-se os parâmetros de translação do IBGE para os vetores referentes ao arruamento e as toponímias de ruas.



**Figura 25:** Transformação de referencial geodésico realizada num software CAD

Em ambiente CAD após proceder à transformação, foi criado um novo arquivo referenciado ao novo SGR. Não ocorreram problemas na edição das feições, como pode ser visto na figura 25.

Porém, num SIG também é gerado um novo arquivo com o novo SGR. Mas no novo arquivo ocorrem problemas quanto a edição das toponímias, como mostram as figuras 26 e 27. Necessitando de um processo de edição do mapeamento após o processo de transformação.



**Figura 26 :** Trecho da carta de Curitiba original



SIRGAS2000. Também inclui-se neste tópico a utilização de diferentes parâmetros e modelos de transformação;

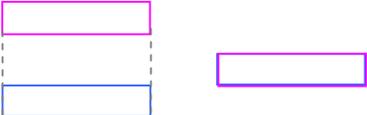
b) *Edição para adequação à estrutura topológica*: diz respeito à adequação do arquivo vetorial para que o mesmo garanta as propriedades e relações de conectividade, adjacência, proximidade, pertinência, continência e interseção. Estas relações são importantes dentro das tarefas executadas por Sistemas de Informações Geográficas;

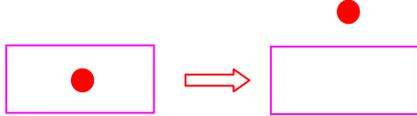
c) *Conversão entre formatos de arquivos vetoriais*: refere-se aos problemas de portabilidade inerentes aos diferentes formatos vetoriais. Estas conversões algumas vezes são necessárias para realização de transformações de referenciais geodésicos ou em algumas edições;

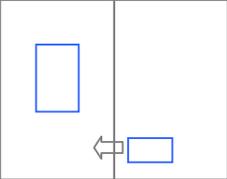
d) *Atualização do mapeamento*: refere-se tanto a inserção de novas feições quanto a modificação de feições já existentes reutilizando o mapeamento original.

Para estas análises foi construída a tabela 22 a partir das primitivas gráficas: ponto, linha e área (polígono). A indicação de um provável problema, a fonte da variação posicional e as implicações do mesmo e exemplos. Foram atribuídas as letras A, B, C, D. A letra A – transformação de referencial geodésico, B – edição para adequação à estrutura topológica, C- conversão entre formatos de arquivos vetoriais e D – atualização do mapeamento, são fontes que sofrem variação posicional.

**Tabela 22:** Fontes de variação posicional

Primitiva Gráfica	Implicação	Fonte da variação Posicional	Exemplo
Ponto	Alteração na posição do ponto	A, B, C, D	<p>(C) Cada símbolo está associado a um ponto chamado âncora que serve como localização do símbolo no arquivo vetorial. Em alguns processos de conversão entre formatos a posição do ponto âncora é modificada para o centro do símbolo, acarretando uma mudança de posição.</p>  <p>● Ponto âncora</p>
	Sobreposição	D	<p>(D) Nos processos de atualização onde feições foram atualizadas sem a devida eliminação das feições antigas, estas podem se sobrepor no arquivo atualizado.</p> 

	Não contingência de um ponto num polígono	B, C, D	<p>(C) Nos casos onde o ponto âncora referente à toponímia deve estar dentro do polígono para realização de algumas pesquisas em Banco de Dados, porém com processos de conversão de formato de arquivos, estes podem perder esta relação do ponto estar contido dentro do polígono.</p> 
<i>Linha</i>	Ultrapassagem do limite de interseção	A, B, D	<p>(A) Existem SIG's que não exigem a sobreposição de pontos. Utilizam um limite de interseção entre os nós. Nestes casos, o efeito de transformações entre referenciais pode ocasionar variações indesejadas das posições relativas destes nós.</p> 
	Não alcançou o limite de interseção	A, B, D	<p>(A) Caso em que SIG's que não exigem a sobreposição de pontos. Utilizam um limite de interseção entre os nós. Nestes casos, o efeito da conversão de formato de arquivos pode ocasionar variações indesejadas das posições relativas destes nós, não alcançando o limite estipulado pelo sistema.</p>
	Descontinuidade de uma linha	B, D	<p>(B) A edição desloca pontos para que haja continuidade de linhas no caso de necessidades de realizar operações com redes.</p> 
	Sobreposição de linhas	D	<p>(D) Nos processos de atualização onde feições foram atualizadas sem a devida eliminação das feições antigas, estas podem se sobrepor no arquivo atualizado.</p>
	Falta de associação de um nó, notificando o ponto de interseção.	B, D	<p>(D) Criação de um ponto no arquivo vetorial que não foi levantado no terreno.</p> 

<i>Área (Polígono)</i>	Polígono aberto	A, B, C, D	(B) No processo de edição existe a necessidade de alterar a posição de vértices, fazendo com que o polígono seja contínuo. Isto é, o ponto final e inicial é o mesmo e a linha de perímetro não é interrompida.
	Polígono não adjacente – não coincidência de nós	A, B, D	(A) Nos casos de atualização os novos limites e adjacências não coincidem com o levantado. Desta forma, para preservar a propriedade de adjacência, os nós nos limites antigos ou nos limites novos precisam ser deslocados.
	Alteração da relação de pertinência.	B, D	(D) Em casos de atualização onde uma edificação atualizada acaba aparecendo num outro lote e não ao lote ao qual pertence.  

Ao adotar um novo referencial geodésico, deve-se prever uma série de tarefas necessárias a adequação dos dados já levantados às características das futuras atualizações. Entre as tarefas, além da transformação de referencial propriamente dita, existem conversões de formatos, edições da estrutura topológica e incorporação de novas técnicas de mapeamento que podem ser mais ou menos compatíveis com as técnicas utilizadas até então.

Desta forma, pode-se entender melhor a relação direta e indireta das implicações apresentadas na tabela 22 com a adoção de um referencial geocêntrico.

Pode-se observar que nesta análise qualitativa, a variação derivada da transformação de referencial geodésico está presente em apenas alguns casos de interferência nas características topológicas em comparação com a edição da estrutura topológica e atualização. Porém, como foi exposto em tópicos anteriores, os outros processos presentes na tabela 22 como fonte de variação posicional, relacionam-se com a adoção de um novo referencial. Desta forma, pode-se afirmar que a implicação desta adoção interfere indiretamente nestas etapas.

Existem grandes restrições no que consente a quantificação dessas influências, devido ao alto grau de complexidade das variáveis envolvidas nestes processos, ex. tipo de interface, formato dos arquivos, interoperabilidade entre as interfaces, etc. Dessa forma a pesquisa restringiu-se nesse tópico a uma avaliação qualitativa.

#### 4.4.5 Implicações na junção de mapeamentos

Em casos de conexão ou junção de mapeamento, como por exemplo, quando se necessita conectar mapeamentos de municípios e distritos vizinhos, normalmente podem ocorrer alguns problemas na área de junção. Estes problemas ocorrem devido à adoção de diferentes metodologias de levantamento de dados, diferente utilização de parâmetros e modelos de transformação, diferentes em escalas, número e tipo de feições mapeadas, diferença de simbologia entre outras.

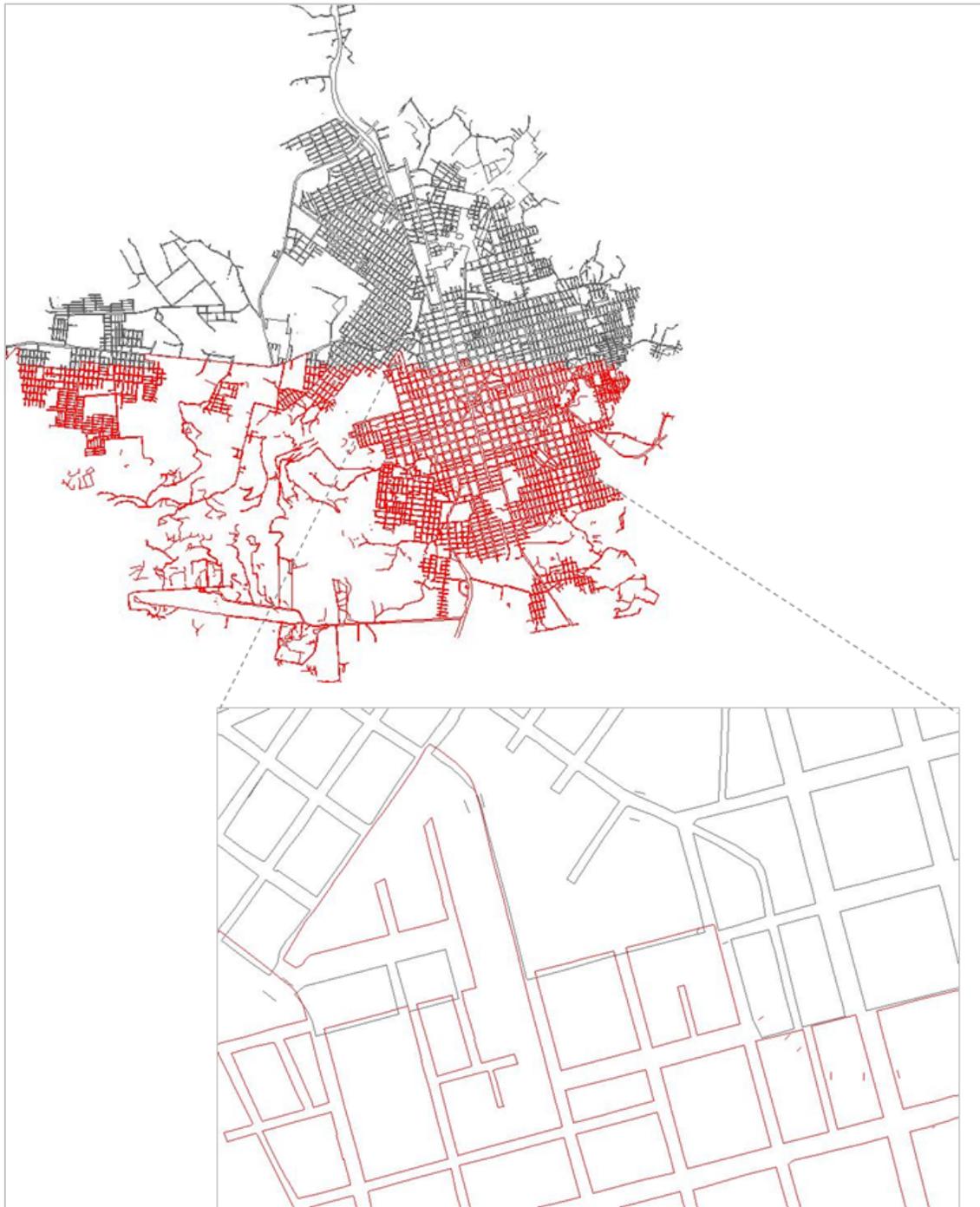
Problemas como estes, onde a metodologia de mapeamento é desconhecida e que necessitam de junção, muitas vezes são “resolvidos” com algumas técnicas de edição. Técnicas as quais são decididas pelo editor e que muitas vezes eliminam dados ou inserem dados que não foram levantados com respeito aos referenciais geodésicos. A atitude mais coerente seria revisar a metodologia de conversão de referenciais, mas nem sempre é acessível e de que existam informações suficientes a respeito dos mapeamentos.

Acredita-se que nos casos da cartografia em meio digital, que não necessita passar por processos de digitalização, vetorização entre outros, os processos de minimização destes erros são menos complexos. O problema citado possui uma maior relevância, quando se necessita fazer a junção de material cartográfico referenciado em SGR como Córrego Alegre, Astro *Datum* Chuá, nos quais possuem maiores dificuldades de conhecimento dos parâmetros de conversão destes sistemas. Apesar da facilidade na migração SAD69 para SIRGAS2000, cuidados não podem ser deixados de lado, pois em alguns casos, problemas poderão ocorrer.

Com a intenção de identificar a existência de problemas de junção de cartografia, foi realizado um teste preliminar na fase inicial desta pesquisa com o objetivo de simular uma conexão de Cartografia de municípios vizinhos conurbados.

Primeiramente foi realizada uma simulação com o mapeamento de Chapecó-SC. O mapeamento foi dividido nas partes Norte e Sul. Estas duas partes foram divididas em arquivos diferentes e aplicadas cores diferentes aos vetores do sistema viário.

A parte Norte do mapeamento foi transformada do sistema SAD69 para o SIRGAS2000 através da utilização do modelo Bursa Wolf e a parte Sul, convertido com a utilização do modelo simplificado de Molodensky. Nas figuras 28 e 29 são apresentadas algumas das conseqüências que ocorrem na conexão de arquivos onde foram aplicadas diferentes metodologias de transformação de referencial geodésico.



**Figura 28:** Ampliação na área de conexão do mapeamento com diferentes metodologias de transformação de referencial geodésico – ex. A

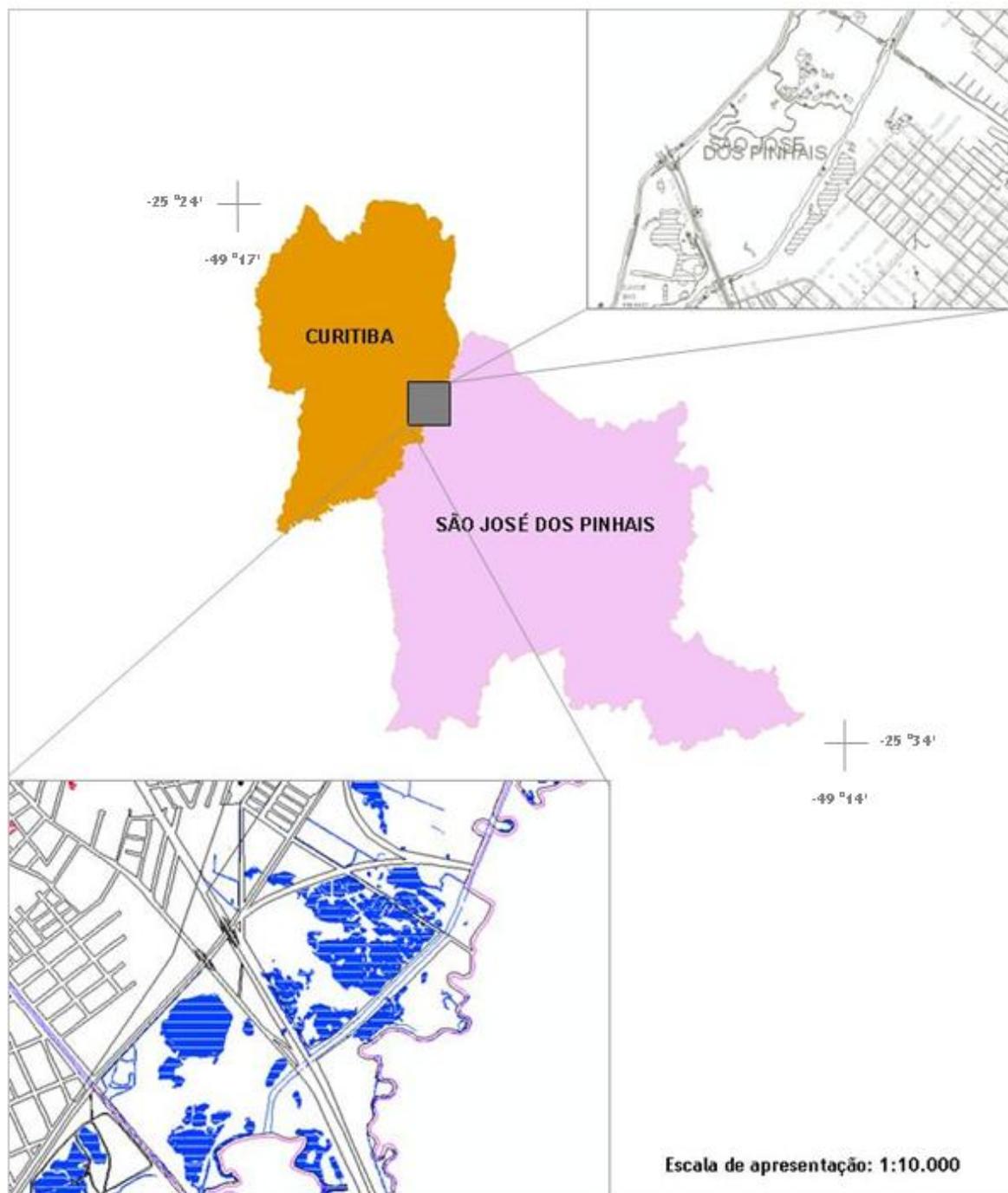


**Figura 29:** Ampliação na área de conexão do mapeamento com diferentes metodologias de transformação de referencial geodésico – ex. B

Nos exemplos das figuras 28 e 29 verifica-se a descontinuidade entre as feições e sobreposição para os casos em que se conectem os mapeamentos nos quais foram utilizadas diferentes metodologias de conversão de referencial geodésico.

A necessidade de conexão de mapeamentos faz-se necessária, principalmente nos casos de municípios conurbados, como é o caso dos municípios de Curitiba e São José dos Pinhais, que foram mapeados na escala 1:2.000.

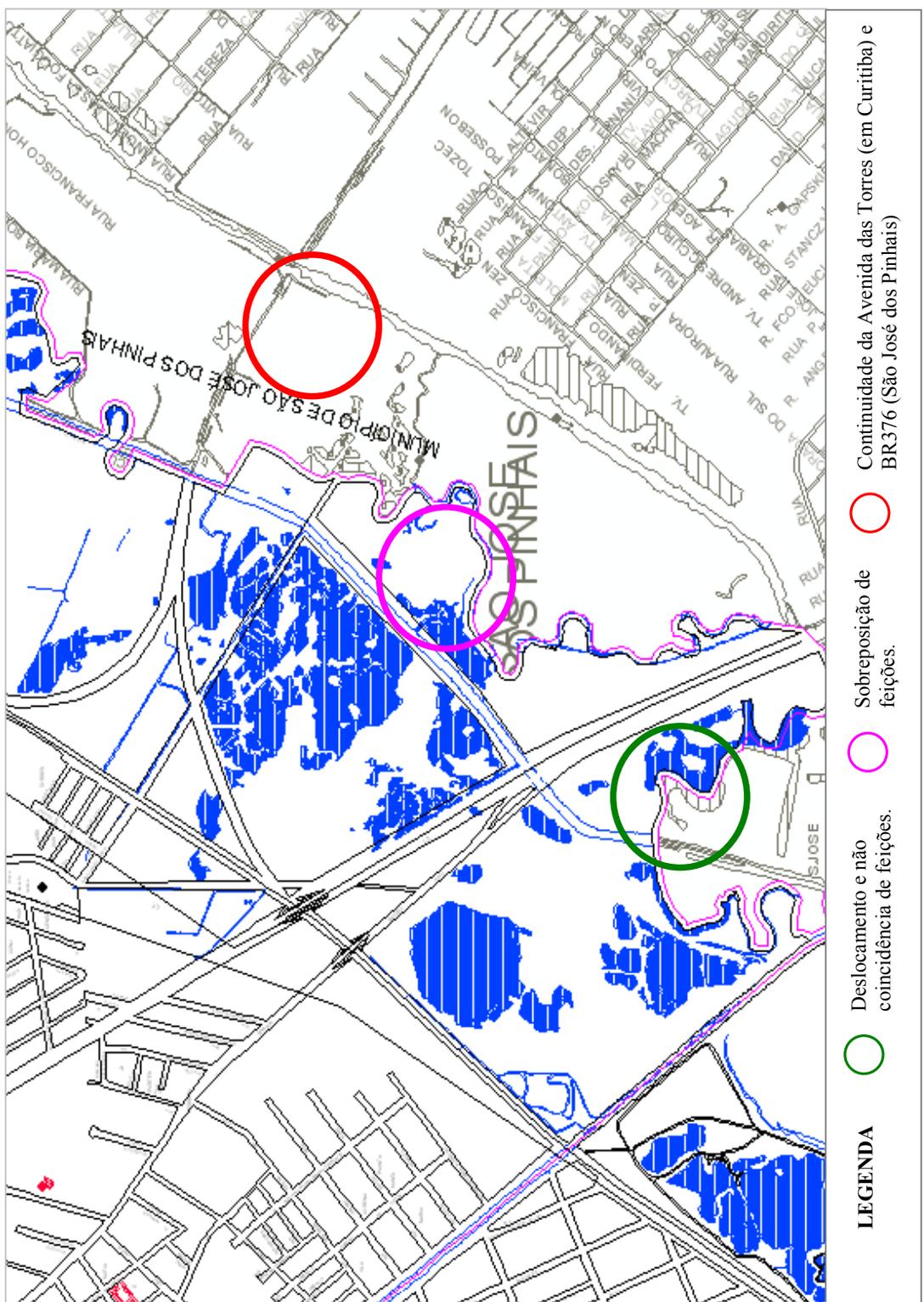
Para análise do caso entre os municípios de Curitiba e São José dos Pinhais, apresenta-se na figura 30 a região onde foi analisada a conexão e uma ampliação de um fragmento do mapeamento de São José dos Pinhais.



**Figura 30:** Conexão dos mapeamentos

Os municípios de Curitiba e São José dos Pinhais fazem divisa entre si em uma região demarcada pelo Rio Iguaçu, a figura 31 apresenta as áreas onde estão estes limites, na figuras há a representação da Avenida das Torres em Curitiba e em São José dos Pinhais da BR376.

Para simular uma provável implicação em virtude da utilização de diferentes metodologias para conversão de referencial entre os municípios após a adoção de metodologias de transformação diferentes foi realizado o seguinte procedimento: o mapeamento de São José dos Pinhais foi transformado de SAD69 para SIRGAS2000, utilizando o modelo Molodensky Simplificado e o mapeamento de Curitiba foi transformado de acordo com os parâmetros locais calculados neste trabalho pelo modelo Bursa Wolf.



**Figura 31:** Conexão entre os mapeamentos de Curitiba e São José dos Pinhais - Escala de apresentação: 1:2000

Na figura 31 pode-se verificar a existência de sobreposição do mapeamento de Curitiba no de São José dos Pinhais na área marcada pelo círculo magenta. Na região circulada em vermelho verifica-se a continuidade da Avenida das Torres e da BR376. Na região circulada em verde verifica-se a não coincidência das feições, ocorrendo assim um deslocamento. Verifica-se também que além das diferentes metodologias de transformação do referencial geodésico, as cartas apresentam diferenças quanto às feições mapeadas, além da atribuição de cores e simbologia às feições. Na carta de Curitiba o rio Iguaçu é representado pela cor azul, já na carta de São José dos Pinhais, o rio é representado por linhas tracejadas. Algumas diferenças como a espessura na representação das vias também são evidentes. Em áreas de conexão, os responsáveis pelos processos de edição adequam as bases de forma a garantir continuidade, porém algum dos mapeamentos perderá informações levantadas em terreno, como o apresentado na tabela 22 que descreve exemplos destas implicações.

Estes testes foram realizados com a intenção de investigar e representar as implicações que poderão ocorrer com os mapeamentos em escala grande. As adoções de diferentes e ou incorretas metodologias, que degradam a qualidade dos mapeamentos. Esta simulação demonstra a importância das precauções quanto à portabilidade, interoperabilidade, homogeneidade e compatibilidade da cartografia que se produz no território nacional e os cuidados para migração e adoção do SIRGAS2000, contribuem no fato de repensar as metodologias adotadas e a preocupação com os fatores acima citados e a divulgação e necessidade de normas.

#### **4.4.6 Implicações no Cadastro Técnico Imobiliário**

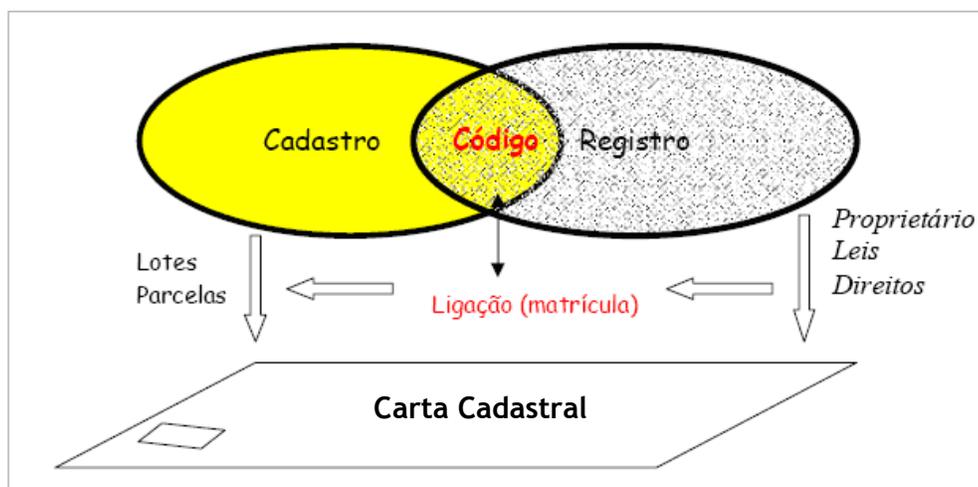
A Cartografia em Escala grande é essencial ao Cadastro Técnico Imobiliário, principalmente para as áreas urbanas. Ao analisar a realidade brasileira, até a atualidade não existe uma lei, aos moldes da Lei 10.267/01- Georreferenciamento de Imóveis Rurais – para os Imóveis Urbanos. Uma das maiores dificuldades em se realizar uma lei semelhante está no fato de que no Brasil o Cadastro físico não estar integrado ao Registro de Imóveis. Verificam-se algumas tentativas isoladas no Brasil para realização desta integração, nos municípios paulistas de São Paulo e Santo André, no qual as prefeituras enviam a atualização dos dados cadastrais aos cartórios. Maiores informações em (CARNEIRO, 2001).

A necessidade de integração entre o Registro e o Cadastro físico é necessária para apontar os benefícios recíprocos que a conexão propiciaria e para compreender que os registros de segurança jurídica não se desnaturalizariam com a conjugação de informações com os cadastros físicos, mas, ao contrário, se complementariam.

No Registro de Imóveis são feitas a Matrícula, o Registro e a Averbação de atos referentes a imóveis ou os direitos a eles relacionados. Na designação genérica de Registro estão abrangidas a transcrição e a inscrição de que tratam a lei civil.

Portanto, atualmente, qualquer ato que venha a transferir domínio ou instituir ônus reais, será objeto de registro figura 32. A matrícula é um ato cadastral, realizado pelo Registro de Imóveis,

que visa à perfeita identificação de um imóvel, caracterizando-o e confrontando-o, conferindo-lhe um número de ordem pelo qual será identificado, sem criar, conferir ou modificar direitos.



**Figura 32:** Registro de Imóveis e Cadastro Técnico: uma interconexão necessária.

Fonte: Adaptado de BUFARA (2007)

Porém, a maioria dos municípios não tem o Cadastro integrado ao Registro de Imóveis, mas utiliza o mapeamento em escala grande para gerenciar principalmente os tributos municipais como o Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU e muitas vezes desconhecem o potencial da utilização destas bases para outras finalidades de gestão.

Estes mapeamentos apresentam-se nas escalas 1:10.000 até 1:1.000, proporcional à complexidade da malha urbana do município. Em sua grande maioria são levantados por Fotogrametria e alguns dados são medidos em campo: como a testada dos lotes.

Apesar do Cadastro Urbano não ser regulamentado por lei aos modos do Cadastro Rural, por intermédio da lei 10.267 de 2001, as prefeituras que utilizam seus Mapeamentos onde as feições estão georreferenciadas possuem subsídios para a administração do território. Num processo de migração de referencial geodésico é comum reaproveitamento dos mapeamentos anteriormente realizados.

Através de contatos com os municípios que cederam seus mapeamentos para os estudos realizados neste trabalho, verificou-se que todos optaram pela transformação de referencial, declararam de que desconheciam os problemas que poderiam ter em virtude da utilização errônea na escolha do modelo matemático de transformação. A contratação de um novo mapeamento referenciado ao SIRGAS2000 não foi declarado por nenhum dos municípios. Declararam que somente daqui alguns anos quando necessitarem de um novo mapeamento por outros motivos, como nos casos de grande expansão do município, mas não por causa da mudança do referencial.

Em virtude da situação atual desenvolvida periodicamente nas atividades de Cadastro Técnico Imobiliário no Brasil procurou-se analisar as implicações da mudança de referencial geodésico SAD69 para SIRGAS2000, tomando por base o mapeamento de Curitiba-PR e dados referentes à cobrança de IPTU no município.

O IPTU é baseado no valor venal do imóvel, através de um método específico de avaliação que considera características do imóvel, tais como localização, tipo de construção, dimensões e fatores de correção (valorização e desvalorização do imóvel).

Apesar da dimensão do imóvel e a área construída não serem os únicos parâmetros para o cálculo do IPTU, neste trabalho se avaliou somente a questão da alteração em área após a transformação.

Um dos métodos de mapeamento utilizados para as áreas urbanas é por intermédio das técnicas fotogramétricas. Procedimentos de restituição fotogramétrica conduzem como produto final os Mapeamentos em Escala grande.

A utilização dos dados cartográficos, até a pouco tempo, realizava-se a análise visual dos mapas em papel, atualmente esta análise é baseada em um SIG ou por Sistemas Auxiliados por Computador. O processamento e a representação digital dos dados trouxeram uma série de benefícios na forma de análises rápidas, precisas e sofisticadas, mas ao mesmo tempo revelaram fraquezas que não eram perceptíveis de outra forma. Uma delas é o uso inadequado de sistemas de coordenadas por parte da comunidade usuária leiga, que trabalha com dados baseados em sistemas de coordenadas de diferentes características e de diferentes realizações de novos referenciais geodésicos sem maiores cuidados, pó por desconhecimento. O uso inadequado dos sistemas pode, por exemplo, acarretar resultados sem acurácia e em decisões equivocadas. Esta é a realidade que ocorre nas prefeituras de municípios no Brasil. Um exemplo é a operação de Sistemas de Informações Geográficas de maneira inadequada, cabendo ao especialista a responsabilidade na operação e resolução de problemas advindos de procedimentos de transformação de referenciais geodésicos.

No estudo de caso proposto utilizou-se um imóvel situado na região sul do município de Curitiba-PR, conforme a figura 33.



**Figura 33:** Localização do Imóvel utilizado no Estudo de Caso

Foram utilizadas informações reais do imóvel, associado às informações descritas pelo Imposto sobre Propriedade Predial e Territorial Urbana – IPTU, o qual tem como fato gerador o domínio útil ou a posse de bem imóvel, cuja base de cálculo é seu valor venal.

REGISTRO IMOBILIÁRIO		INDICAÇÃO FISCAL		F. MULTIPlicação	COEF. PVA DOM	LAPT	ÁREA DO TERRENO	CAR	LACD	NETRABEN	VALOR	F.R.U.	P.U.T.	ESQ.	S.V.				
56.2.0028.0050.00-4		86-120-018.000-0		3,119521	43,5	1964	783	1	C	52,2	73	XXXX	2	1	14				
D									D	15,0	88	XXXX	1	1	14				
SEÇÕES-ÁREAS		EMISSÃO	NATUREZA	ESP.	ZONA	FATORES DE CORREÇÃO													
		NORM.	PREDIAL	6	ZS1	IMPOSTO/CAPC	TERRENO	CONSTRUÇÃO	ÁREA VERDE										
						0,00	0,00	0,00	0,00										
SUBLOTE	D.T.	TIPO	ÁREA CONSTRUÇÃO	A.C.	A.R.	LAPC	P.VO	PARTICIP. IPTU + TAXAS		SUBLOTE	D.T.	TIPO	ÁREA CONSTRUÇÃO	A.C.	A.R.	LAPC	P.VO	PARTICIP. IPTU + TAXAS	
0000	12	05	156,5	1997	0000	2001	01	478,98											
0001	12	06	51,0	1981	0000	1985	01	120,70											
0002	11	05	43,5	1997	0000	2001	01	123,20											

Figura 34: Informações sobre o IPTU do imóvel avaliado

O imóvel está localizado em uma área do bairro onde há meio fio com canalização das águas pluviais, abastecimento de água, sistema de esgoto unitário, rede de iluminação pública e posteamento para distribuição domiciliar de energia elétrica, presença de escolas, postos de saúde, sistema de transporte. Nas ruas que se cruzam formando as esquinas são pavimentadas com asfalto.

O imóvel estudado situa-se no bairro Boqueirão, nas esquinas das Ruas Napoleão Laureano e Carlos de Laet. A área do imóvel é compreendida por duas residências: uma mista (alvenaria e madeira), (sendo que a edificação 1 possui um comércio associado) e outra de madeira.

Estas foram representadas, com auxílio de ferramentas do software Auto CAD e referenciadas ao Sistema Geodésico de Referência SAD69 e Sistema de Projeção UTM para posteriormente realizar as transformações de referenciais necessárias.

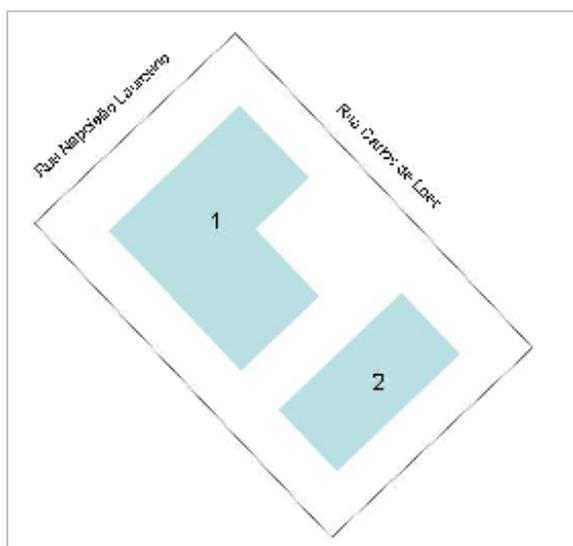


Figura 35: Imóvel avaliado e representação das duas edificações

O terreno e as edificações possuem as seguintes dimensões:

Área do terreno: 783 m<sup>2</sup>

Edificação 1: Área = 200 m<sup>2</sup>

Edificação 2: Área = 51 m<sup>2</sup>

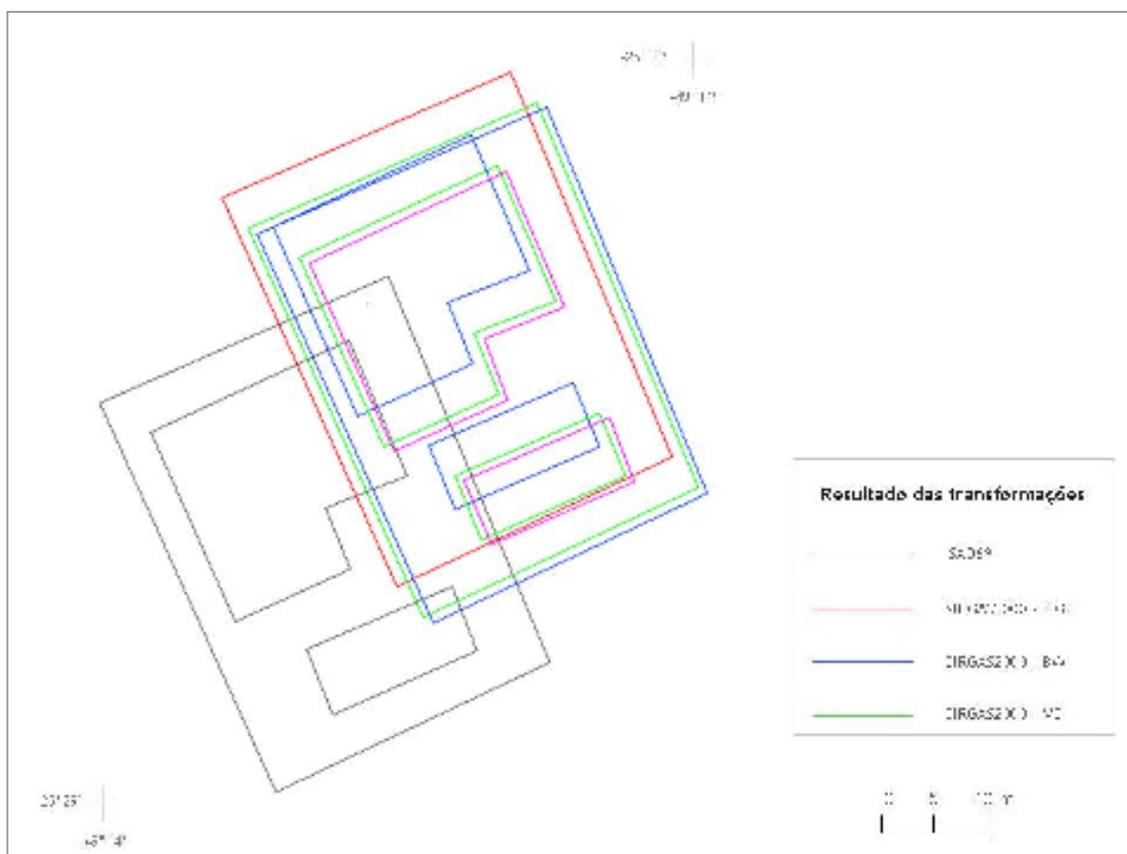
Foram aplicadas as três transformações propostas nesta pesquisa:

- Translação a partir dos parâmetros oficiais do IBGE – 3 parâmetros,
- Transformação a partir dos parâmetros locais, através do modelo matemático Molodensky

Simplificado – 5 parâmetros,

- Transformação a partir dos parâmetros locais, através do modelo matemático Bursa Wolf - 7 parâmetros.

Na figura 36 são representados os resultados das transformações do arquivo vetorial.



**Figura 36** Representação das transformações do imóvel

**Tabela 23:** Comparação das áreas

	<i>Original SAD69 UTM</i>	<i>SIRGAS2000 IBGE</i>	<i>SIRGAS2000 MS</i>	<i>SIRGAS2000 BW</i>
Área do terreno (m <sup>2</sup> )	783,000	783,000	784,048	783,078
Área Edificação 1 (m <sup>2</sup> )	200,000	200,000	200,268	200,200
Área Edificação 2 (m <sup>2</sup> )	51,000	51,000	51,068	51,005

Ao analisar as transformações realizadas de acordo com a tabela 23, verifica-se que a transformação utilizando apenas os três parâmetros de translação oficiais do IBGE não ocasionaram alteração das áreas, pois é uma transformação onde não há alteração de escala, nem rotações, mantendo assim as características de conformidade.

Na transformação utilizando os modelos de 5 e 7 parâmetros locais respectivamente apresentaram um aumento de 0,134% para o modelo matemático Molodensky Simplificado e 0,01% para o modelo Bursa Wolf.

O cálculo do IPTU não é baseado somente na área do terreno e sim no valor venal, porém a área é um dos parâmetros. Os elementos básicos que influenciam nos valores dos imóveis e nos tributos segundo (GRIPP, 1999) são: influência da profundidade do lote, influência da variação da frente, fração ideal ocupada ocorrido no exemplo exposto (quando há mais de um imóvel por lote).

O parâmetro área entra no cálculo do valor da edificação e do terreno, subsídios para o cálculo do valor venal do imóvel.

O valor do imóvel se dá:

$$V_i = V_T + V_E$$

Eq.12

$V_i$  = valor do imóvel

$V_T$  = valor do terreno

$V_E$  = valor da edificação

O valor do IPTU se dá:

$$V_{IPTU} = V_i \times a$$

Eq.13

$V_i$  = valor do imóvel

$a$  = alíquota

Segundo o Código Tributário Nacional, a alíquota a ser aplicada sobre o valor venal do imóvel será de:

I – 1,5%, tratando-se de terrenos

II – 0,4%, tratando-se de prédio

O valor do IPTU para o imóvel da área de estudo é de R\$722,88 ou US\$401,11. Considerando a variação em área do terreno e do imóvel, quando se utilizam os parâmetros do IBGE nada é alterado. Quando se utiliza o modelo Molodensky Simplificado este sofre um acréscimo de 0,134% que em reais totaliza um acréscimo de R\$0,97 ou US\$0,53 e através do modelo matemático Bursa Wolf, um acréscimo de 0,01%, totalizando R\$0,07 ou US\$ 0,04.

O modelo Bursa Wolf, apesar de ser um modelo que existe uma pequena alteração, ainda é menor do que a utilização do Molodensky Simplificado.

Considerando que o município de Curitiba possui cerca de 600 mil imóveis que pagam o IPTU (IPPUC, 2009), este acréscimo seria de R\$582.000,00 ou US\$ 323.000 na receita utilizando o modelo Molodensky Simplificado para transformação de referencial e de R\$42.000,00 ou US\$23.000 para o modelo Bursa Wolf. Utilizando os parâmetros de transformação do IBGE as áreas não sofreriam alteração, pois como já foi mencionado é uma transformação conforme. Mas como foi apresentada anteriormente, esta transformação não descreve a realidade na relação entre os dois referenciais. A utilização do modelo Bursa Wolf promove menores divergências em área e descreve melhor a compatibilização entre os referenciais.

As conseqüências referentes às arrecadações não são as mais relevantes, porém os dados referentes aos lotes e edificações são inconsistentes, uma vez que utilizam diferentes metodologias que resultam em discrepâncias.

Estudos a respeito da forma como são realizadas estas transformações são importantes ao Cadastro Técnico para prever problemas futuros. Recentemente o INCRA aprovou que os levantamentos conforme as exigências à Lei 10.267 sejam entregues referenciados ao SIRGAS2000, atitude a qual aconteceu somente quatro anos após o referencial se tornar oficial e os antigos levantamentos deverão ser convertidos.

De posse a uma infinidade de softwares que possibilitam as transformações dos arquivos vetoriais destes levantamentos, é provável que questionamentos a respeito dos modelos matemáticos de transformação sejam ignorados, ou escolhidos aleatoriamente e a partir daí acontecer problemas como os anteriormente citados. Divergências as quais poderão ocasionar problemas jurídicos.

São vários os aspectos ligados ao Cadastro Técnico Imobiliário que deverão ser levados em consideração como, por exemplo: quadras locadas em projetos de loteamento que não foram locadas adequadamente, com divergências para com o projeto; em projetos de parcelamento – desmembramento, amembramento; nas locações de equipamentos de infra-estrutura urbana, na vinculação a quais propriedades estarão vinculadas (rede de distribuição de alta tensão, rede de gás, linha ótica – transmissão subterrânea) onde poderão ocorrer variações quanto ao valor pago pela utilização de áreas particulares pelo uso do espaço. Lembrando que qualquer recálculo, mesmo que seja de centavos de real poderão provocar implicações jurídicas.

Outra questão que deverá ser considerada é que em virtude da migração de referencial, estas discrepâncias serão consideradas juridicamente a partir de 2005 desde a época em que o SIRGAS2000 tornou-se oficial ou somente a partir de 2015 em que o SAD69 não será mais de uso concomitante?

Esta e outras questões abordadas tecnicamente no decorrer deste trabalho servem para salientar de que uma migração de referencial não consiste apenas na translação das bases cartográficas e sim na análise do todo, para que todas estas questões a respeito da problemática apresentada sejam minimizadas.

## CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Vários aspectos devem ser levantados em consideração nos procedimentos de adoção de um referencial geocêntrico. É necessária uma constante discussão a respeito das metodologias empregadas. A adoção de um *Datum* geocêntrico não trás somente soluções, mas também implica na necessidade de integração dos dados e mapas já gerados em referenciais topocêntricos. A implicação maior se dá nos países que possuem Cartografia em vários referenciais, e os quais possuem grandes dificuldades, principalmente financeiras, em atualizar e até mesmo gerar um novo mapeamento. Neste contexto o Brasil está inserido.

Através da pesquisa a respeito das experiências mundiais verifica-se que a adoção de um referencial geocêntrico, não é uma preocupação recente. A mudança para um *Datum* geocêntrico é um tema comum nas comunidades internacionais que tratam de Geodésia, Mapeamento e Sistemas de Informação Geográficas. Os projetos para adoção de um *Datum* geocêntrico estendem-se por todos os continentes sem exceção. Europa e Austrália deram os primeiros passos visando esta adoção já na década de 80. Ásia, América do Sul e Nova Zelândia somente nos meados dos anos 90. As nações desenvolvidas da América do Norte iniciaram as atividades ainda na década de 70, com grandes investimentos no estabelecimento de suas redes geodésicas para o estabelecimento do North American *Datum*. Atualmente a América Norte participa do SIRGAS 2000, mas não da mesma forma que o Brasil. Uma das conclusões mais significantes nesta etapa da pesquisa foi que a América do Sul tem uma particularidade especial quando comparado a outras regiões, pois a América do Sul é uma das poucas que adota o SIRGAS2000 como sistema oficial para o Sistema Cartográfico Nacional.

A Legislação Cartográfica Nacional referente à avaliação posicional dos mapeamentos possui características semelhantes aos padrões internacionais: NATO e STANAG2215. Estes padrões adotam para a acurácia posicional absoluta, o grau de confiança de 90% da mesma maneira que a Legislação Cartográfica Brasileira. Sugere-se que estudos futuros observem estes padrões internacionais também para a Cartografia digital, adaptando-os às necessidades da Cartografia digital produzida no Brasil. A observância das experiências internacionais pode fornecer soluções simples e eficazes às necessidades de normatização das atividades em Cartografia no Brasil.

Quanto ao estudo comparativo entre os parâmetros divulgados pelo IBGE e os parâmetros locais, conclui-se que estes parâmetros não apresentam aproximação, o que sugere que os parâmetros oficiais não descrevem a realidade nas relações entre os referenciais SAD69 e SIRGAS2000 no território nacional. Recomenda-se um estudo para verificar o comportamento dos parâmetros locais em outras regiões do país. Considera-se também oportuna a revisão, por parte do IBGE, dos parâmetros publicados e considerados oficiais.

Quanto ao modelo matemático para transformação de referencial geodésico, apesar da indicação do modelo Molodensky Simplificado na Resolução n°. 23 de fevereiro de 1989, o modelo de Bursa Wolf foi o que apresentou os menores resíduos na determinação dos parâmetros, contribuindo para as menores divergências, principalmente no que se refere à alteração da forma das

feições analisadas. Duas bases cartográficas poderão estar referenciadas ao mesmo sistema de referência. Mas se estas são de provenientes de transformações por dois modelos distintos, apresentarão discrepâncias nas representações em escala grande.

Outra importante questão detectada no decorrer deste trabalho refere-se à manipulação dos dados. Atualmente os procedimentos em Cartografia são realizados com o auxílio de SIG's e CAD's. O processamento e a representação digital dos dados cartográficos trouxeram uma série de benefícios na forma de análises rápidas, precisas e sofisticadas, mas ao mesmo tempo revelaram fraquezas que não eram perceptíveis de outra forma "inerentes à manipulação em meio digital". Uma delas é o uso inadequado de sistemas por parte da comunidade usuária leiga. O uso inadequado destes sistemas pode, por exemplo, acarretar em resultados inaccurados e decisões equivocadas. No processo de transformação entre sistemas de referência, os softwares de CAD e SIG oferecem uma série de modelos matemáticos e os usuários nem sempre tem o conhecimento necessário para fazer a correlação da necessidade do conhecimento de com qual modelo matemático os parâmetros foram determinados.

O procedimento de transformação de referencial geodésico em arquivos vetoriais utilizados nas atividades de Cartografia e afins exige o conhecimento especialista. O uso de diferentes procedimentos de transformação gera diferenças nos valores de coordenadas transformadas. As conseqüências dessas diferenças são percebidas na fusão/junção de dados de múltiplas fontes, por exemplo. Duas bases de dados podem estar sob o mesmo sistema de referência, mas se foram transformadas através de procedimentos diferentes podem fazer com que a transformação de uma mesma feição resulte em duas representações diferentes. Portanto, são essenciais as informações de proveniência do mapeamento ao utilizar softwares na transformação de coordenadas e arquivos vetoriais. Ao inserir os parâmetros referentes à transformação em questão, a documentação técnica dos dados e dos procedimentos aplicados a eles devem estar acompanhados das informações espaciais para que sejam uniformemente empregados. Nesse sentido, recomendam-se estudos para padronização de atributos em Sistemas de Informações Geográficas. Necessidade de atenção aos procedimentos de transformação. Conhecimento do modelo de transformação no quais os parâmetros foram determinados e utilização do mesmo na seleção dos modelos implantados em softwares.

Quanto à utilização de simbologia na Cartografia em escala grande, os símbolos pontuais são os mais afetados nos processos de transformação de referencial geodésico. Na cartografia em meio digital há a correspondência de um ponto de referência, o que nesta pesquisa foi denominado por ponto âncora. A simbologia pictórica pode apresentar várias alternativas na determinação deste ponto âncora: seja no centro geométrico do símbolo ou em alguma outra parte do símbolo. Um exemplo foi demonstrado para a feição poste, pois era a única feição pontual comum aos três mapeamentos. Nos procedimentos de restituição, procura-se cadastrar o centro do poste. Nos levantamentos em campo, a coordenada em campo se refere a uma posição encostada do poste, mas não o centro do poste. Nem sempre no projeto do símbolo é determinado o ponto âncora de acordo com a determinação da coordenada de levantamento, podendo gerar diferenças posicionais significativas.

Vários autores declaram que em meio digital não há escala, baseando seus comentários na capacidade de ampliação possibilitada na manipulação da informação espacial em meio digital. Ressalvas devem ser feitas a esta afirmação, visto que existe uma acurácia ligada ao levantamento destes dados, o que gera conseqüentemente uma escala nominal. Apesar da capacidade de ampliação além da escala de levantamento, a mesma não gera uma maior acurácia ao dado. Já o caso da redução ficaria restrito ao nível de generalização cartográfica das feições mapeadas. A partir de certo grau de redução da escala, são necessários os empregos de técnicas de generalização.

Um exemplo do efeito da diferença entre os dois referenciais: SAD69 e SIRGAS2000 foi apresentado, mostrando deslocamentos na escala de mapeamento 1:2.000 na ordem de 32m. Também foi verificado que a partir da escala 1:30.000 divergências entre modelos matemáticos diferentes já podem ser visualizadas graficamente.

Nos processos de transformação de referenciais auxiliados por softwares, verifica-se que poderá ocorrer alteração destes pontos de referência, em virtude das características de cada software. Recomenda-se uma avaliação quantitativa destas alterações, pois neste trabalho realizou-se uma avaliação qualitativa desta ocorrência.

Aponta-se uma limitação nos softwares TCGEO e PROGRID disponibilizados pelo IBGE. Estes softwares transformam somente coordenadas e não vetores. Restando aos usuários de cartografia a utilização de softwares de CAD e SIG para realizar a transformação de vetores. Muitos destes softwares de CAD e SIG utilizam parâmetros padrão, muitas vezes diferentes dos padrões nacionais. Outra falha observada, refere-se a omissão do modelo matemático de transformação por parte de software proprietários. Dessa forma, não é exceção a escolha aleatória de modelos matemáticos no processo de transformação.

Foram delimitados quatro fontes onde direta ou indiretamente existiriam fontes de erro posicional ou temático em mapeamentos digitais: a própria transformação de referencial geodésico, o processo de edição para adequação à estrutura topológica, a conversão entre formatos vetoriais e nos processos de atualização de mapeamentos. Estas fontes podem provocar alterações na posição real da feição, sobreposição destas feições, a não contingência de um ponto em um determinado polígono, a ultrapassagem e o não alcance de limites de interseção, descontinuidade de linhas, falta de associação de nós, polígonos abertos, não coincidência de nós, entre outros. Cabe salientar que existem grandes restrições no que consiste à quantificação destas influências. Recomenda-se avaliação das fontes de variação posicional qualitativamente, levando em consideração a complexidade e variáveis como a interface computacional, formato de arquivos e interoperabilidade entre as interfaces

Quanto às implicações no Cadastro Técnico Imobiliário, verifica-se que para as escalas grandes, as conseqüências seriam aplicáveis se o Cadastro Urbano Brasileiro fosse georreferenciado e que este fosse integrado ao Registro de Imóveis, o que não é uma realidade no Brasil. No Brasil, o Cadastro Imobiliário é voltado à cobrança do imposto territorial. De acordo com os estudos realizados, as alterações provocadas pelas diferentes metodologias de transformação de referenciais poderão provocar diferenças financeiras quanto à arrecadação dos municípios, porém não tão relevantes quanto

a geração de inconsistências que são inseridas às bases de dados. Futuramente, com a possibilidade da existência de um Cadastro Técnico georreferenciado para o meio urbano, integrado ao Registro de Imóveis, onde o SIRGAS2000 como referencial oficial é importante evidenciar a necessidade verificação dos resultados apresentados nesta pesquisa, procurando garantir a unicidade de informações e a integridade para com o SGB.

Não foram avaliadas as informações altimétricas destes mapeamentos, uma vez que esta pesquisa concentrou-se às implicações quanto à planimetria. Cabe salientar que muito se discute a respeito da adoção do SIRGAS2000 para a altimetria. Num referencial topocêntrico a altitude considerada é a altitude relacionada à superfície física e o geóide, a altitude ortométrica. Altitude utilizada como referência em obras de Engenharia, no qual a Cartografia em escala grande é muito empregada. A componente altimétrica do SIRGAS2000 é de característica elipsoidal. Existe a necessidade de conversão desta altitude elipsoidal para ortométrica. Para isso são utilizados os Mapas Geoidais, os quais não apresentam confiabilidade suficiente para esta conversão. Muitas pesquisas trabalham no sentido de analisar as diferenças entre as redes verticais e buscar uma solução ótima através de um sistema vertical único que atenda ao referenciamento espacial dos dados. Nestes estudos são necessários integrar informações e conectar as redes de nivelamento nacionais à Rede SIRGAS, e calcular números de geopotenciais, de modo a gerar Mapas Geoidais de qualidade. Entre as pesquisas mais recentes estão as técnicas de altimetria por satélite, as quais poderão ser usados em conjunto e serem relacionados. Outra recomendação é o estudo do posicionamento geocêntrico dos dados maregráficos e a implicação desta correlação na Cartografia em escala grande, além da avaliação da influência da componente altimétrica ortométrica e elipsoidal na obtenção dos parâmetros de transformação dos referenciais em futuras pesquisas.

Neste período de transição é comum encontrar empresas que continuam realizando levantamentos referenciados ao SAD69, faltando seis anos para adoção única do SIRGAS2000. O INCRA há poucos meses alterou sua norma quanto a exigência da entrega dos levantamentos de acordo com a Lei 10.267 referenciados ao SIRGAS2000.

Espera-se que com estas observações, que em breve seja publicada uma norma semelhante à Lei de Georreferenciamento de Imóveis Rurais, destinada aos Imóveis Urbanos e que a mesma faça a indicação tanto do referencial geocêntrico SIRGAS2000, quanto a integração destas informações com o Registro de Imóveis.

Esta pesquisa prova que sejam considerados estudos que apontam a necessidade de normatização de procedimentos em Cartografia, de modo que possa orientar a comunidade produtora e usuária de dados cartográficos, tanto os padrões de qualidade cartográfica existentes e a necessidade de atualização para a atual “era digital”, de maneira que os problemas resultantes de um período de migração de referencial sejam minimizados. Recomenda-se a criação de um grupo para a discussão e padronização da cartografia digital 2D em escala grande, assim como um órgão responsável para criação de normas para criação Cartografia nesta escala.

## REFERÊNCIAS

---

- 1) ABNT. NBR 14.166. **Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1998.
- 2) ADAM, J. et al. *The European reference system coming of age*. Members of the EURFEF Technical Working Group. München: 1999.
- 3) ANCIÃES, C. L. C., OLIVEIRA, L. C. de. **Transformação entre Redes Geodésicas: Considerações sobre os espaços 3D e 2D**. Anais III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba: 2003.
- 4) ANTUNES, A. F. B. **Cadastro Técnico Urbano e Rural**. UFPR. Curitiba: 2007.
- 5) ARAKI, H. **Fusão de Informações Espectrais, Altimétrica e de Dados Auxiliares na Classificação de Imagens de Alta Resolução Espacial**. PPGCG. UFPR. Curitiba, 2005.
- 6) BÄHR, P. **Cartografia Orientada para o Cadastro - Uma Visão Alemã**. Anais do 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: 1994.
- 7) BANNISTER, A. *Surveying*. Seventh Edition. Ed. Longman. London: 1998.
- 8) BERTINI, G. C. **Uma modelagem Orientada a Objeto para o Mapa Urbano Básico de Belo Horizonte**. Prodabel/IRT-PUC/MG. Belo Horizonte: 2003.
- 9) BEVIN, T. *New Zealand National Report for Scar 2000 for Geodesy and Geographic Information*. Report of Current Activities for 2000. Prepared by Land Information. New Zealand: 2000.
- 10) BLACHUT, T. J.; CHRYANOWSKI, A.; SASTAMOINEM, J. H. *Urban Surveying and Mapping*. Springer-Verlag. New York: 1979.
- 11) BOS, E. S. *Cartography Symbol Design*. ITC. Netherlands: 1994.
- 12) BOUCHER, C. *Global and Regional Geodetic Networks – GRGN*. 1999. Disponível em [http://www.gfy.ku.dk/~iag/Travaux\\_99/comm10.htm](http://www.gfy.ku.dk/~iag/Travaux_99/comm10.htm). Acesso em 10 de julho de 2007.
- 13) BRANDALIZE, M. C. B. **A Qualidade Cartográfica dos Resultados do Laserscanner Aerotransportado**. UFSC. Florianópolis: 2004.
- 14) BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília: 1984.
- 15) BRASIL. **Resolução nº23/1989. Parâmetros de Transformação**. Brasília: 1989.
- 16) BRASIL. **Código Tributário Nacional**. 28 edição. Ed. Saraiva. São Paulo: 1999.
- 17) BRASIL. R. PR. 2005. **Alteração da caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**. Brasília: 2005.
- 18) BRASIL. 2001. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, Estatuto da Cidade**. <http://www.pbqph.gov.br/destaques/documentos/estatutodacidade.htm>. Acesso em 08 novembro de 2006.
- 19) BRASIL. **Decreto-lei n. 243, de 28 de fevereiro de 1967. Fixa as diretrizes e bases da cartografia brasileira**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 fev. 1967. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/CCA22.htm> . Acesso em: 05 de abril de 2007.
- 20) BURITY, E. F.; PHILIPS, J. W.; BRITO, J. L. **Qualidade de dados para mapeamento**. In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia. Recife: 1999.
- 21) BURITY, E. F.; SILVEIRA, J. C. **Requisitos de qualidade no contexto da série de normas ISO 9000**. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte: 2003.
- 22) BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. *Principles of Geographical Information System*. Spatial Information System and Geostatistics. Oxford University. Oxford: 1998.

- 23) BURSA, M. *The theory for the determination of the non-parallelism of the minor axis of the reference ellipsoid and the inertial polar axis of the reference ellipsoid and the inertial polar axis of the Earth, and the planes of the initial astronomic and geocentric meridians from observations of artificial Earth satellites*. Studia Geophysica et Geodetica. 209-214. República Tcheca: 1962.
- 24) CARNEIRO, A. F. T. **Uma proposta de reforma cadastral visando a vinculação entre cadastro e registro de imóveis**. PPGEP. UFSC. Florianópolis, 2000.
- 25) CARNEIRO, A. F. T. **Cadastro e Registro de Imóveis em Áreas Rurais e Urbanas: A Lei 10.267/2001 e Experiências nos Municípios de São Paulo e Santo André**. Revista Brasileira de Cartografia. n. 53. Rio de Janeiro: 2001.
- 26) CASACA, J. M. BAILO, M. **Topografia**. Lidel Ed. Tecnicas. Lisboa: 2000.
- 27) CASTAÑEDA, R.M. **Ensaio para Definição de Parâmetros de transformação entre o SAD69 e NSWC 92Z**. PPGCG. Curitiba: 1986.
- 28) COLLIER, P.; LEAHY, F. ARGESSEANU, A. *Transition to the geocentric Datum of Australia*. Department of Geomatics. The University of Melbourne. Melbourne: 1996.
- 29) CONCAR. **Missão da Concar**. Comissão Nacional de Cartografia. <http://www.concar.ibge.gov.br/index78f5.html?q=node/93>. Acesso em 10/12/2007.
- 30) CONCAR. **Normalização**. <http://www.concar.ibge.gov.br/Normalizacao.html> CONCAR 2009. Acesso em 03 de fev de 2009.
- 31) CORDINI, J.; GARNÉS, S.J.A.; MORAES, C. V.; NADAL, C. A. **Transformações de Referenciais Geodésicos**. COBRAC 98. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC. Florianópolis: 1998
- 32) COSTA S.M., BEATTIE D.S. e PEREIRA K.D. *The Integration of Brazilian Geodetic Network into SIRGAS*. XVIII Congresso Brasileiro de Cartografia e Scientific Assembly of the International Association of Geodesy - IAG97. Rio de Janeiro: 1997.
- 33) COSTA, M.F.; SANTOS, M.C.: **Compatibilização entre sistemas Geodésicos**. 3º COBRAC, Florianópolis: 1998.
- 34) COSTA, S. M. **Integração da Rede Geodésica aos Sistemas de Referência Terrestres**. UFPR. 170p. Curitiba: 1999.
- 35) COSTA, M. F. **Modelagem da Função Covariância para Transformação de Referenciais Geodésicos por Colocação**. PPGCG. UFPR. Curitiba: 2003
- 36) COSTA, S. M.; LIMA, M.A. **Parâmetros de Transformação entre SAD69 e SIRGAS2000**. Congresso Brasileiro de Cartografia. Macaé: 2005.
- 37) CRIOLLO, A. R. T.; DALAZOANA, R.; DE FREITAS, S. R. C. **O Uso de Redes Neurais Artificiais para Melhorar a Transformação de Coordenadas entre Redes Geodésicas de Referência Clássicas**. Anais do IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba: 2005.
- 38) CTCG - Câmara Técnica de Cartografia e Geoprocessamento. **Recomendação Técnica CTCG 001/96. Padronização das Escalas Utilizadas em Trabalhos Cartográficos**. Curitiba: 1996.
- 39) CUNHA, M. J. P da. **Aplicação do sistema de posicionamento global no cadastramento de redes de distribuição elétrica**. PPGCG. Curitiba: 1997.
- 40) DALAZOANA, R. **Implicações na cartografia com a evolução do sistema geodésico brasileiro e futura adoção do SIRGAS**. UFPR. Curitiba: 2001.
- 41) DALAZOANA, R. **Efeitos na cartografia devido a evolução do sistema geodésico brasileiro e adoção de um referencial geocêntrico**. Revista Brasileira de Cartografia. Nº54. Rio de Janeiro: 2002.

- 42) DALAZOANA, R., Freitas, S. R. C., Luz, R. T. **Importância do Resgate e Análise da Série Temporal de Observações Maregráficas no Porto de Imbituba.** In: **Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas.** Curitiba: 2003.
- 43) DALMOLIN, Q.; LEAL, E. da M. **Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD.** Boletim de Ciências Geodésicas. V.7. p.21-40. Curitiba: 2001.
- 44) DALMOLIN, Quintino. **Ajustamento por Mínimos Quadrados.** Editora UFPR. 2.ed. Curitiba: 2004.
- 45) DECANINI, M. M. S. **Símbolos cartográficos.** Disponível em <http://www.geometrik.org/apostilas.php> Acesso em 26/10/2006.
- 46) EMPLASA. **Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo. Sistema Cartográfico metropolitano: guia de informação.** São Paulo: 1993.
- 47) ERBA, D. A.; OLIVEIRA, F. L.; LOCH, C; ET AL. **Cadastro Multifinalitário como Instrumento de Política Fiscal e Urbana.** Editora Studdium. Rio de Janeiro: 2005.
- 48) ERBA, D. A.; LOCH, C. **Cadastro Técnico multifinalitário: rural e urbano.** Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge: 2007.
- 49) FEATHERSTONE, W. E. A *Comparison of existing co-ordinate transformation models and parameters in Australia.* Trans Tasman Surveyor. Volume 1. Number 2. 1997.
- 50) FEATHERSTONE, W.E.; LANGEY R.B. *Coordinates and Datums and Maps.* GPS World, Vol. 8, No. 1. 1997.
- 51) FERNANDES, V. DE O. **Análise das cartas do mapeamento cadastral urbano no Brasil – Proposta para Normatização da Simbologia.** PPGEC. UFSC. Florianópolis: 2006.
- 52) FERNANDES, V. de O.; NOGUEIRA, R. E. **Terminologia técnica para representação das feições necessárias à Cartografia Cadastral.** 7º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico. Florianópolis: 2006.
- 53) FERRARI, R. **Viagem ao SIG on line:** Planejamento Estratégico, Viabilização, Implantação e Gerenciamento de Sistemas de Informação Geográfica. 1997. Disponível em: <http://www.dc.ufscar.br/~ferrari/viagem/inicial.html> Acesso em 13 de junho de 2005.
- 54) FIG – Federação Internacional dos Geômetras. Comissão 7. **Cadastre 2014: A Vision for a Future Cadastre System.** Suíça. Disponível em: [www.fig.net/cad2014](http://www.fig.net/cad2014) Acesso em 20 de abril de 2005.
- 55) FISCHER, I. **The Basic Framework of The South American Datum of 1969.** Washington, DoD: Defense Mapping Agency, Topographic Center, In: *XII Pan American Consulation on Cartography - PIGH,* Panama: 1973
- 56) FORTES, L. P. S.; CAGNIN, L. F.; GODOY, R.A.Z. **Determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas NWL-10D, NSWC-9Z2, WGS-84 e SAD-69.** Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia. Volume I. Gramado: 1989.
- 57) FORTES, L. P. S. **SIRGAS: O sistema de referência para o novo milênio.** In: Seminário Sobre Referencial Geocêntrico no Brasil, 1., Rio de Janeiro, 2000. Anais. Rio de Janeiro: 2000.
- 58) FRANÇOSO, M. T.; SEGANTINE, P. C. L. ; LOPES, S. C. **Necessidade de Conhecimento da Evolução Cartográfica para Aplicações em Cadastro Urbano.** Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia. Macaé: 2005.
- 59) FREIBERGER, J. **Investigações da calibração relativa de antenas de receptores GNSS.** UFPR. Curitiba: 2006.
- 60) FREITAS, S.R.C.; BLITZKOW, D. **Altitudes e geopotencial.** IGeS Bulletin – Special Issue for South America, n. 9. Milão: 1999.
- 61) FREITAS, S. R. C. **Sistemas Geodésicos de Referência e Bases Cartográficas.** PADCT. UFPE-UFPR. Recife: 2005.

- 62) GALDINO, C. A. P. M.; SOBRINHO, E. G. A.; SANTOS, M. A.; MELO, J. C., LÓPEZ, C. E. P. **Implantação de bases cartográficas urbanas em cidades de pequeno porte.** Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC. Florianópolis: 1998.
- 63) GALDINO, C. A. P. A. **Cadastro de parcelas territoriais vinculado ao sistema de referência geocêntrico – SIRGAS 2000.** Universidade Federal de Santa Catarina. PPGEC. Florianópolis: 2006.
- 64) GALO, M; CAMARGO, P. de O. **Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas.** In: COBRAC 1994. Florianópolis: 1994.
- 65) GEMMEL, C. **Introdução ao Ajustamento das Observações: Aplicações Geodésicas.** Editora. UFPR. Curitiba: 1994.
- 66) GIRARDI, R. V.; CORDINI, J. **Identificação de áreas de conflito entre a ocupação do solo urbano e a legislação: bairro Forquilha - São José/SC.** In: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial. Florianópolis: 2002.
- 67) GRANT, D.B., BLICK, G.H., PEARSE, M.B., BEAVAN, R.J., MORGAN, P.J. **The development and implementation of New Zealand Geodetic Datum 2000.** IUGG 99 General Assembly. Birmingham: 1999.
- 68) GREJNER-BRZEZINSKA, D. A.; TOTH, C. **Precision mapping of highway linear features.** In: Proceedings of the ISPRS Congress on Geoinformation for All. Amsterdã: 2000.
- 69) GRIPP JR, J.; CARVALHO, A. W. B. de. **Cadastro Técnico Municipal.** Viçosa: 2000.
- 70) GUIMARÃES, R. G.; IMAI, N. N.; SILVA, E. A. da; ELIAS, A. R.. **Sistema de Atualização Cartográfica – Desenvolvimento de um Comparador Digital.** Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos: 1998.
- 71) HARRIS, B.; BATTY, M.. **Locational models, geographic information, and planning support systems.** National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) 1992. Technical Paper. Disponível em: <http://www.ncgia.ucsb.edu/Publications/tech-reports/92/92-1.PDF> Acesso em: 23 de outubro de 2005
- 72) HARVEY, B. R. **Transformations of 3-D Coordinates.** The Australian Suveyour. Melbourne: 1986.
- 73) HECKMANN, B. **Einführung des Lagebezugssystems ETRS89/UTM beim Umstieg auf ALKIS.** Mitteilungen des DVW Hessen. Thüringen: 2005.
- 74) HELMERT, F.R. **Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie** (pt: As Teorias Matemáticas e Físicas da Geodésia Superior), 1ª parte. Leipzig 1880, 2ª parte. Leipzig: 1884.
- 75) HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. P. **GPS: Theory and Practice.** Third revised edition. Springer-Verlag. New York: 1994.
- 76) IBGE. **South American Geocentric Reference System.** Final Report. Working Groups I and II. Diretoria de Geociências. Departamento de Geodésia. Rio de Janeiro: 1997.
- 77) IBGE. **Proposta preliminar para a adoção de um referencial geocêntrico no Brasil.** Rio de Janeiro: 2000.
- 78) IBGE. **Mudança do Referencial Geodésico.** Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/noticia\\_sirgas.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/noticia_sirgas.shtm). Acesso em: 28 de junho de 2005.
- 79) IBGE. Projeto SIRGAS. **Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas/principal.htm> Acesso em 26 de janeiro de 2006.
- 80) IBGE. **Fundação Instituto Brasileiro de geografia e estatística. Ajustamento da rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro.** Relatório técnico. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/planimetria.shtm> Acesso em 02 de agosto de 2007.

- 81) IBGE. **Parâmetros de Transformação entre os Sistemas de Referência SAD69 e SIRGAS2000**. 2004. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param\\_transf/default\\_param\\_transf.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param_transf/default_param_transf.shtm) Acesso em 28 de janeiro de 2008.
- 82) IBGE. **Progrid – Guia do Usuário**. Rio de Janeiro: 2008.
- 83) IBGE **Progrid**. [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param\\_transf/default\\_param\\_transf.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param_transf/default_param_transf.shtm). Acesso em 27 de janeiro de 2009.
- 84) IBGE. **TCGEO** <http://200.255.9.12:8080/geonetwork/srv/br/metadata.show?id=756&currTab=simple> IBGE acesso em 03 de janeiro de 2009.
- 85) ILLNER, M. Jäger, R. Schmitt, G. **Transformationsprobleme**. DVW-Landesverein Baden-Württemberg 38, Sonderheft GPS und Integration von GPS in bestehende geodätische Netze. Karlsruhe: 1991.
- 86) IPEA. **Gestão do uso do solo e disfunções do crescimento urbano**. Brasília: 2002.
- 87) IPPUC. **Curitiba em dados**. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. [http://ippucnet.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba\\_em\\_dados\\_Pesquisa.asp](http://ippucnet.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.asp). Acesso em 23 de abril de 2009.
- 88) IPT – Instituto Geográfico Português. **Informação técnica: Sistemas de referência**. <http://www.igeo.pt> Acesso em 27 de junho de 2007.
- 89) IRIB. **Carta de Araraquara**. 19º Encontro Regional de Oficiais de Registros de Imóveis “GEO-ARARAQUARA” Instituto de Registro Imobiliário do Brasil. Araraquara: 2004.
- 90) ISO 19111. **Geographic information: spatial referencing by coordinates**. 2003. Disponível em: <http://books.google.com/books?hl=de&lr=&id=vvMBnAiYPIkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=%22Kresse%22+%22ISO+Standards+for+Geographic+Information%22+&ots=uiNRw0VCTN&sig=Wz28OZ5WZ4HgIlyrjaYKNMGNhTs#PPA5,M1>. Acesso em 08 de agosto de 2007.
- 91) ISO. **ISO 9000: quality management system - fundamentals and vocabulary**. ISO/TC 176. 29p. OSLO: 2000.
- 92) KANIUTH, K.; TREMEL, H.; DREWES, H. **Results of the Unified Vertical GPS Reference Network for the Americas (SIRGAS2000)**. Processing at DGFI. Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut. München. Alemanha. IAG. München: 2001.
- 93) KARNAUKHOVA, E. **Anotações ao controle de qualidade da produção cartográfica digital**. Geodésia Online, Florianópolis: 2001.
- 94) KEATES, J. S. **Cartography design and production**. Wiley. New York: 1998.
- 95) KRAKIWSKY, E.J. AND THOMSON, D.B. **Mathematical models for the combination of terrestrial and satellite networks**. *The Canadian Surveyor*, vol. 28, no. 5, pp. 606-615. 1974.
- 96) KRAUS, K.. **Photogrammetry - Fundamentals and Processes**. Volume 1, 4a Ed. Ferg, Dummler Verlag. Bonn: 1999.
- 97) LAZZAROTTO, D. R.; FREITAS, S. R. C.; SLUTER, C. R.; LUZ, R. T. **Avaliação da compatibilidade dos sistemas geodésicos no Brasil**. Boletim de Ciências Geodésicas. V. 10. n.º.2. jul-dez. Curitiba: 2004.
- 98) LEAL, E. da M.; DALMOLIN, Q. **Considerações sobre a classificação de documentos cartográficos**. Geodésia Online, Florianópolis: 2002.
- 99) LUGNANI; J. B. **Introdução a fototriangulação**. Ed. UFPR. Curitiba: 1987.
- 100) LUZ, T. M. da; ARNDT, L. T.; OLIVEIRA, F. H. de. **Atualização Cartográfica Cadastral e Tributação**. COBRAC 2006. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC Florianópolis: 2006.

- 101) MATSUMURA, S., MURAKAMI, M., IMAKIRE, T. *Concept of the New Japanese Geodetic System*. Bulletin of the Geographical Survey Institute, vol.51. March. 2004.
- 102) MCCARTHY, D. D. PETIT, G. *IERS Conventions – IERS Technical Note n° 32*. International Earth Rotation and Reference Systems Service. Central Bureau. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. Frankfurt am Main: 2004.
- 103) MEDEIROS, C. B.; ALENCAR, A. C. **Qualidade dos dados e Interoperabilidade em SIG**. Campinas: 2005.
- 104) MENEZES, P.M. **Impactos na Mudança do Referencial**. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. UFPR. Curitiba: 2005.
- 105) MENEZES, P. M. Leal de., FERNANDES, M. C. **Sistemas de Projeção e Geodésicos aplicados ao Mapeamento Sistemático Brasileiro: Uma Visão Histórica**. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife: 2008
- 106) MERCHANT, D. C. *Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps*. Technical Papers of American Congress on Surveying and Mapping. 222-231. 1982.
- 107) MONICO, J.F.G.; SEGANTINE, P.C.L. **ITRF: Definições, Realizações e Aplicações, Cartografia e Cadastro**. Nº 5, 31-36. Lisboa: 1996.
- 108) MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª edição. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente: 2008.
- 109) MORGAN, P.; BOCK, Y.; COLEMAN, R.; FENG, P.; GARRAD, D. *A Zero Order GPS Network for the Australian Region*. University of Canberra. Faculty of Information Sciences and Engineering. Australia: 1986.
- 110) MOSTAFA, M. M. R. *Quality control of direct georeferencing data*. In: ISPRS Commission I Mid-Term Symposium. Denver: 2002.
- 111) NETTO, N.P.; BLITZKOW, D.; NERO, M.A.; DA FONSECA, E.S.; CINTRA, J.P. DE ARAUJO, S.C. *Methodology for different geodetic network integration for cartographic update: Case study in electrical energy company*. Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina). ISSN: 1548-0992. Vol.1. 2003.
- 112) NOGUEIRA, R. E. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Ed. da UFSC. Florianópolis: 2006.
- 113) NUNES, E.P. *Estúdio de caso em Brasil: Principales desafios del ordenamiento territorial*. Foro Especial Interregional de las Naciones Unidas. FIG y PC IDEA. Desarrollo de Políticas de Informação Territorial em las Américas. Aguascalientes: 2004.
- 114) OLIVEIRA. **Dicionário Cartográfico**. Rio de Janeiro: 1993.
- 115) OLIVEIRA, C. **Curso de Cartografia Moderna**. IBGE. Rio de Janeiro: 1998a.
- 116) OLIVEIRA, L.C., FERREIRA, L.F., BLITYKOW, D. **Um estudo particular sobre a transformação SAD69 WGS84**. In: XVII Congresso Brasileiro de Cartografia. Salvador: 1995.
- 117) OLIVEIRA, L.C.; SANTOS, M; NIEVINSKI, F.; LEANDRO, R.; COSTA, S.; SANTOS, M; MAGNA JR, J.; GALO, M.; CAMARGO, P.; MONICO, J.; SILVA, C.; MAIA, T. *Searching for the optimal relationships between SIRGAS 2000, SAD69 and Córrego Alegre, in Brazil*. XXIV International Union of Geodesy and Geophysics. General Assembly. July. Perugia: 2007.
- 118) OLIVEIRA, L.C. **Realizações do Sistema Geodésico Brasileiro Associadas ao SAD 69: Uma Proposta Metodológica de Transformação**. 197f. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 1998b.
- 119) ONU. *7th United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas*. New York. Janeiro, 2001. Disponível em [www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/ONU2001.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/ONU2001.pdf). Acesso em 23 de outubro de 2005.
- 120) PACILÉO NETTO, N.; BLITZKOW, D.; NERO, M. A.; FONSECA JUNIOR, E. S.; CINTRA, J. P.; ARAÚJO, S. C. de. **Metodologia para Integração de Diferentes Redes**

**Geodésicas para Atualização Cartográfica: Estudo de caso em concessionária de energia elétrica.** Ieee América Latina, América Latina, v. 1, n. 1, 2003.

- 121) PEARSE, M.; CROOK, C. *Recommended Transformation Parameters from WGS-84 to NZGD49*. Geodetic Technical Report. 1999.
- 122) PHILIPS, J. **Conceito de um Novo Cadastro de Bens Imobiliários - Moderno e Público.** Anais do VII Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura. Salvador: 1996.
- 123) PHILIPS, J. W. **Uma Proposta geodésica para o cadastro imobiliário brasileiro.** Recife: 1997.
- 124) PIGN. Projeto de Infra-Estrutura Geoespacial Nacional. Disponível em: [http://www.pign.org/Brazil\\_P/about\\_pign.htm](http://www.pign.org/Brazil_P/about_pign.htm) Acesso em 24 de abril de 2006.
- 125) PINO, L. G. M. **Avaliação de modelos de transformação bidimensional para compatibilização de bases cartográficas de escala 1:10.000 com SIRGAS2000.** PPGCG. UFPR. Curitiba, 2007.
- 126) PPGE. **Histórico do Curso De Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC.** Florianópolis: 2005. <<http://www.ppgec.ufsc.br/>> Acesso em 20 janeiro de 2006.
- 127) PRADO, A. do. **Análise da Acurácia e da Correlação Espacial nas Técnicas DGPS e RTK.** UFPR. Curitiba: 2001.
- 128) RAPP, R. **Geodésia Geométrica.** Volume II. The Ohio State University. Ohio: 1980.
- 129) ROCHA, R. dos S. **Proposta de definição de uma projeção cartográfica para mapeamento sistemático em grande escala para o Estado do Rio Grande do Sul.** UFPR. Curitiba: 1994.
- 130) ROCHA, R. dos S da. **Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas.** PPGE. UFSC. Florianópolis: 2002.
- 131) ROSA, R.; LIMA, S. do C.; FILHO, F. **Mapeamento do uso do solo no Município de Uberlândia – MG, através das imagens TM LANDSAT.** Revista Sociedade e natureza. Uberlândia: 1989.
- 132) ROWE, G.. *New Zealand Survey Conversion Project.* In *Survey Quarterly*, Issue 34, June pp15-17. 2003.
- 133) SANTOS, M. C.; BENEVIDES, P. R. C. S. **Modelagem do Referencial Local Aratu em Relação ao Referencial Geocêntrico Sirgas** In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro: 1999.
- 134) SAPUCCI, L. F., MONICO, G. **Investigando a Compatibilidade entre as Realizações do ITRS.** Revista Geodésia on-line. ISSN 1415-1111. Florianópolis: 2001.
- 135) SARAIVA, et al. **Construção de um protótipo para a unificação de base cartográfica em Minas Gerais em SIRGAS2000.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis: 2007.
- 136) SCHMITT, G. *Integration aktueller Forschungsergebnisse in die Lehre am Beispiel Netzplanung.* Allg. Verm. Nachrichten 2. 2003.
- 137) SEEGER, G. *Satellite geodesy: foundations, methods and applications.* Ed. Walter de Gruyter. New York: 1993.
- 138) SEGANTINE, P. C. L.; FRANÇOSO, Maria Teresa. **A importância das redes geodésicas no georreferenciamento voltado ao cadastro e planejamento urbano.** In: XXII Congresso Brasileiro de Cartografia. XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, XX Expositiva. Macaé: 2005.
- 139) SIMEK, J.; KOSTELECKY, J. *Modern Geodetic Network and Datum in Europe.* FIG Working Week. Prague: 2000.
- 140) SMITH, M. J.; MOORE, T. *Back to Basics – Plane transformations.* Survey Review. Volume 34. nº 266. Bristol: 1997.

- 141) SNAY, R. A.; SOLER, T. *Modern Terrestrial Reference Systems – The evolution of NAD 83*. Copyright Professional Surveyors Magazine. Frederick, MD. February. 2000. Disponível em: <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Articles/Reference-Systems-Part-2.pdf>. Acesso em 12/05/2007.
- 142) SOTO, J. C. B. **Monitoramento das Deformações da Rede de Referência do Sirgas em Área com Atividade Tectônica**. PPGCG. Curitiba: 2006.
- 143) SUI, D. *GIS-based urban modelling: practices, problems and prospects*. *International Journal of Geographical Information Science*. 1998.
- 144) TANAKA, Y. *Analysis of Asia Pacific Regional Geodetic Project GPS Campaign Observations*. IUGG 2003. Sapporo: 2003.
- 145) TAYLOR, C. *High-accuracy Datum transformations*. <http://home.hiwaay.net/~taylorc>. Acesso em 20/04/01.
- 146) TEIXEIRA, N. N.; FERREIRA, Luiz Danilo Damasceno. **Análise da Confiabilidade de Redes Geodésicas**. Boletim de Ciências Geodésicas. Curitiba: 2003.
- 147) TEO, C.; FAUZI, A. *A national Geocentric Datum and the Administration of Marine Spaces in Malaysia*. International Workshop for Administering the Marine Environment. Kuala Lumpur: 2004.
- 148) THOMAS, A. *The Transit, Navigation Satellite System*. Status Theory Performance Applications. 1978.
- 149) THOMSON, D. B. *Combination of Geodetic Networks*. Department of Surveying Engineering. University of New Brunswick. Trn°32. Fredericton: 1976.
- 150) TORGE, W. *Geodesy*. 3rd compl. rev. and ext. ed. Walter de Gruyter. Berlin: 2001.
- 151) TOSTES, F. A. **Aerolevantamentos aplicados à elaboração de bases cartográficas para projetos viários**. 210 p. ESCOLA POLITÉCNICA - Universidade de São Paulo. São Paulo: 2001.
- 152) VANÍCEK, P., KRAKIWSKZ, E. J. *Geodesy: the concepts*. 2º ed. North Holland:1986.
- 153) VANÍCEK, P.; STEEVES, R.R.. *Transformation of Coordinates between Two Horizontal Geodetic Datums*. Journal of Geodesy. Heidelberg: 1996.
- 154) VASCONCELLOS, G. A.; ESCOBAR, I. P. **Desenvolvimento dos sistemas referenciais geodésicos e suas conseqüências no mapeamento topográfico sistemático brasileiro**. Congresso Brasileiro de Cartografia. Macaé: 2005.
- 155) VERONEZ, M. R. **Proposta de Parâmetros de Transformação Entre os Sistemas WGS-84 e o SAD-69 Para a Região de São Carlos –SP**. USP. São Carlos: 1998.
- 156) WALLNER, S. *Interference Computations between Several GNSS Systems*. [Universitat der Bundeswehr Munchen](http://www.univie.ac.at/geo/geo/people/wallner/). The Netherlands, Noordwijk: 2006.
- 157) WOLF, H. *Geometric connection and re-orientation of three-dimensional triangulation nets*. Bulletin Geodesique. N°68. pp. 165-169. Paris: 1963.
- 158) WOLF, P. *Elements of photogrammetry – with applications in GIS*. 3.Ed. Mc Graw Hill United. States of America: 2000.
- 159) WOLSKI, M. S. **Base de Informaoes Cartográficas**. Curso de Capacitaao de Tcnicos Municipais para Elaboraao de Planos Diretores. <http://www.urisan.tc.br/~cursoplanodiretor/index.php?go=materail>. Acesso em 10/12/2007. URI. Santo ngelo: 2007.
- 160) WONNACOTT, R. *Background and Progress towards a Unified Reference System for Africa*. South Africa. International Federation of Surveyors – FIG. Article of the Month, June. Ghana: 2006.
- 161) YOON, H.A *Study on the Datum transformation of digital maps (II)*. Korean Institute of Geography. Korea: 2003.

- 162) ZANETTI, M. A. Z. **Implicações atuais no relacionamento entre sistemas terrestres de referência de origem local e geocêntrica.** PPGCG. UFPR. Curitiba: 2006.
- 163) ZEPEDA, R., ORTIZ, D., OCARES, C. **Parámetros de transformación entre sistemas de referencia geodésicos y cartográficos para aplicaciones del Ministerio de Bienes Nacionales.** In: IX Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra. Santiago de Chile: 2006.
- 164) ZIELINSKI, J. B. *Unified european geodetic reference frame EUREF applied for Poland and other central and east european countries. Designe and Prattice.* Regional Workshop on the use and application of global navigacional satellite systems. Poland: 2001.