

## CONSEQÜÊNCIAS DA MUDANÇA DE DATUM NA REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DIRECIONADA PARA AMBIENTE SIG

**Vivian de Oliveira Fernandes**

Professora Adjunta da Universidade Federal da Bahia

[vivian.fernandes@ufba.br](mailto:vivian.fernandes@ufba.br)

**Ruth Emilia Nogueira**

Professora Adjunta da Universidade Federal de Santa Catarina

[renloch@cfh.ufsc.br](mailto:renloch@cfh.ufsc.br)

---

### RESUMO

Ao se pensar em alterar o estado das coisas, com o intuito de provocar melhorias utilizando novas tecnologias, metodologias e produtos, deve-se considerar a situação existente. No caso da cartografia brasileira, em virtude da migração de um referencial topocêntrico para um geocêntrico, é necessário prever os possíveis problemas decorrentes desta mudança e tentar fornecer 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 processos que poderão afetar os usuários. Vários autores têm realizado pesquisas a respeito destas implicações na cartografia em virtude da mudança de referencial geodésico: VASCONCELLOS (2005), DALAZOANA (2001), GALDINO (2006), PINO (2007), COLLIER (1996), COSTA, (1999), COSTA (2003), FEATHERSTONE (1997), VERONEZ (1998), OLIVEIRA (1998), SMITH & MOORE (1997), ZEPEDA & ORTIZ (2006), OLIVEIRA et al (2007), entre outros. Neste trabalho são apresentados os resultados de um estudo para indicar prováveis conseqüências que poderiam ocorrer num mapeamento direcionado a um Sistema de Informações Geográficas – SIG no processo de migração de referencial. Em procedimentos de análises espaciais em ambiente SIG, é necessária a adequação topológica. A estrutura topológica instrui o computador de como as feições geográficas estão conectados entre si logicamente, é baseada nas posições relativas das feições no espaço como conectividade, orientação, adjacência e contingência, determinando se duas feições interceptam-se ou não e qual o tipo de interseção existente entre elas. O armazenamento da componente topológica é responsáveis pelos relacionamentos espaciais que são funções que utilizam atributos espaciais presentes em bancos de dados para responder questões acerca do mundo real. Ao realizar uma transformação de referencial geodésico, estas estruturas podem sofrer alterações que muitas vezes não são perceptíveis pelo usuário. Outra análise realizada 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.

**Palavras-chave:** SAD69; SIRGAS2000; SIG.

### ABSTRACT

When thinking in changing the state of the things, with the aim to stimulate improvements using new technologies, methodologies and products, it should take into

consideration the existent situation. In the case of the Brazilian cartography, by virtue of the migration to a topocentric referential for a geocentric, it is necessary to foresee the possible problems resulting from this changing and to try to provide solutions that allow the utilization of what was produced. It is still necessary to foresee the possible conflicts between the parties involved in this process: the creators of cartographic information and the processes that can affect the users. Several authors have been carrying out researches in regarding to these implications in cartography by virtue of the changing of the geodesic referential: VASCONCELLOS (2005), DALAZOANA (2001), GALDINO (2006), PIN (2007), COLLIER (1996), COAST, (1999), COAST (2003), FEATHERSTONE (1997), VERONEZ (1998), OLIVE TREE (1998), SMITH & MOORE (1997), ZEPEDA & ORTIZ (2006), OLIVE TREE et al (2007), among others. One of the analyses accomplished in the thematic of the referential migration was accomplished and it refers to a study to indicate probable consequences that could occur in a mapping addressed to a Geographical System Information-SIG. In procedures of space analyses in SIG atmosphere, it is necessary the topologic adaptation. The *Topological structure* instructed the computer of how the geographical features are logically connected amongst themselves, it is based on the relative positions of the features in the space as connectivity, orientation, adjacency and contingency, determining two features that are intercepted or not and which type of existing intersection among them. The storage of the *topological* component is responsible for the space relationships that are the functions that use currently space attributes in databases to answer questions about the real world. When accomplishing a transformation of geodesic referential, these structures can suffer alterations that many times are not perceptible by the user.

**Keywords:** SAD69, SIRGAS2000, GIS

---

## INTRODUÇÃO

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 em 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. Este artigo apresenta as conseqüências da mudanças de datum na representação cartográfica direcionada para ambiente de Sistema de Informações Geográficas –SIG.

## **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.

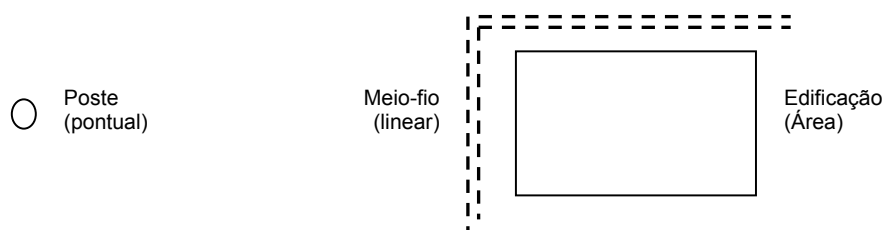
A idéia de basear todas as informações geoespaciais à um único sistema de referência único não é recente. De acordo com WONNACOTT (2006) em 1905, Sydney Burrad já afirmava que um referencial único seria uma solução para os levantamentos incompatíveis, também como uma solução para o acúmulo de erros, 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 as escala grande foram consideradas as maiores que 1:10.000.

## REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA DESTINADA PARA CARTOGRAFIA EM ESCALA GRANDE

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

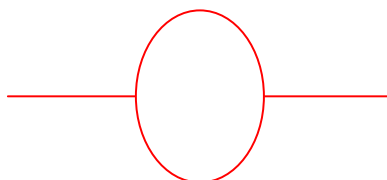
A produção de cartas em escala grande, em sua maioria, é feita por procedimentos padronizados da Fotogrametria, em empresas especializadas. A maioria dos pesquisadores como Bos (1984), Keates (1998) afirmam que a Cartografia em escala grande se resume apenas na utilização das primitivas gráficas ponto, 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

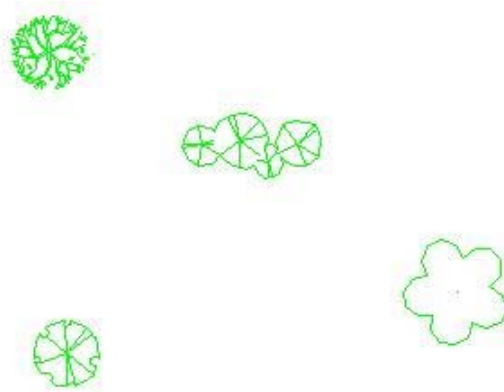
A respeito das feições representadas em Cartografia em escala grande destinada as Cartas Cadastrais Urbanas. FERNANDES (2006) apresentou uma proposta de categorização das feições. Esta proposta foi embasada em estudos feitos por Bertini (2003), Blachut et al (1979), Burity et al (1999), CTCG (1996), 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 em escala grande, 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.

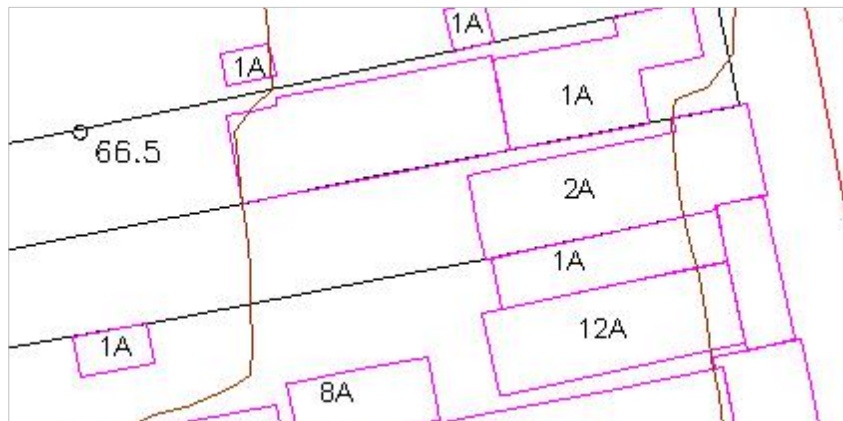


**Figura 3:** Símbolo sugerido para árvore

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.

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.



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

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.



## **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.

### **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:

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

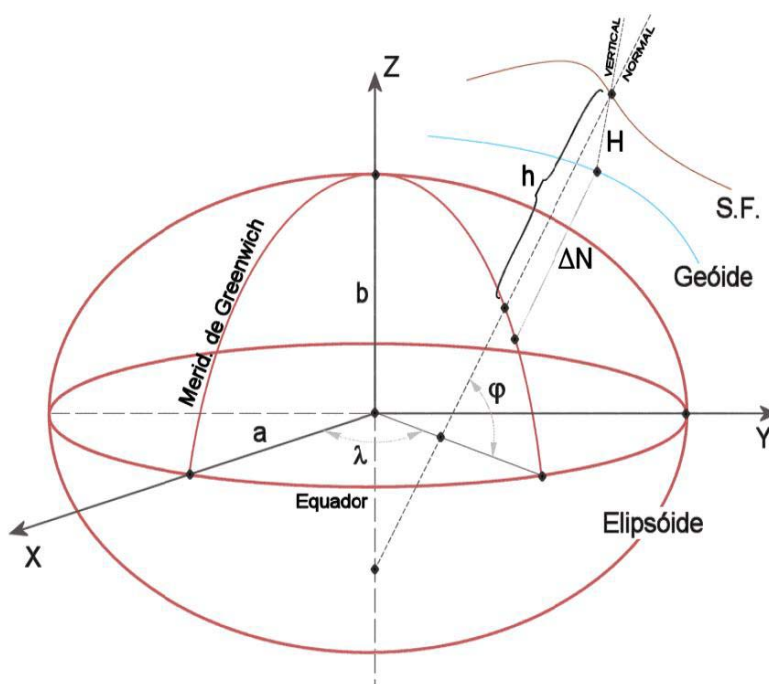
Eq. 01

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. 02

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



**Figura 6:** Superfície Elipsóidica de Referência e Coordenadas Geodésicas de um Ponto na Superfície Física – SF da Terra. Fonte: FREITAS (2005)

## 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 poligonação, 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

$\square$ 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:

$$\xi = \square - \square$$

Eq. 03

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

Eq. 04

$$A = A_A - (\lambda_A - \lambda) \sen \square$$

Eq. 05

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.04). 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.

## 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>1</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.

## **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

---

<sup>1</sup> Altitude normal é distancia entre a superfície física e uma superfície muito próxima ao geóide usada para fins de simplificações de cálculos.

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 1, 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-D2 possuem uma média possibilidade de compatibilização, enquanto o WGS84 e SAD69/96 possuem uma maior facilidade de compatibilização em virtude de apresentarem as mesmas técnicas de materialização que o SIRGAS2000, que no caso são as técnicas espaciais de posicionamento.

**Quadro 1:** Classificação dos SGRs quanto à compatibilidade com o SGR de “Geração Geodésica” mais atual e vinculado ao SGB – SIRGAS2000

SGR	Origem (Datum Horizontal)	Vigência	Materialização	Parâmetros de Transformação	Compatibilidade de 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 Datum SAD69 (Original)	Vértice: Chuí	Década de 60	Elipsóide Hayford (1924)	-	Muito pequena (1)
NWL10-D NNSS (TRANSIT)	Geocêntrico	1970-1980	Elipsóide de Referência Internacional (1967) NSWC9Z2	Córrego Alegre NSWC9Z2 WGS84 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: Chuí	1996-2014	WGS84 (G873)	SIRGAS	Grande (5) Muito grande (6)
SIRGAS WGS84 (G150)	Geocêntrico	2004 <sup>3</sup> em diante	Elipsóide GRS80 (ITRF2000)	SAD69 SAD69 (1996)	Total (7)

Fonte: Adaptado de LAZAROTTO et al (2004)

<sup>2</sup> O SGR NWL10 tem como base o elipsóide NSWC 9Z2 que está associado às efemérides precisas do sistema TRANSIT.

<sup>3</sup> Vigência do SIRGAS: Novembro de 2004 somente para a Rede SAD69 (1996) em pontos homologados pelo IBGE (para transações cadastrais).

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.

### **SOUTH AMERICAN DATUM OF 1969 – SAD69**

Com base em COSTA (1999) e OLIVEIRA (1998) 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.

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 conseqüência 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 astronomicamente e com o conhecimento dos valores das componentes do desvio da vertical foi possível calcular as coordenadas geodésicas de Chuá.

## **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).

## **SAD69 – REALIZAÇÃO 1996**

De acordo com OLIVEIRA (1998) 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).

## **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.

## **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 1989Project - ETRS89, Asia and the pacific region Geodetic Project – APRGP, African Geodetic Reference Frame - AFREF entre outros projetos os quais podem ser encontrados em FERNANDES (2009).

## **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, 1998) 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).

## **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 freqüência 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 - Satellite 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:

$$X_p = (N_p + h_p) \cdot \cos \varphi_p \cdot \cos \lambda_p \quad \text{Eq. 06}$$

$$Y_p = (N_p + h_p) \cdot \cos \varphi_p \cdot \sin \lambda_p \quad \text{Eq. 07}$$

$$Z_p = [N_p (1 - e^2) + h_p] \cdot \sin \lambda_p \quad \text{Eq. 08}$$

Com:

$$N_p = \frac{a}{(1 - e^2 \cdot \text{sen}^2 \varphi_p)^{1/2}}$$

Eq.09

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.

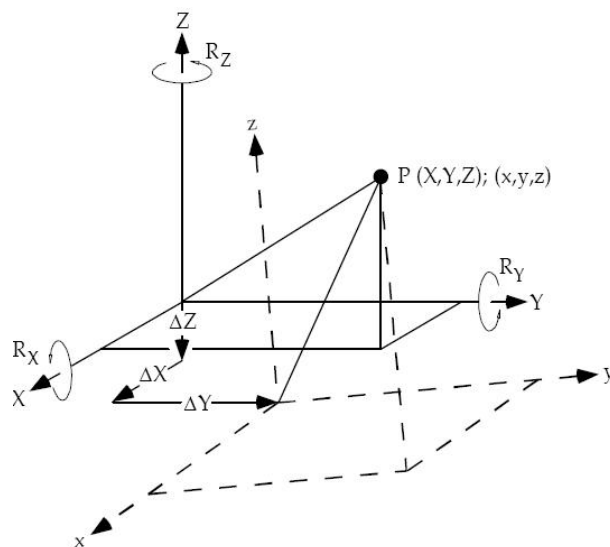
Dados quaisquer dois sistemas de coordenadas cartesianas tridimensionais, a relação entre estas coordenadas nos dois sistemas pode ser modelada, pela seguinte equação matricial:

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 1+ds & R_z & - \\ & R_y & \\ -R_z & 1+ds & \\ & R_x & \\ R_y & -R_x & +ds \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix}$$

Eq.10

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 7 representa os parâmetros de transformação entre os data 1 e 2.

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.



**Figura 7:** Representação dos sete parâmetros de transformação

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. 11

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:

$$\left\{ \Delta\phi = \frac{-\Delta x \text{Sen}\phi \text{Cos}\lambda - \Delta y \text{Sen}\phi \text{Sen}\lambda + \Delta z \text{Cos}\phi + (f\Delta a + a\Delta f) \text{Sen}2\phi}{R_M} \right.$$

$$\left. \left\{ \Delta\lambda = \frac{-\Delta x \text{Sen}\lambda + \Delta y \text{Cos}\lambda}{R_N \text{Cos}\phi} \right. \right.$$

$$\left. \left. \left\{ \Delta h = \Delta x \text{Cos}\phi \text{Cos}\lambda + \Delta y \text{Cos}\phi \text{Sen}\lambda + \Delta z \text{Sen}\phi + (f\Delta a + a\Delta f) \text{Sen}^2\phi - \Delta a \right. \right. \right.$$

Eq.12

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 –  $La = F(Xa)$ .

## **MATERIAL E MÉTODO**

As análises efetuadas nesta pesquisa tiveram como base o mapeamento digital do município de São José dos Pinhais-PR, Curitiba-PR e Chapecó-SC, ambos na escala 1:2.000. Os mapeamentos encontravam-se originalmente referenciados ao SGR SAD69 (1996) e com a Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM.

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 8 a seguir, pode ser observada a localização de cada área de estudo no território nacional.

As análises realizadas neste trabalho foram direcionadas para as determinações 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.



**Figura 8:** Localização das áreas de estudo

Foram aplicados os modelos de transformação Molodensky Simplificado e de Bursa Wolf para transformação de SAD69 (1996) para SIRGAS2000, além da utilização de parâmetros locais determinados em FERNANDES & RÖSCH (2008) para a região de estudo. Com a posse dos dados transformados passou-se a avaliar vários aspectos como fontes de variação posicional, além da própria transformação. Foram apontadas algumas fontes de variação posicional, que se referem não somente a



transformação de referencial geodésico, pois existem outras fontes que podem possuir maior magnitude de variação posicional. As fontes de variação posicional avaliadas foram: Transformação de referencial geodésico, Edição para adequação à estrutura topológica, Conversão entre formatos de arquivos vetoriais, Atualização do mapeamento. Posteriormente foi construído um quadro a partir das primitivas gráficas: ponto, linha e área (polígono) para expor graficamente estas conseqüências.

## **RESULTADOS**

### **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 Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

### **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 lembrem 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.

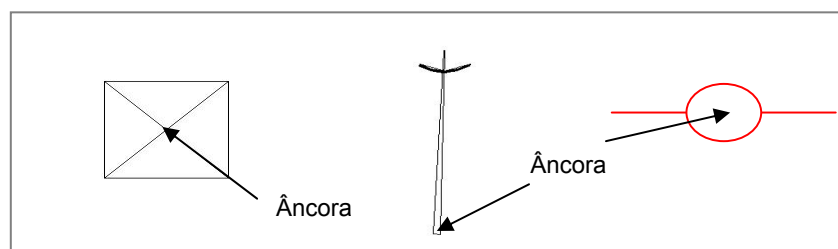
Na Cartografia em escala grande, as feições que são representadas como pontos são as que com maior freqüências são representadas por simbologia. Nos mapeamentos utilizados nesta pesquisa, observaram-se alguns símbolos pontuais, conforme mostra o quadro 2 a seguir.

**Quadro 2:** Variações para a simbologia da feição poste nos mapeamentos analisados

<b>Mapeamento</b>	<b>Feição Pontual</b>	<b>Representação</b>
<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 9:** Variações da representação do símbolo pontual POSTE

No exemplo da figura 9 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 9 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 1.

**Tabela 1:** 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 1 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 1 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 2.

Na tabela 2 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.

**Tabela 2** – 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</b>	<b>-65,33</b>
	<b>m</b>	<b>m</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,51 m</b>	<b>0,46 m</b>

O mesmo foi realizado para o caso da transformação com o modelo Molodensky Simplificado. Na tabela 3 são apresentadas as discrepâncias entre os pontos referenciados em SAD69 e SIRGAS2000 através da utilização do Modelo de transformação Molodensky Simplificado. Na tabela 3 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.

A tabela 4 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.

**Tabela 3** – Discrepâncias entre as coordenadas SAD69 e SIRGAS2000 após a transformação com o modelo Molodensky Simplificado.

	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>
1	-51,1	-65,58
2	-50,88	-65,64
3	-51,8	-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	-51,2	-65,44
16	-51,04	-65,52
<b>Média</b>	<b>-51,27</b>	<b>-65,26</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,506267</b>	<b>0,459311</b>

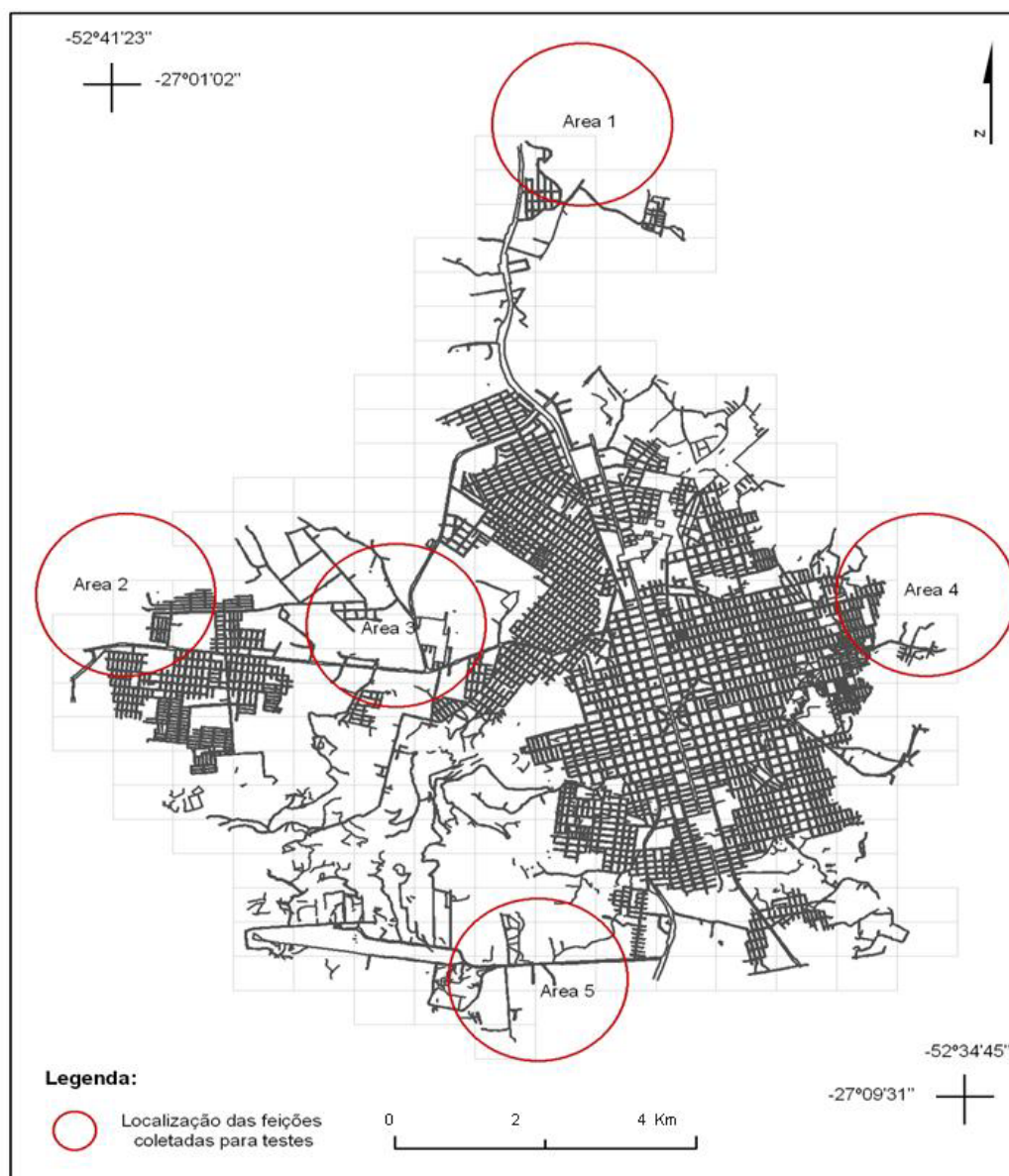
**Tabela 4:** Discrepâncias das coordenadas E e N com a aplicação dos modelos Bursa Wolf e Molodensky Simplificado referenciado ao SIRGAS2000.

	<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>

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 10 apresenta as áreas no município de Chapecó onde foram coletadas estas informações a respeito das feições.



**Figura 10:** 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 5 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 5:** 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 BW
<b>C</b>	26,02	26,15	26,04	0,13	0,02	0,48	0,08
<b>C</b> <sub>1</sub>	139,62	139,73	139,69	0,11	0,07	0,08	0,05
<b>C</b> <sub>2</sub>	177,51	177,99	177,46	0,48	-0,05	0,27	0,03
<b>C</b> <sub>3</sub>	88,73	89,5	88,65	0,77	-0,08	0,86	0,09
<b>C</b> <sub>4</sub>	173,67	173,79	173,64	0,12	-0,03	0,07	0,02
<b>C</b> <sub>5</sub>							
						<b>Média:</b> 0,35 %	<b>Média:</b> 0,05 %

Na tabela 5, 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 10).



De acordo com a tabela 6, 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.

**Tabela 6:** Resultados dos valores das áreas das feições coletadas no mapeamento.

	SAD69 original (m)	Sirgas20 00 MS (m)	Sirgas20 00 BW (m)	Área original SAD69 – Área Sirgas20 00 MS (m)	Área original SAD69 – Área Sirgas200 0 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 %

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

Um estudo a respeito da mudança de referencial geodésico foi realizado para indicar prováveis conseqüências que poderiam ocorrer num mapeamento direcionado a um Sistema de Informações Geográficas. Estas análises foram realizadas com base no mapeamento de São José dos Pinhais. Foram apontadas algumas fontes de variação posicional, que se referem não somente a transformação de referencial geodésico, pois existem outras fontes que podem possuir maior magnitude de variação posicional. As fontes de variação posicional avaliadas foram:

a) Transformação de referencial geodésico: faz referência a arquivos vetoriais que tiveram sua origem em levantamentos referenciados ao SAD69,

dissociados de outra coordenada agregada a um referencial geocêntrico. Nos levantamentos mais recentes, geralmente existe a associação inerente à tecnologia de posicionamento por satélites referenciado ao WGS84, compatível ao Datum oficial brasileiro 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 7 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.


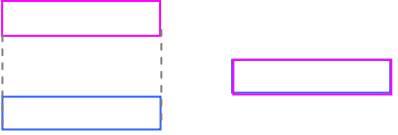
Ao adotar um novo referencial geodésico, deve-se prever uma série de tarefas necessárias a adequação dos dados já levantados às características das futuras atualizações. Entre as tarefas, além da transformação de referencial propriamente dita, existem conversões de formatos, edições da estrutura topológica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

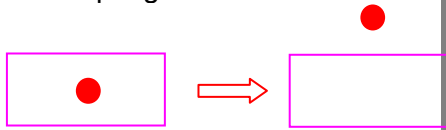
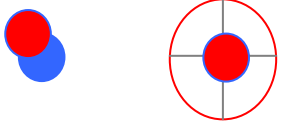

Desta forma, pode-se entender melhor a relação direta e indireta das implicações com a adoção de um referencial geocêntrico.


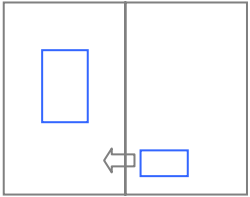
Pode-se observar que nesta análise qualitativa, a variação derivada da transformação de referencial geodésico está presente em apenas alguns casos de interferência nas características topológicas em comparação com a edição da estrutura topológica e atualização. Porém, como foi exposto em tópicos anteriores, os

outros processos presentes na tabela 7 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.

**Tabela 7:** Fontes de variação posicional

<b>Primitiva Gráfica</b>	<b>Implicação</b>	<b>Fonte da variação Posicional</b>	<b>Exemplo</b>
<i>Ponto</i>	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</p>

			<p>relação do ponto estar contido dentro do polígono.</p> 
<i>Linha</i>	Ultrapassagem do limite de interseção	<b>A, B, D</b>	<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	<b>A, B, D</b>	<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>B, D</b>	<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	<b>D</b>	<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	(D) Criação de um ponto no arquivo vetorial que não foi levantado no terreno. 
Área (Polígono)	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. 

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.

## 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.

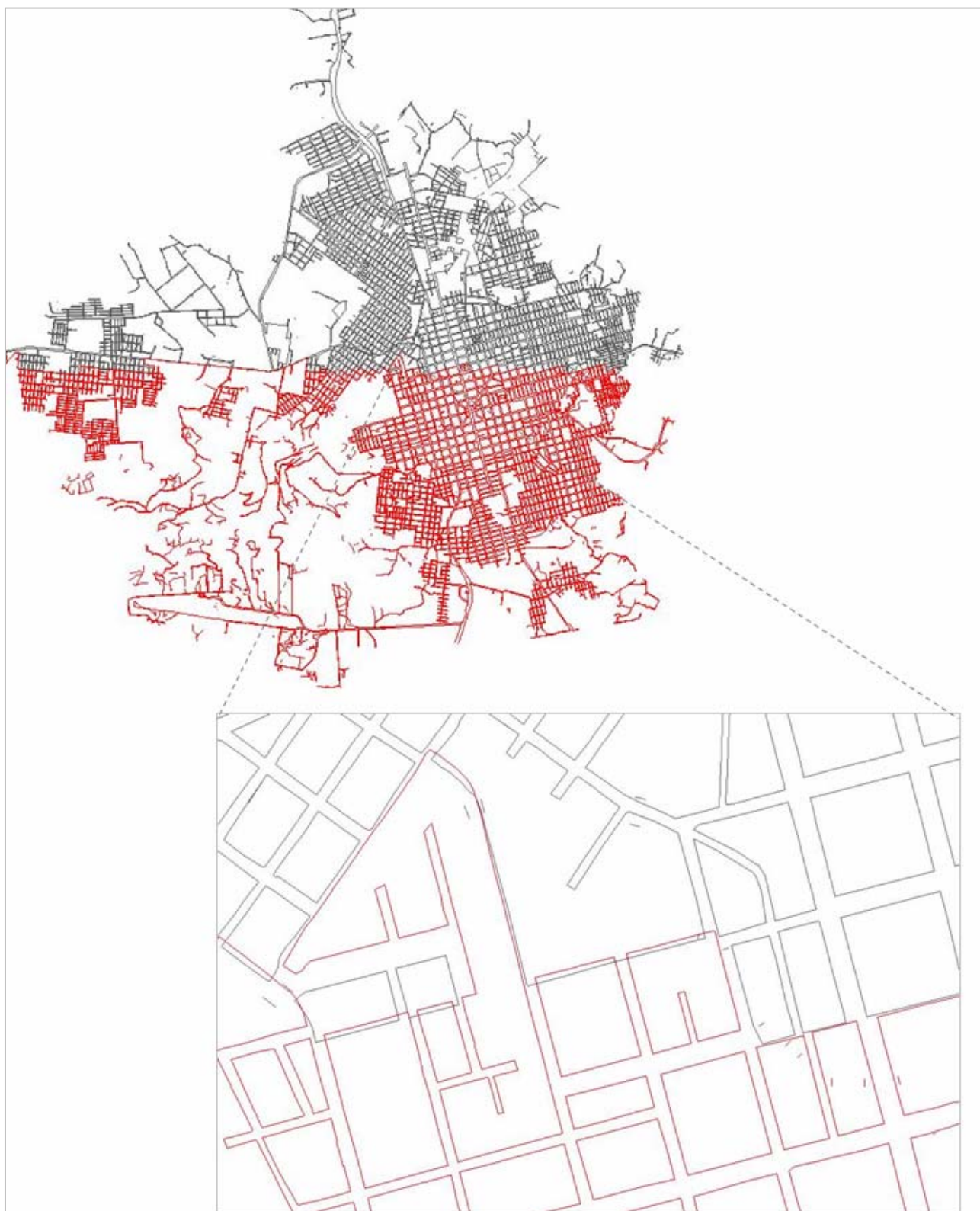
Problemas como estes, onde a metodologia de mapeamento é desconhecida e que necessitam de junção, muitas vezes são “resolvidos” com algumas técnicas de edição. Técnicas as quais são decididas pelo editor e que muitas vezes eliminam dados ou inserem dados que não foram levantados com respeito aos referenciais 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.

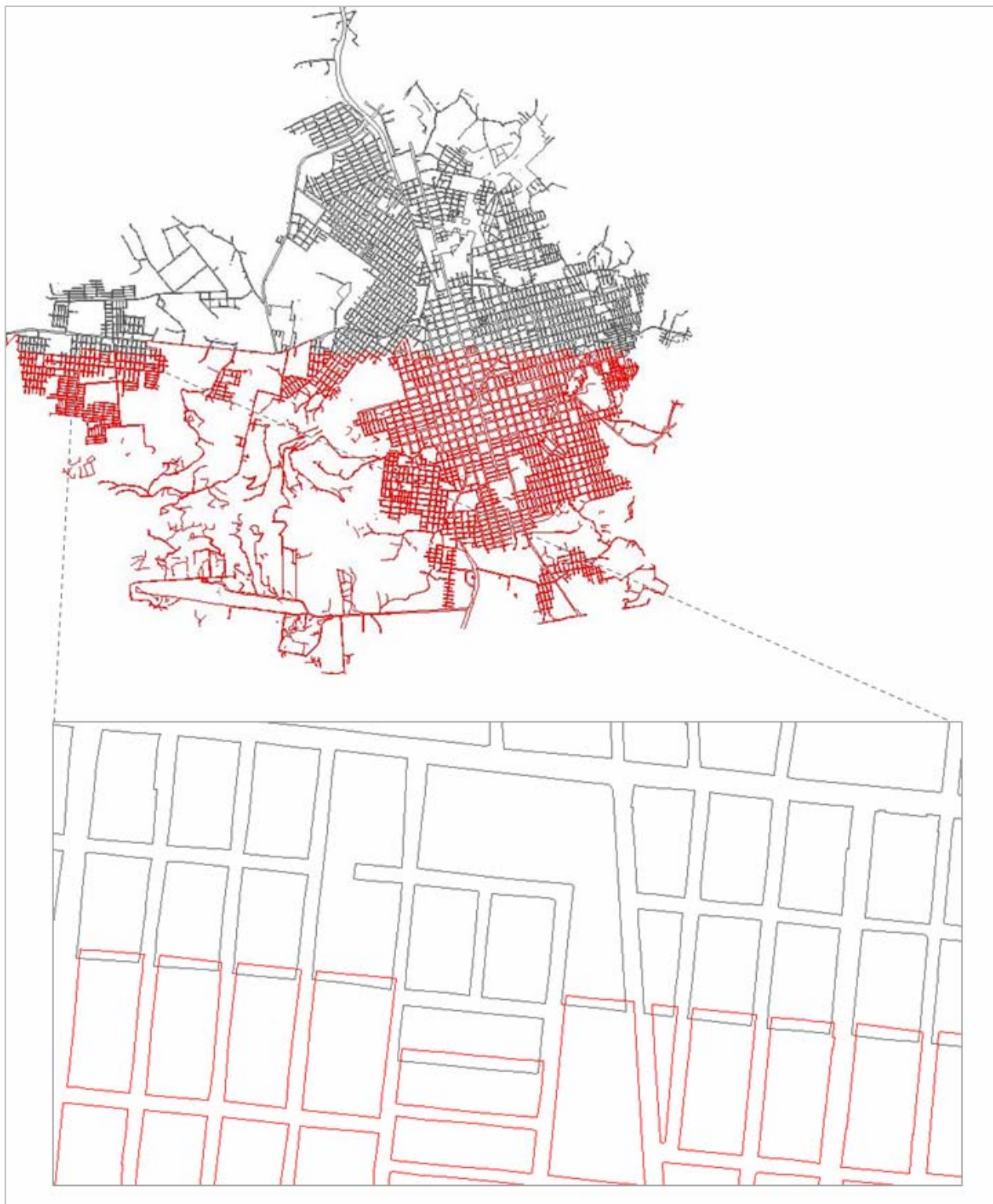
A parte Norte do mapeamento foi transformada do sistema SAD69 para o SIRGAS2000 através da utilização do modelo Bursa Wolf e a parte Sul, convertido com a utilização do modelo simplificado de Molodensky. Nas figuras 11 e 12 são apresentadas algumas das conseqüências que ocorrem na conexão de arquivos onde foram aplicadas diferentes metodologias de transformação de referencial geodésico.



**Figura 11:** Ampliação na área de conexão do mapeamento com diferentes metodologias de transformação de referencial geodésico – ex. A

Nos exemplos das figuras 11 e 12 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.

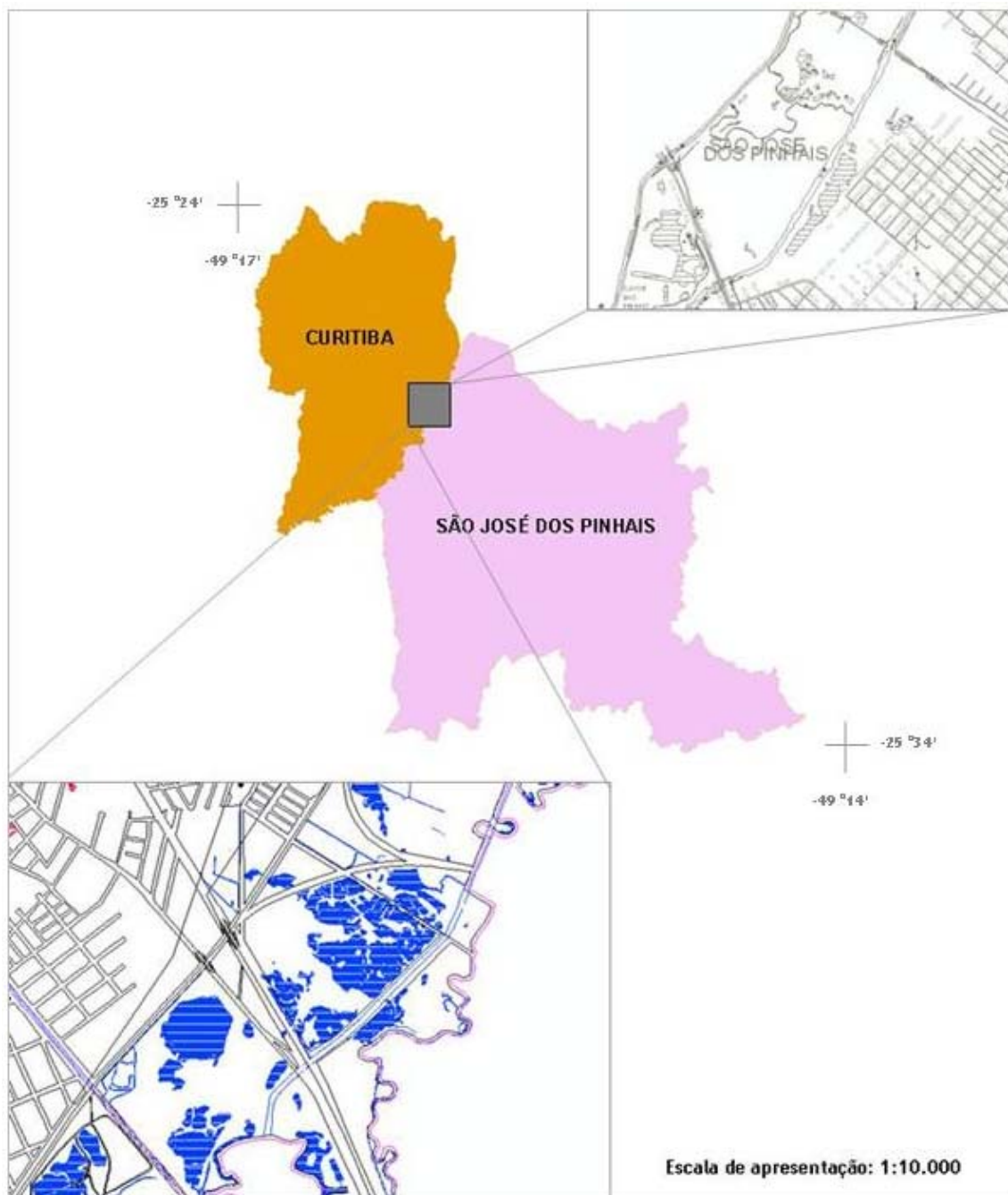
A necessidade de conexão de mapeamentos faz-se necessária, principalmente nos casos de municípios conurbados, como é o caso dos municípios de Curitiba e São José dos Pinhais, que foram mapeados na escala 1:2.000.



**Figura 12:** Ampliação na área de conexão do mapeamento com diferentes metodologias de transformação de referencial geodésico – ex. B



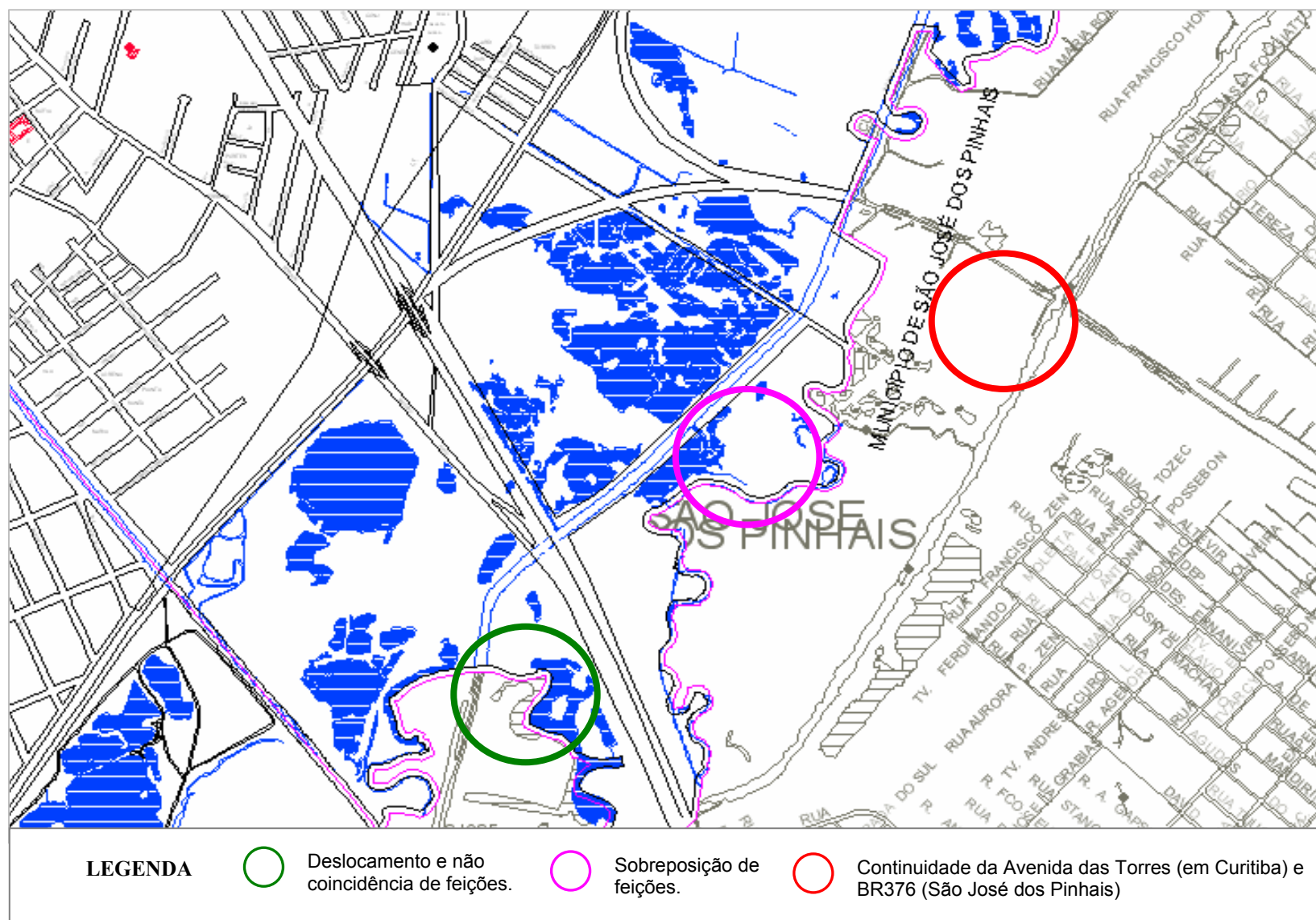
Para análise do caso entre os municípios de Curitiba e São José dos Pinhais, apresenta-se na figura 13 a região onde foi analisada a conexão e uma ampliação de um fragmento do mapeamento de São José dos Pinhais.



**Figura 13:** Conexão dos mapeamentos

Os municípios de Curitiba e São José dos Pinhais fazem divisa entre si em uma região demarcada pelo Rio Iguazu, a figura 14 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 14:** Conexão entre os mapeamentos de Curitiba e São José dos Pinhais - Escala de apresentação: 1:2000

Na figura 14 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 7 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.

## **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.

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.

Entre estas conseqüências pode-se exemplificar: na conversão entre formatos a posição do ponto âncora do símbolo é modificada para o centro do símbolo, acarretando uma mudança de posição; nos processos de atualização onde feições foram atualizadas sem a devida eliminação das feições antigas, estas podem se sobrepor no arquivo atualizado; em 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; 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; em processos de edição ocorre deslocamento de pontos para que haja continuidade de linhas no caso de necessidades de realizar operações com redes; entre outros. Conclui-se que 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. 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.

## REFERÊNCIAS

- ARAKI, H. **Fusão de Informações Espectrais, Altimétrica e de Dados Auxiliares na Classificação de Imagens de Alta Resolução Espacial**. PPGCG. UFPR. Curitiba, 2005.
- BERTINI, G. C. **Uma modelagem Orientada a Objeto para o Mapa Urbano Básico de Belo Horizonte**. Prodabel/IRT-PUC/MG. Belo Horizonte: 2003.
- BLACHUT, T. J.; CHRYANOWSKI, A.; SASTAMOINEM, J. H. **Urban Surveying and Mapping**. Springer-Verlag. New York: 1979.
- BOS, E. S. **Cartography Symbol Design**. ITC. Netherlands: 1994.
- BURITY, E. F.; PHILIPS, J. W.; BRITO, J. L. **Qualidade de dados para mapeamento**. In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia. Recife: 1999.
- CASACA, J. M. BAIO, M. **Topografia**. Lidel Ed. Tecnicas. Lisboa: 2000.
- CASTAÑEDA, R.M. **Ensaio para Definição de Parâmetros de transformação entre o SAD69 e NSWC 922**. PPGCG. Curitiba: 1986.
- COLLIER, P.; LEAHY, F. ARGESSEANU, A. **Transition to the geocentric Datum of Australia**. Department of Geomatics. The University of Melbourne. Melbourne: 1996.
- COSTA, M. F. **Modelagem da Função Covariância para Transformação de Referenciais Geodésicos por Colocação**. PPGCG. UFPR. Curitiba: 2003
- COSTA, S. M. **Integração da Rede Geodésica aos Sistemas de Referência Terrestres**. UFPR. 170p. Curitiba: 1999.
- CTCG - Câmara Técnica de Cartografia e Geoprocessamento. **Recomendação Técnica CTCG 001/96. Padronização das Escalas Utilizadas em Trabalhos Cartográficos**. Curitiba: 1996.
- DALAZOANA, R. **Implicações na cartografia com a evolução do sistema geodésico brasileiro e futura adoção do SIRGAS**. UFPR. Curitiba: 2001.
- FEATHERSTONE, W. E. A **Comparison of existing co-ordinate transformation models and parameters in Australia**. Trans Tasman Surveyor. Volume 1. Number 2. 1997.
- FEATHERSTONE, W.E.; LANGEY R.B. **Coordinates and Datums and Maps**. GPS World, Vol. 8, No. 1. 1997.
- FERNANDES, V. de O. ; LOCH, Ruth Emilia Nogueira ; ROSCH, N. . Evaluation of transformation parameters between the SAD-69 and SIRGAS 2000 systems for the region of Santa Catarina in Brazil. In: International Congress on Geomatic & Surveying Engineering - IX Congresso Nacional Top-Cart 08, 2008, Valencia. International Congress on Geomatic & Surveying Engineering, 2008.

FERNANDES, V. DE O. **Análise das cartas do mapeamento cadastral urbano no Brasil – Proposta para Normatização da Simbologia**. PPGE. UFSC. Florianópolis: 2006.

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.

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.

FREITAS, S. R. C. **Sistemas Geodésicos de Referência e Bases Cartográficas**. PADCT. UFPE-UFPR. Recife: 2005.

FREITAS, S.R.C.; BLITZKOW, D. **Altitudes e geopotencial**. IGeS Bulletin – Special Issue for South America, n. 9. Milão: 1999.

GALDINO, C. A. P. A. **Cadastro de parcelas territoriais vinculado ao sistema de referência geocêntrico – SIRGAS 2000**. Universidade Federal de Santa Catarina. PPGE. Florianópolis: 2006.

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/planimetrica.shtm> Acesso em 02 de agosto de 2007.

IBGE. **Proposta preliminar para a adoção de um referencial geocêntrico no Brasil**. Rio de Janeiro: 2000.

KEATES, J. S. **Cartography design and production**. Wiley. New York: 1998.

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.

MCCARTHY, D. D. PETIT, G. **IERS Conventions – IERS Technical Note n.º 32**. International Earth Rotation and Reference Systems Service. Central Bureau. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. Frankfurt am Main: 2004.

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

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2.º edição. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente: 2008.

MONICO, J.F.G.; SEGANTINE, P.C.L. **ITRF: Definições, Realizações e Aplicações, Cartografia e Cadastro**. Nº 5, 31-36. Lisboa: 1996.

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.

OLIVEIRA, C. **Curso de Cartografia Moderna**. IBGE. Rio de Janeiro: 1998.

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.

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.

SAPUCCI, L. F., MONICO, G. **Investigando a Compatibilidade entre as Realizações do ITRS.** Revista Geodésia on-line. ISSN 1415-1111. Florianópolis: 2001.

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.

SMITH, M. J.; MOORE, T. **Back to Basics – Plane transformations.** Survey Review. Volume 34. nº 266. Bristol: 1997.

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.

WOLF, P. **Elements of photogrammetry – with applications in GIS** . 3.Ed. Mc Graw Hill United. States of America: 2000.

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.

ZANETTI, M. A. Z. **Implicações atuais no relacionamento entre sistemas terrestres de referência de origem local e geocêntrica.** PPGCG. UFPR. Curitiba: 2006.

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.