

Universidade de Brasília  
Instituto de Geociências  
Curso de Especialização em Geoprocessamento

**Análise Temporal da Ocupação Urbana Irregular**  
**Apoiado à Mudança de Referencial Geodésico**

Aluna: Lia Maria Dias Bezerra

Orientador: MSc. Giuliano Sant'Anna Marotta

Monografia de Conclusão de Curso de Especialização

Brasília, DF

Dezembro, 2011

## Resumo

Nos últimos anos o tema de ocupações irregulares em área urbana ganha cada vez mais espaço com o crescimento da inclusão social – e consequente ampliação da cidadania. As cidades tem apresentado altas taxas de crescimento aliado à falta de planejamento adequado e, portanto, apresentam grande desordenamento de ocupações. A cidade *real* é cada mais distanciada da cidade *oficial*. Aliado ao processo de identificação, análise e até mesmo a regularização fundiária destas áreas, o posicionamento da origem e período das ocupações ocupa um papel fundamental. No interstício das documentações cartográficas brasileiras houve a mudança de Sistemas Geodésicos de Referência (SGR), dificultando a análise precisa de dinâmicas rurais e urbanas. O presente trabalho descreve o processo de transformação de uma base cartográfica em Astro Chuá para SIRGAS 2000, sua manipulação e a análise de alguns temas da dinâmica urbana na área de Arniqueiras na Região Administrativa de Águas Claras, DF.

Palavras-chave: parâmetros de transformação, referenciais cartesianos, ocupações irregulares, análise temporal.

## Abstract

The subject of irregular occupation in urban areas has gained more interest during the last years with the rising of a social inclusion discourse – and consequently the broadening of citizenship. Cities have presented high growth rates and that allied to the lack of proper planning, have presented very non-ordered patterns of occupation. As the process takes shape, the real city distances itself more of the official city. Together with the process of identification, analysis and even land regularization of these areas, the original placing and their occupation time period has a main role. In the middle of the Brazilian cartographic documentation there was a Geodesic Reference System change, difficulting the process of precision analysis of rural and urban dynamics. This work describes the process of transforming cartographic bases originally in Astro Chuá to SIRGAS 2000, its manipulation and the study of some urban dynamic themes in the Arniqueiras area in the Administrative Region of Águas Claras, DF.

Key-words: transformation parameters, Cartesian referentials, irregular occupation, time analysis.

## Sumário

1. Introdução .....	5
2. Objetivo .....	7
3. Revisão Bibliográfica .....	8
3.1. A Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro .....	8
3.2 O Projeto SIRGAS .....	9
4. A transformação entre SGRs.....	10
5. Materiais .....	15
6. Metodologia.....	21
7. Resultados.....	28
8. Conclusão.....	33
9. Bibliografia.....	34

## Índice das figuras

Figura 1: Ortofotocarta do ano de 1997. ....	16
Figura 2: Ortofotocarta – 01(A) do ano de 2010. ....	17
Figura 3: Ortofotocarta – 02 (B) do ano de 2010.....	18
Figura 4: Ortofotocarta – 03 (C) do ano de 2010 .....	19
Figura 5: Ortofotocarta - 04 (D) do ano de 2010.....	20
Figura 6: Edificações e Vias Pavimentadas nos anos de 1997 e 2010, respectivamente.....	21
Figura 7: Fluxograma da transformação de SGRs. ....	23
Figura 9: Sobreposição das imagens após a transformação. ....	30
Figura 10: Interseção das Vias Pavimentadas .....	31
Figura 11: Interseção das Edificações. ....	32
Figura 12: Interseção das Vias Pavimentadas e Edificações em comum entre 1997 e 2010. ...	32
Figura 13: Área de estudo inserido na diretriz de Setores Habitacionais de Regularização do PDOT 2009.....	33

## Índice das tabelas

Tabela 1: Classificação dos SGRs quanto à compatibilidade com o SGR de “Geração Geodésica” mais atual e vinculado ao SGB – SIRGAS 2000.....	13
Tabela 2: Compatibilidade entre os diferentes SGRs. ....	15
Tabela 3: Pontos selecionados para balizar a transformação do SGR.....	22
Tabela 4: Parâmetros de Translação entre Córrego Alegre, SAD-69 e Chuá Astro Datum ...	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
Tabela 5: Parâmetros de translação entre SIRGAS 2000, SAD-69 e Chuá Astro Datum.....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
Tabela 6: Parâmetros Iniciais (Vetor $X_0$ ) de Chuá Astro Datum para SIRGAS 2000. ....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
Tabela 7: Diferença entre as coordenadas transformadas e de origem em SIRGAS 2000....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
Tabela 8: Diferenças entre as coordenadas determinadas no sistema de projeção UTM e no referencial SIRGAS2000. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## 1. Introdução

Uma ferramenta que tem conquistado cada vez mais espaço da projeção, monitoramento e planejamento urbano e que paulatinamente tem mostrado sua importância com o desenvolvimento de novas tecnologias é o georreferenciamento e a aquisição de dados e produtos georreferenciados. Tais dados são gerados através de diversos tipos de levantamentos: geodésicos, topográficos e, principalmente, aerofotogramétricos e de sensoriamento remoto. A evolução tecnológica propiciou o melhoramento dos Sistemas Geodésicos de Referências (SGR) tanto na definição quanto na realização do sistema. Dessa forma, produziu-se certo descompasso entre a produção cartográfica e a produção geodésica no Brasil e, logo, sua coexistência devido aos diferentes sistemas de referência ainda em utilização.

Os Sistemas Geodésicos de Referência englobam o Sistema Córrego Alegre, o Astro Datum Chuá e o SAD 69 (com sua realização inicial de 1996). Segundo Dalazoana (2002), as redes geodésicas vinculadas ao SAD 69 eram a rede clássica de triangulação e poligonação, a rede de estações Doppler e as redes GPS de alta precisão. Com o advento e popularização do uso de SIG (Sistema de Informação Geográfica) ou outros sistemas auxiliados por computador, foi possível verificar a diferença existente entre os tipos de SGRs do país.

Foi com o desenvolvimento de métodos que usam o posicionamento por satélite que surgiu a possibilidade da determinação simultânea de três coordenadas que definem a posição de um ponto no espaço com uma grande precisão. Para conseguir aproveitar melhor essa tecnologia disponível, foram-se criando sistemas de referência geocêntricos. Nessa linha foi criado o projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul e atualmente para as Américas) em 1993. A realização inicial desse sistema data de 1995 já com 58 estações distribuídas na América do Sul. Em 2000 quando se iniciou a campanha SIRGAS 2000, o projeto contava com 184 estações em todo o continente americano.

Portanto, a evolução de Sistemas Geodésicos de Referência trouxe uma nova possibilidade de mudança no sistema de referência do Brasil, afetando diretamente os produtores e usuários de dados cartográficos e geodésicos. Assim, contando com a mudança do referencial faz-se necessário um processo de transição e mesmo adaptação dos dados. A transição deve ser feita de forma muito cautelosa, tentando antever quaisquer problemas que dela possa derivar.

Nesse quadro de adoção do SIRGAS, atualmente apoiado à época de 2000, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), estabeleceu alguns grupos de trabalho para desenvolver estudos e pesquisas sobre o processo de transformação para o novo referencial geocêntrico. Assim, o instituto estabeleceu o Projeto de Mudança de Referencial Geodésico (PMRG) e junto ao Projeto Infraestrutura Geoespacial Nacional (PIGN), lançaram um programa de transformação de coordenadas - o ProGriD, disponível no site do IBGE<sup>1</sup>. No entanto, este programa de transformação entre SGR adotados no Brasil não conta com a extrema precisão da análise de pontos comuns bem cotados e a análise customizada caso a

---

<sup>1</sup> O download do ProGriD está disponível em:

<[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param\\_transf/default\\_param\\_transf.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param_transf/default_param_transf.shtm)>

caso, como se apresenta neste trabalho através da transformação entre o SGR Astro Chuá e SIRGAS 2000 proposta por Marotta *et al* (2011).

A transformação de SGRs tem um papel fundamental na análise temporal de áreas tanto urbanas quanto rurais que possuem documentação cartográfica de diferentes gerações geodésicas, como neste objeto de estudo. Portanto, para a boa compreensão da dinâmica de uma determinada área ou para a aplicação em produtos como, por exemplo, aqueles que auxiliem o processo de regularização fundiária, o processo de transformação das bases cartográficas para sua posterior análise é de grande importância.

Pensando no auxílio que a aplicação de transformação de SGRs pode trazer para a melhor compreensão de dinâmicas espaciais, esta monografia apresenta um processo de transformação de uma base cartográfica e a simulação de sua aplicação para a compreensão do processo de ocupação urbana na área de Arniqueiras, parte da Região Administrativa de Águas Claras no Distrito Federal.

## 2. Objetivo

No escopo das análises temporais comparativas do desenvolvimento urbano e rural, ou mesmo para a atualização de bases cadastrais, este trabalho propõe uma análise da adequação de imagens derivadas de levantamentos aerofotogramétricos. As imagens vetorizadas estão atreladas a diferentes referenciais geodésicos, devido à época de origem, necessitando uma transformação do referencial. Este trabalho visa determinar, transformar e analisar os parâmetros de transformação para a comparação do crescimento de ocupações urbanas. A transformação proposta é a simplificada, utilizada pelo IBGE para transformação entre referenciais topocêntricos distintos, de 03 parâmetros incógnitos de translação. A comparação *a posteriori* das bases é feita através da álgebra dos mapas utilizando ferramentas do ArcGIS.

### 3. Revisão Bibliográfica

#### 3.1. A Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro

Segundo o IBGE, o Sistema Geodésico Brasileiro pode ser dividido em duas fases: antes e depois da observação de satélites artificiais e sua utilização em posicionamento. No Brasil, essa nova tecnologia possibilitou, entre tantos outros fatores, a expansão do referido sistema à região amazônica.

Os primeiros levantamentos geodésicos no Brasil foram realizados em 1939 pelo então Conselho Nacional de Geografia – CNG – com o objetivo de estabelecer coordenadas astronômicas para a determinação posicional de cidades e vilas para a atualização da Carta do Brasil ao Milionésimo de 1922. O próximo levantamento data de 1944, na ocasião da medida da primeira base geodésica próxima a Goiânia. Ali iniciava-se o estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro, ao menos na sua componente planimétrica, determinados pelos métodos de triangulação e poligonação clássicos – métodos estes aplicados até meados da década de 90, utilizando teodolitos e medidores eletrônicos de distâncias.

Durante a década de 50 até meados dos anos 70, o *Datum Córrego Alegre* foi oficialmente adotado no país, possibilitando a existência de uma grande quantidade de documentos cartográficos e geodésicos ainda ligados a esse sistema de referência. Pouco a pouco as cartas vem sendo atualizadas para que possam ser utilizadas dentro do novo sistema brasileiro. Segundo Dalazona (2001), o Sistema Córrego Alegre possui precisão compatível à tecnologia e equipamentos disponíveis àquela época, mas aliada à menor precisão da densificação do apoio terrestre, apresentam qualidade inferior a outros sistemas mais atuais quando usados em produtos de grandes escalas.

Entre o Córrego Alegre e o SAD 69 houve um sistema de referência provisório, chamado de *Astro Datum Chuá* e algumas cartas, como as utilizadas neste estudo, foram editadas nesse sistema. O *Astro Datum Chuá* tem como origem o vértice Chuá e Hayford como elipsoide de referência. Esse sistema foi proposto como um ensaio à definição do posterior SGR, o SAD 69.

O SAD 69 foi adotado no final da década de 70 no Brasil, com modelo de referência da Terra o Elipsóide de Referência Internacional de 1967 – ainda que arredondando seu valor de achatamento, segundo o IBGE – e de origem o vértice Chuá. Este sistema teve seu primeiro ajuste computacional feito pelo estadunidense *Defense Mapping Agency* e, devido a limitações computacionais, o território brasileiro foi dividido em 10 segmentos. Os dados provenientes de levantamentos geodésicos, de origem na densificação da rede horizontal, eram processados considerando como fixas as estações já existentes. Segundo Dalazoana (2002), se houvessem erros sistemáticos, estes eram propagados devidos aos seus ajustes, o que geravam maiores distorções nas coordenadas das novas estações.

Concomitantemente, na década de 70, houve o início das atividades de rastreamento de satélites artificiais do sistema *Navy Navigation Satellite System* (NNSS) da marinha americana, também conhecido por sistema TRANSIT. Essa metodologia foi inicialmente aplicada nas estações geodésicas da Amazônia, devido às dificuldades características da região.

A partir da década de 90 o Brasil começou a utilizar-se de fato da tecnologia GPS – *Global Positioning System* – em seus trabalhos geodésicos. A tecnologia GPS foi introduzida através

do IBGE no fim da década de 80, através do seu Departamento de Geodésia, criando um projeto com a finalidade de estabelecer métodos para o uso pleno da tecnologia NAVISTAR/GPS. Em 1991 o IBGE adquiriu quatro receptores GPS e os aplicou aos marcos do SGB. Já no início de sua utilização, a tecnologia GPS se mostrava muito a frente nos quesitos rapidez e economia de recursos, tanto financeiros quanto humanos.

Em 1996 houve, pelo próprio IBGE, a implantação do conceito de redes ativas através do monitoramento contínuo de satélites do sistema GPS. Assim, operacionalizou-se a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS – RBMC. Todos os dias os dados coletados nas estações RBMC são transferidos automaticamente e disponibilizados aos usuários.

O SAD 69 sofreu, em 1996, um reajuste em sua rede horizontal utilizando as observações de natureza angular e linear fazendo-se valer das precisões dadas pelo GPS. O novo reajuste resultou em novas coordenadas para as estações da Rede Planimétrica Brasileira. Essa adequação possibilitou um retrato consistente da qualidade da rede, substancialmente melhorada com a correção GPS. A partir de 1997 o próprio IBGE começou a divulgar apenas coordenadas do novo SAD 69 juntamente a seus desvios-padrão, possibilitando, ao usuário, o conhecimento sobre a qualidade das coordenadas das estações. O deslocamento horizontal das coordenadas, segundo o IBGE, aumenta proporcionalmente com a distância do ponto de origem do sistema, chegando a atingir 15 metros. As grandes diferenças, como de 50 metros, localizam-se em estações localizadas no estado do Amapá pela propagação de erros e problemas antigos ao sistema.

### 3.2 O Projeto SIRGAS

Com o advento da rede NAVSTAR/GPS e seu desempenho muito mais rápido, preciso e superior aos modelos clássicos, o IBGE passou a empregar exclusivamente, a partir de 1991, o GPS para densificar a RGB. Com esse objetivo surgiu a Rede Nacional GPS, uma estrutura geodésica de alta precisão. No entanto, foi somente com a RBMC que se colocou em prática o conceito de redes ativas - pela continuidade de rastreamento de satélites do GPS. Nesse contexto da extensão da potencialidade do uso do GPS e a nova concepção de SGR global (Freitas *et al*, 2004) que fundamentaram a implantação do projeto Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGRAS).

O Projeto SIRGRAS tem a participação de países da América Latina e Caribe. Dentro do projeto, foram estabelecidas duas redes de referência para o continente, uma em 1995 e outra em 2000. A partir destas redes serão apoiadas as redes nacionais americanas.

A rede de referência SIRGAS é uma densificação do *International Terrestrial Reference* (ITRF) na América do Sul, via estações de GPS. A sua realização inicial é constituída de 57 estações distribuídas pela América do Sul, cujas precisões posicionais foram melhores que 2 cm. Tal precisão foi, na época, a melhor densificação do ITRF no mundo. Onze delas estão distribuídas no Brasil e, segundo o IBGE, nove destas coincidem com as estações da RBMC. As estações iniciais foram determinadas durante uma campanha GPS realizada em 1995. Em 2000 foi realizada a campanha SIRGAS 2000, com a ocupação de 184 estações situadas em todo o continente americano.

A densificação da rede SIRGAS é feita com a integração de várias redes geodésicas individuais dos países da América do Sul. A integração das redes vem sendo feita na Colômbia, na Argentina, no Uruguai, na Venezuela e no Brasil. Costa (2000, *apud* Dalazona, 2000) afirma que com a adoção do SIRGAS, haverá alterações nas coordenadas planimétricas da ordem de 58m na região Nordeste até 73m no Sul – ressaltando que tais comparações são feitas diretamente, sem alguma transformação.

A integração entre a rede de referência SIRGAS e o restante das redes existentes no planeta está garantida pela existência de estações de operação contínua que pertencem à Rede Global do *Internacional GPS Service for Geodynamics*– IGS. O escritório de coordenação situa-se no IBGE-RJ e tem suporte da *International Association of Geodesy* – IAG e de outros organismos e instituições internacionais.

O próprio desenvolvimento do programa quanto ao amplo uso do SIRGAS é uma tendência atual onde se aproveitam as potencialidades do GPS e as facilidades que este pode trazer para os usuários. É um sistema de referência de precisão compatível com as técnicas atuais de posicionamento. Considerando esse maior uso do GPS, referir esses levantamentos a uma estrutura de referência com base nos modelos clássicos de triangulação, poligonação etc. de precisão ao menos dez vezes pior, é, no mínimo, desperdício de recursos (Freitas et al, 2004). Com esse sistema geocêntrico as coordenadas podem ser utilizadas de forma direta em levantamentos cartográficos, não havendo a necessidade de qualquer transformação ou integração entre referenciais.

Além disso, a pluralidade de sistemas geodésicos clássicos adotados pelos diversos países sul-americanos dificultam bastante a solução de problemas tecnicamente simples, como a definição de fronteiras internacionais. A adoção desse novo sistema de referencia significa também uma homogeneização de resultados no interior do continente, contribuindo para a construção de uma rede global.

Alguns sistemas mais recentes, como o WGS 84 (ambos G873 e G1150) tem características muito similares ao SIRGAS 2000, podendo, para trabalhos de cartografia, serem considerados similares. Essa denominação extra para o sistema WGS 84 significa “G” de uso apenas de técnicas de GPS e o número que o segue é referente à semana GPS da solução do refinamento em questão. Para aplicações cartográficas, o G1150 pode ser considerado totalmente compatível com o ITRF-2000.

#### **4. A transformação entre SGRs**

Um Sistema Geodésico de Referência é definido por parâmetros e convenções que permitem a orientação numa superfície, geralmente elipsoidal, que represente a Terra. Qualquer que seja o SGR escolhido para representar o mapeamento, existe correspondente matemático à sua representação real e, portanto, é dotado da capacidade de poder sofrer transformações matemáticas para melhor adequar as coordenadas a outro tipo de sistema definido de forma equivalente. De Freitas *et al* (2004) aponta que mesmo definidas as transformações matemáticas, o processo de transformação em si é dotado de dificuldades e limitações práticas, em virtude das particularidades envolvidas na realização e manutenção física de cada um destes referenciais. Ou seja, faz-se necessário conhecer bem as limitações inerentes

aos processo de transformações de coordenadas e compatibilização de dados espaciais advindos de diferentes sistemas e contextos tecnológicos e científicos – chamados também de gerações geodésicas.

SGRs diferentes somente podem ser integrados quando possuem pontos comuns em quantidade e distribuição suficientes que permitam a modelagem da transformações e distorções. Como descrito anteriormente, no Brasil existem algumas gerações geodésicas, o que resulta em dificuldades práticas no que diz respeito a comparação ou integração de documentos baseados em diferentes SGRs. Assim, recomenda-se um estudo prévio à utilização de produtos cartográficos baseados em diferentes sistemas.

Desta forma, os SGRs podem causar alguns problemas de compatibilidade quando da transformação entre diferentes sistemas. Esta compatibilização se dá por meio do uso de parâmetros de transformação, divulgados oficialmente pelo IBGE. A resolução PR número 22 de 21 de julho de 1983 traz os parâmetros oficiais para a transformação entre os sistemas Córrego Alegre e SAD 69. A transformação se dá em três translações e são eles:

Em X: -138,70 m;

Em Y: 164,40 m;

Em Z: 34,40 m.

A mesma resolução traz como modelo matemático para a transformação de sistemas de coordenadas entre SGRs as equações diferenciais simplificadas de Molodensky.

Já para a transformação de WGS 84 (*World Geodetic System* 1984) para SAD 69, foi necessária a Resolução número 23 de 21 de fevereiro de 1989, alterando o apêndice da resolução anterior. Os parâmetros da translação são:

Em X: 66,87 m  $\pm$ 0,43 m;

Em Y: -4,37 m  $\pm$ 0,44 m;

Em Z: 38,52 m  $\pm$ 0,40 m.

Estes parâmetros foram estimados na realização inicial dos sistemas SAD 69 e WGS 84, utilizando-se somente a estação Chuá. Esta foi a única estação a não sofrer alteração com o reajuste da rede planimétrica realizado em 1996, pois é o *Datum* (ponto origem) do sistema SAD 69. Os parâmetros são limitados para a realização inicial do WGS 84, que não sofreu alteração devido a sua constante evolução. O WGS 84 já foi alvo de três refinamentos.

Entre os SGRs Córrego Alegre e WGS 84 não existem parâmetros de transformação, para este caso deve-se executar uma transformação intermediária passando para SAD 69. Ainda também não existem parâmetros de transformação entre as duas realizações de SAD 69, pois os sistemas são os mesmos. Segundo Dalazona (2002) vale a pena ressaltar que alguns estudos foram feitos visando a integração entre as duas materializações de SAD 69, como de

Oliveira (1998)<sup>2</sup>, apresentando uma análise que determina parâmetros de transformação e uma modelagem das distorções.

Utilizando-se da concepção dos Indicadores a serem tratados pela Lógica Fuzzy (Freitas *et al*, 2004 *apud* Lazzarotto *et al*, 2004) a tabela a seguir apresenta os principais SGRs majoritariamente utilizados no Brasil e a classificação quanto à compatibilidade de cada um com o SIRGAS-2000.

Da Tabela 1 deriva-se a Tabela 2, abaixo, utilizando-se da mesma classificação de 0 a 7 (começando em 0 para “impossível” e subsequentemente “muito pequena”, “pequena”, “média”, “grande”, “muito grande” e 7, “total”) numa comparação entre SGRs antigos e o atual. Assim facilita-se a escolha prévia de dados cartográficos, ou ainda, o conhecimento da dificuldade ou não a ser encontrada no trabalho de compatibilização. Com esta compilação de dados, possibilita a avaliação da geração de uma base de cartográfica mais sólida com relação à compilação de dados de diferentes gerações geodésicas.

---

<sup>2</sup> Para maiores informações acerca do tema, consultar: OLIVEIRA, L. C. de. **Realizações do Sistema Geodésico Brasileiro Associadas ao SAD 69 – Uma Proposta Metodológica de Transformação**. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

SGR	Origem (Datum Horizontal)	Vigência	Materialização	Parâmetros de transferência para	Obs.*	Compatibilidade SIRGAS 2000	
<b>Concepção anterior ao SGB</b>	Vértices locais	1939 - 1950	Elipsóide Hayford (1924)	Não-determinados	1, 2, 3, 4	Impossível	0
<b>Córrego Alegre (CA)</b>	Vértice Córrego Alegre	Décadas 50, 60 e 70	Elipsóide Hayford (1924)	SAD 69	1, 4, 5, 6	Pequena	2
<b>Chuí Astro Datum</b>	Vértice Chuí	Década 60	Elipsóide Hayford (1924)	-	3, 4, 6	Muito pequena	1
<b>SAD 69 (Original)</b>	Vértice Chuí	1969 - 1996,5	Elipsóide de referência internacional (1967)	CA NSWC92Z WGS84	7, 11	Média	3
<b>NWL10-D NNSS (TRANSIT)</b>	Vértice Chuí	1970	NSWC 92Z	SAD 69	8	Médiagrande	4
<b>WGS 84 (Original)</b>	Vértice Chuí		WGS 84	SAD 69	9	Grande	5
<b>WGS 84 (G730)</b>	Vértice Chuí	1991	WGS 84 (G730)	-	10	Muito grande	6
<b>WGS 84 (G873)</b>	Vértice Chuí	1994	WGS 84 (G873)	-	10	Muito grande	6
<b>SAD 69 (1996)</b>	Vértice Chuí	1996	WGS 84 (G873)	SIRGAS	11, 12	Grande. Rede completa	5
<b>SAD 69 (1996) Reajustado</b>	Vértice Chuí	1996	WGS 84 (G873)	SIRGAS	11	Muito grande. Rede GPS Alta precisão.	6
<b>SIRGAS (GPS) e WGS 84 (G1150)</b>	Estações RBMC	2004*	Elipsóide GRS 80 (ITRF2000)	SAD 69 e SAD 69 (1996)	13	Total	7

Tabela 1: Classificação dos SGRs quanto à compatibilidade com o SGR de “Geração Geodésica” mais atual e vinculado ao SGB – SIRGAS 2000.

Fonte: FREITAS (2004)

A descrição das observações da tabela anterior segue como encontrado no artigo:

1. Qualidade posicional desconhecida (Obs.: os parâmetros de transformação oficiais entre CA e SAD-69 não vem acompanhados de uma avaliação de sua precisão, assim como as coordenadas baseados no Sistema CA);
2. Inexistência de registros referentes às observações originais (cadernetas) e descrição completa dos métodos;
3. Inexistência de grande parte dos pontos materializados;
4. Alcance espacial limitado e deficiência de orientação. Isto afeta a precisão de bases longas e da propagação de coordenadas. Os parâmetros de transformação só devem ser aplicados para regiões próximas do Datum, em função do produto pretendido e precisão admissível. Em bases longas, por exemplo, 2000 km (ex. Córrego Alegre a Chuí), a precisão estimada para bases referenciadas em Córrego Alegre podem apresentar um erro de até 40 metros.

5. Inexistência de grande parte dos pontos materializados, mas, em algumas regiões, é possível se recuperar um número suficiente de pontos e se estabelecer uma ocupação o com GPS tal que sejam gerados parâmetros locais de transformação. Com isso, elimina-se a componente sistemática de longo alcance, porém, permanecem as distorções relativas da rede, que são significativas para as escalas maiores de 1:50.000. Segundo Dalazoana (2001, p. 80, 81)<sup>3</sup>, “a maior parte da cartografia sistemática existente está apoiada no Sistema CA e é utilizada como base cartográfica para uma série de produtos no Brasil. Estes mapas, além de desatualizados estão vinculados a um referencial do qual não se tem controle das deformações.”. Continua a mesma autora Dalazoana (2001, p. 80) alertando que os parâmetros de transformação do sistema CA para o SAD-69 apresentam variações regionais que somados aos desvios padrão elevados e as discrepâncias em relação aos parâmetros oficiais, são indicativos da inviabilidade de aproveitamento de produtos em CA para integração em SIRGAS. Do referencial Córrego Alegre, constitui-se uma rede geodésica bidimensional com precisão de 10 a 20 ppm.
6. Inexistência de modelo geoidal. Rede horizontal, inicialmente baseada nos vértices da rede com Datum em Córrego Alegre, porém, com mudança de Datum, orientação e elipsoide.
7. Ajustamento da rede feito através do software HAVOC (*Horizontal Adjustment by Variation of Coordinates*) que adota a modelagem matemática da geodésica clássica, permitindo soluções somente para redes horizontais. Em consequência das limitações computacionais da época, a rede brasileira foi dividida em 10 áreas de ajuste (IBGE, 1997, p.5)<sup>4</sup>, e a precisão desta rede está em torno de 5 a 10 ppm. Tem características tridimensionais, pois, foi associada a um Geóide Gravimétrico. Para o cálculo deste Geoide Gravimétrico foi utilizado o modelo geopotencial GEMT2 (*Goddard Earth Model*), complementando as alturas geoidais por satélite em 521 pontos. Estas alturas foram originadas de observações de Doppler e GPS efetuadas sobre a rede de nivelamento de alta precisão, subtraindo-se a altitude “ortométrica” (não consideram as observações gravimétricas) da altitude elipsoidal obtida.
8. Rede tridimensional concentrada na região Amazônica e vinculada ao SAD-69 original. Precisão métrica (1.5m) devido à limitação da técnica utilizada, o Doppler. (Dalazoana, 2001, p.30).
9. Rede tridimensional para a qual foram determinados os parâmetros de translação para o referencial cartesiano do SAD-69 original que tinha precisão estimada em 1.5m.
10. Rede tridimensional com precisão em torno de 1 a 3 ppm (Dalazoana, 2001, p.25).
11. O deslocamento horizontal das coordenadas entre os dois sistemas, SAD-69 e SAD-69 (1996), pode atingir valores maiores que 15 metros de acordo com o distanciamento do ponto de origem.
12. As variações entre as duas realizações de SAD-69 (original e de 1996) são significativas apenas para as escalas iguais ou maiores a 1:10.000 quando referenciadas pela rede clássica, isto é, para a rede estabelecida por meio de GPS não existe essa limitação (Dalazoana, 2001, p. 82).
13. Para efeitos práticos a realização G1150 do WGS-84 pode ser considerada como equivalente ao ITRF-2000.

---

<sup>3</sup>Freitas (2004) *apud* Dalazoana, R. **Implicações na Cartografia com a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Futura Adoção do SIRGAS**. Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

<sup>4</sup>Freitas (2004) *apud* IBGE. **SIRGAS – Relatório Final dos Grupos de Trabalho I e II**. Diretoria de Geociências, Departamento de Geodésia. Rio de Janeiro, 1997.

SGR	1a. Concep.	C.A.	Chuá	SAD 69	TRANSIT	GPS (WGS84)	SAD 69 (1996)	SIRGAS
1a. Concepção	7	0	0	0	0	0	0	0
C.A.	0	7	1	3	2	2	2	2
Chuá	0	1	7	1	1	1	1	1
SAD 69	0	3	1	7	4	4	3	3
TRANSIT	0	2	1	4	7	5	5	4
GPS (WGS84)	0	2	1	4	5	7	4	5
SAD 69 (1996)	0	2	1	3	5	4	7	6
SIRGAS	0	2	1	3	4	5	6	7

Tabela 2: Compatibilidade entre os diferentes SGRs.

Fonte: FREITAS (2004)

Apesar da avaliação feita por Freitas (2004) de que a compatibilidade de informações originalmente em Astro Chuá transformada em SIRGAS 2000 é avaliada como muito pequena, este trabalho embasado na metodologia de Marotta *et al* (2011) mostra como transformações feitas a partir de pontos comuns e, portanto, com maior precisão podem ter um alto grau de confiabilidade.

## 5. Materiais

Foram utilizados dados vetorizados, a partir de restituição aerofotogramétrica de imagens, de dois mapeamentos distintos realizados para o GDF durante os anos de 1997 e 2010. Para o comparativo temporal a ortofotocarta (vetor e raster) usada é a mesma, a 151-iv-iiina área atualmente conhecida como parte de Arniqueiras, Região Administrativa de Águas Claras.

A ortofotocarta de 1997 possui os seguintes dados técnicos relevantes para este trabalho:

Data da tomada das fotos: SET/OUT/NOV de 1997

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)

Elipsóide de Referência Hayford

Datum Horizontal Astro Chuá - Escala 1:2000

Já a ortofotocarta de 2010, possui:

Data do voo: SET/2010

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)

Elipsóide *Geodetic Reference System* GRS-80

Datum Horizontal SIRGAS 2000 - Escala 1:1000

A área original 151-iv-iii estava desmembrada em quatro cartas, de finais A, B, C e D e também são apresentadas nas Figuras 01 a 05, a seguir.



Figura 1: Ortofotocarta do ano de 1997.









## 6. Metodologia

Para o trabalho proposto faz-se necessário, primeiramente, a edição das bases cartográficas das ortofotocartas de 1997 e 2010. A folha 151-iv-iii estava originalmente inteira para o arquivo de 1997, já os arquivos de 2010 estavam separados em quatro (A, B, C e D – como ilustrado nas Figura 2, Figura 3, Figura 4 e Figura 5). Os arquivos de 2010 foram unidos utilizando suas coordenadas originais, de modo a simplificar a compatibilização das bases. Em seguida e em ambos os arquivos, os dados foram filtrados segundo os temas relevantes para este estudo: construções e vias pavimentadas. Após a filtragem dos temas, as entidades desenhadas foram cuidadosamente analisadas para sua transformação em polígonos fechados criados a partir de *polylines*, visando facilitar uma posterior análise em ArcGIS. Para todas as operações descritas anteriormente, utilizou-se o programa AutoCAD versão 2010 da Autodesk.

A segunda etapa consistiu na manipulação dos arquivos no software AutoCAD Map 3D versão 2011, que consistiu na abertura das bases cartográficas, separadamente, a mudança das coordenadas planas para geodésicas e a coleta de coordenadas de pontos homólogos às diferentes épocas, visando atender necessidades de determinação de parâmetros de transformação entre os SGRs. Para determinar coordenadas de pontos em comum (no caso, 13 - após a supressão de um ponto como observado na Tabela 3), de confiança para compor os parâmetros de transformação entre os dois SGRs, foram escolhidos alguns pontos através da comparação visual entre os arquivos onde pelo menos dois vértices da edificação permaneceram constantes durante os 13 anos do período da comparação (Figura 6: Edificações e Vias Pavimentadas nos anos de 1997 e 2010, respectivamente.). Originalmente as coordenadas extraídas de ambos os documentos cartográficos são coordenadas planas no sistema de projeção UTM (E, N) e, posteriormente, foram transformadas em coordenadas geodésicas, ou seja, latitude ( $\phi$ ) e longitude ( $\lambda$ ). Assim, após a transformação das coordenadas, foram coletados e compilados os dados  $\phi$ ,  $\lambda$ , e  $H$  (proveniente de informações de curvas de nível) dos pontos comuns de ambos os arquivos.

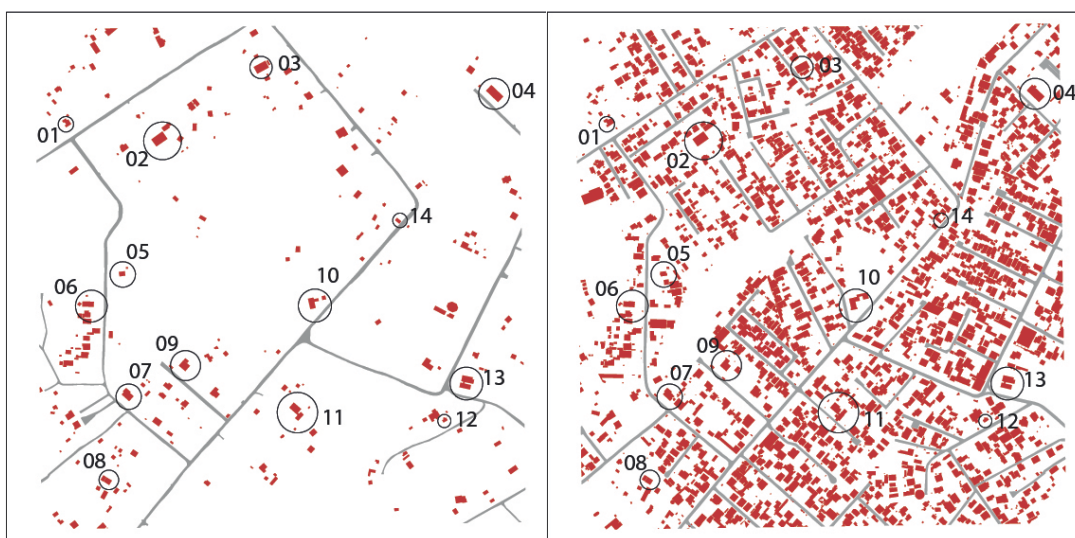


Figura 6: Edificações e Vias Pavimentadas nos anos de 1997 e 2010, respectivamente.

Os pontos selecionados estão descritos nos dois SGR, mostrado na tabela a seguir.

CORDENADAS						
SIRGAS 2000			ASTRO CHUA			
Ponto	LAT (°)	LONG (°)	ALT ORTO (M)	LAT (°)	LONG (°)	ALT ORTO (M)
1	-15.8566048600	-48.0093189300	1095.00	-15.8560777600	-48.0098511800	1095.00
2	-15.8570135900	-48.0074087900	1005.00	-15.8564917200	-48.0079384500	1005.00
3	-15.8555355400	-48.0051850700	1093.00	-15.8550118900	-48.0057117300	1093.00
4	-15.8563414800	-47.9999390300	1107.00	-15.8558154900	-48.0004694500	1107.00
6	-15.8604952000	-48.0087092600	1155.00	-15.8599631800	-48.0092324300	1155.00
7	-15.8623221800	-48.0081233100	1161.00	-15.8618001400	-48.0086520300	1161.00
8	-15.8642007300	-48.0084277400	1168.00	-15.8636815000	-48.0089556200	1168.00
9	-15.8618549400	-48.0067533300	1156.00	-15.8613315100	-48.0072803700	1156.00
10	-15.8603875500	-48.0040897200	1138.00	-15.8598625300	-48.0046166100	1138.00
11	-15.8626516500	-48.0045261500	1149.00	-15.8621263800	-48.0050527900	1149.00
12	-15.8629622800	-48.0012452700	1130.00	-15.8624347600	-48.0017666300	1130.00
13 <sup>5</sup>	-15.8620284600	-48.0007890000	1128.00	-15.8615017500	-48.0013145500	1128.00
14	-15.8588397200	-48.0020981700	1128.00	-15.8583185900	-48.0026283800	1128.00

Tabela 3: Pontos selecionados para balizar a transformação do SGR

Segundo Marotta *et al* (2011), para estimar os parâmetros de transformação entre os dois diferentes referenciais cartesianos, faz-se necessário transformar as coordenadas geodésicas em coordenadas cartesianas retangulares geocêntricas (X, Y e Z). Essa transformação é dada por:

$$X = (N + h) \cos(\phi) \cos(\lambda) \quad (01)$$

$$Y = (N + h) \cos(\phi) \sin(\lambda) \quad (02)$$

$$Z = [N(1 - e^2) + h] \sin \phi \quad (03)$$

sendo

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (04)$$

e

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \quad (05)$$

---

<sup>5</sup> O ponto 13 foi posteriormente suprimido por questão de uma falha na boa identificação do ponto; o ponto 14 assume a partir deste momento a numeração 13.

onde “ $e$ ” representa a excentricidade do elipsóide, “ $a$ ” e “ $b$ ” o semi-eixo maior e menor do modelo Elipsóidico da Terra, respectivamente, e  $N$  a grande normal.

A Figura 7: Fluxograma da transformação de SGRs. demonstra, através de um fluxograma, os procedimentos necessários para transformação entre sistemas de referência terrestres.

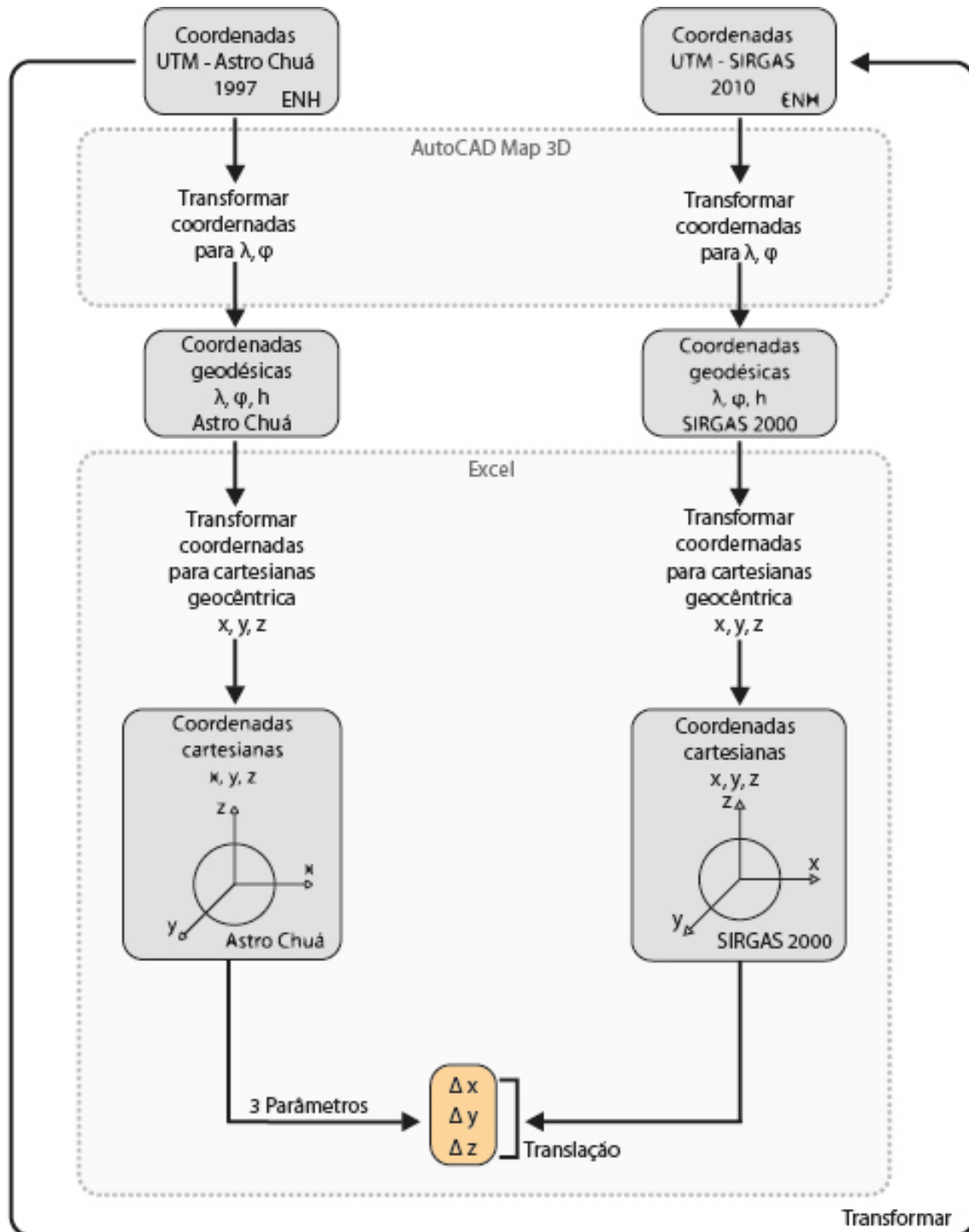


Figura 7: Fluxograma da transformação de SGRs.

A altitude a ser representada, juntamente com as coordenadas geodésicas, pode ser a altitude geométrica ( $h$ ) ou a altitude ortométrica ( $H$ ). Sendo a altitude geométrica a distância entre um ponto na superfície terrestre e sua projeção no elipsóide, na direção normal, e a altitude ortométrica é a distância entre um ponto na superfície terrestre e sua projeção no geóide, ao longo da vertical. A diferença entre elas, desprezando o desvio da vertical, é chamada ondulação geoidal ( $\bar{N}$ ), ou seja:

$$\bar{N} \approx h - H \quad (06)$$

As altitudes utilizadas neste trabalho foram estabelecidas entre os anos com base nas curvas de nível que compõem os dados vetoriais do referido trabalho e estão referenciadas ao geóide. Por este fato, foram utilizadas as altitudes ortométricas na determinação de parâmetros de transformação. Esta necessidade se deu pela não disponibilidade de altitudes geométricas para os pontos referenciados ao Chuá Astro Datum.

Considerando que não há diferença em escala e que os sistemas envolvidos na análise são paralelos, ou seja, que o fator de escala é unitário e que as rotações são nulas, tem-se como parâmetros somente as três translações e o modelo funcional para determinação dos parâmetros é o seguinte:

$$\begin{aligned} X_t &= TX + X_o \\ Y_t &= TY + Y_o \\ Z_t &= TZ + Z_o \end{aligned} \quad (15)$$

Os parâmetros,  $X_a$ , para o modelo funcional apresentado pela Equação 15 é dado por:

$$X_a = [TX, TY, TZ]^T \quad (16)$$

Para estimar os parâmetros de transformação e seus desvios padrão foi utilizado o ajustamento de observações pelo Método dos Mínimos Quadrados – MMQ, método paramétrico.

A principal característica do método paramétrico é que as observações mais os resíduos delas devem ser funções dos parâmetros ajustados, Equação 17.

$$L_b + V = F(X_a) \quad (17)$$

onde " $L_b$ " é o vetor dos valores observados, " $V$ " o vetor dos resíduos dos valores observados e " $F(X_a)$ " é o vetor das funções dos parâmetros ajustados.

Foram utilizados 14 pontos, distribuídos em toda porção da área de estudo, totalizando 39 observações de coordenadas em cada sistema de referência envolvido. Esta quantidade considerável de observações possibilita o ajuste com maior confiabilidade proporcionado pelo alto grau de liberdade.

Todas as observações de coordenadas utilizadas neste trabalho, em ambos os sistemas de referência (Chua Astro Datum e SIRGAS 2000), foram extraídas a partir de vértices presentes nas bases cartográficas formados por edificações,

Como as variâncias das coordenadas neste trabalho não são conhecidas (não documentadas), não foi possível determinar a matriz variância-covariância dos valores observados ( $C_{Lb}$ ). Como consequência, o modelo estocástico foi estabelecido como vetor unitário disposto na diagonal de uma matriz identidade, ou seja, as variâncias dos valores observados foram arbitradas em uma unidade, ou seja, 1 m<sup>2</sup>, (Equação 18), assumindo que todas as observações possuem a mesma precisão.

$$C_{Lb} = \text{diag} [ \sigma_{X_1}^2 \sigma_{Y_1}^2 \sigma_{Z_1}^2 \dots \sigma_{X_N}^2 \sigma_{Y_N}^2 \sigma_{Z_N}^2 ] \quad (18)$$

As variâncias das observações, *a priori*, são utilizadas na determinação dos pesos (P) (Equação 19) das observações.

$$P = \sigma_0^2 \cdot C_{Lb}^{-1} \quad (19)$$

onde  $\sigma_0^2$  é a variância das observações de peso unitário *a priori*.

Após a definição do modelo matemático e do número de observações, passa-se ao cálculo dos elementos da matriz das derivadas parciais, utilizando a seguinte equação:

$$A = \left. \frac{\partial F(X_a)}{\partial X_a} \right|_{X_0} \quad (20)$$

Assim, utilizando o modelo matemático e o modelo simplificado, pode-se apresentar as matrizes das derivadas parciais de acordo com as equações 21, respectivamente:

$$A_{3 \times 243} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Como valores aproximados para os parâmetros, elementos do vetor  $X_0$ , adotou-se os parâmetros fornecidos pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – vistos na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros de Translação entre Córrego Alegre, SAD-69 e Chuá Astro Datum.

Parâmetros	SAD69 (IBGE)	Chuá Astro Datum (IBGE)
$TX$ (m)	-138.700	-61.670
$TY$ (m)	164.400	-74.700
$TZ$ (m)	34.400	29.400

Assim os parâmetros de translação entre SAD69 e Chuá Astro Datum podem ser determinados. Conhecendo-se os parâmetros de transformação entre SAD69 e SIRGAS2000, conforme Resolução do IBGE (PR – 1/2005), os parâmetros de transformação entre SIRGAS2000 e Chuá Astro Datum também podem ser determinados, Tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros de translação entre SIRGAS 2000, SAD-69 e Chuá Astro Datum.

Parâmetros	SAD69 (IBGE)	Chuá Astro Datum
$TX$ (m)	67.348	144.378
$TY$ (m)	-3.879	-242.979
$TZ$ (m)	38.223	33.223

Os parâmetros de transformação conhecidos representam somente a translação entre os referenciais cartesianos, determinado pelo modelo simplificado (3 parâmetros), como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros Iniciais (Vetor  $X_0$ ) de Chuá Astro Datum para SIRGAS 2000.

Parâmetros	Modelo simplificado (3 Parâmetros)	Modelo de Helmert (7 Parâmetros)
$TX$ (m)	-144.378	-144.378
$TY$ (m)	242.979	242.979
$TZ$ (m)	-33.223	-33.223

Com os elementos da matriz das derivadas parciais, os valores observados e os pesos das observações, passa-se ao cálculo do vetor das correções aos valores aproximados dos parâmetros ( $X$ ), dado por:

$$X = (A^t P A)^{-1} A^t P L \quad (22)$$

onde

$$L = L_b - L_0 \quad (23)$$

em que " $L$ " é o vetor da diferença entre os valores observados ( $L_b$ ) e calculados ( $L_0$ ).

O critério utilizado para a estimativa dos parâmetros ajustados ( $X_a$ ) se deu pelo processo iterativo, onde foram atribuídos à  $X_0$ , os valores de  $X_a$ .

$$X_a = X_0 + X \quad (24)$$

O processo iterativo se deu até o ponto de convergência, onde o vetor  $X$  apresentou valores não significativos, com limite de 0,1 mm para as translações.

Após convergência dos cálculos dos parâmetros, passa-se ao cálculo dos resíduos das observações ( $V$ ) e da variância de referência *a posteriori* ( $\hat{\sigma}_0^2$ ), a fim de se verificar possíveis discrepâncias nos valores observados e possível inconsistência no ajustamento realizado.

$$V = A \cdot X - L \quad (25)$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T.P.V}{GL} \quad (26)$$

em que "GL" representa o grau de liberdade (diferença entre o número de observações e o de parâmetros).

A estimativa do erro, no processo de transformação entre sistemas, de acordo com os modelos propostos, se deu por meio de análise dos resíduos, das incertezas proporcionadas pelo parâmetros de transformação.

Após a transformação da base cartográfica de 1997 em Astro Chuá para o SGR SIRGAS 2000 e UTM, os arquivos foram abertos no programa ESRI ArcMap versão 10 para sua manipulação. Após o estabelecimento do sistema de referência, os arquivos em dwg foram transformados para shape files. Seus dados foram explorados no intuito de perceber as diferenças que ocorreram nos 13 anos que abrangem o período de análise. Desde a filtragem dos temas, descrito no primeiro parágrafo da metodologia, percebeu-se a importância de analisar as vias pavimentadas e as edificações de cada período. Efetuou-se uma álgebra de mapas, para perceber como e quanto de cada tema permaneceu desde 1997. As imagens das interseções das vias e edificações estão apresentadas nos resultados.

## 7. Resultados

A transformação proposta de Astro Chuá para SIRGAS 2000 resultou nos seguintes parâmetros da translação:

Em X: -134,547 m  $\pm$  0,078 m;

Em Y: 233,908 m  $\pm$  0,078 m;

Em Z: -35,2503 m  $\pm$  0,078 m.

As precisões são iguais devido à adoção do mesmo peso, ou seja, mesma precisão (critério) na observação dos pontos, resultando no mesmo desvio-padrão. Portanto, a Tabela 7 representa os valores dos resíduos após o ajuste dos parâmetros.

Tabela 7: Diferença entre as coordenadas transformadas e de origem em SIRGAS 2000.

Vetor dos Resíduos			
Pontos	X	Y	Z
1	-0.355	-0.409	0.262
2	-0.246	-0.101	-0.296
3	0.037	0.079	-0.103
4	-0.194	-0.231	0.145
5	0.472	0.131	0.780
6	-0.168	-0.041	-0.286
7	-0.159	0.081	-0.588
8	-0.001	0.051	-0.137
9	0.053	0.033	0.035
10	0.078	0.043	0.057
11	0.557	0.379	0.296
12	0.208	0.098	0.212
13	-0.283	-0.113	-0.377

Tabela 8: Diferenças entre as coordenadas determinadas no sistema de projeção UTM e no referencial SIRGAS2000.

Coordenadas no Sistema de Projeção UTM						
Ponto	Sirgas 2000		Astro Chuá para Sirgas 2000		Diferenças	
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
1	820329,472	8244640,337	820328,938	8244640,616	0,534	-0,279
2	820533,578	8244592,150	820533,323	8244591,844	0,255	0,306
3	820774,284	8244752,427	820774,363	8244752,317	-0,079	0,110
4	178677,723	8244655,316	178677,422	8244655,463	0,301	-0,147
5	820388,672	8244208,580	820389,122	8244209,384	-0,450	-0,804
6	820448,590	8244005,359	820448,433	8244005,063	0,157	0,296
7	820412,986	8243797,790	820412,914	8243797,179	0,072	0,611
8	820596,177	8244055,004	820596,208	8244054,861	-0,031	0,143
9	820884,014	8244213,424	820884,076	8244213,459	-0,062	-0,035
10	820833,647	8243963,361	820833,734	8243963,420	-0,087	-0,059
11	821184,831	8243923,928	821185,504	8243924,228	-0,673	-0,300
12	821235,220	8244026,641	821235,444	8244026,860	-0,224	-0,219
13	821099,944	8244381,780	821099,653	8244381,393	0,291	0,387

A Tabela 8 mostra os valores adquiridos de cada ponto após a transformação do SGR comparados com os valores dos mesmos na base de 2010 originalmente em SIRGAS 2000. Após a transformação do SGR, sobrepuseram-se as duas bases, como ilustrado na Figura 8, percebendo-se as mínimas diferenças entre elas. A vetorização dos arquivos originais compatibilizadas utilizando parâmetros oficiais possui resíduos aproximados - em coordenadas cartesianas de:

Em X: 9,831; Y: -9,071e Z: -1,980 .



Figura 8: Sobreposição das imagens após a transformação.

A transformação do SGR possibilita a comparação com alta acurácia de cenários da mesma área, aqui urbana. No caso, os temas escolhidos para análise foram a quantidade (metros quadrados) de edificação e a quantidade (metros quadrados) de vias pavimentadas. Com a compatibilização de bases (possuindo um erro mínimo) pode-se realizar estudos através da sobreposição verdadeira e sem aproximações distorcidas das vetorizações dos voos. A seleção de tais temas permite esboçar um entendimento sobre a dinâmica da área, além da visualização – através de ferramentas analíticas em programas que utilizem o GIS – das áreas que permanecem ocupadas desde 1997.

Dentro do tema Vias Pavimentadas, foi possível contabilizar que em 1997 havia 32.084,21 m<sup>2</sup> de vias e que em 2010, já havia 70.802,58 m<sup>2</sup>; o que representa um crescimento de 220% em 13 anos. A manipulação dos dados especializados permite verificar que do total em 2010, 32,03% das vias pavimentadas, ou seja, 22.683,05 m<sup>2</sup>, já existiam em 1997. A Figura 9 a seguir representa a interseção das vias atuais com aquelas de 1997, permitindo perceber quanto a ocupação urbana aproveitou das vias principais existentes para apoiar sua densificação.



Figura 9: Interseção das Vias Pavimentadas

No tocante das Edificações, havia, em 1997, 26.018,31 m<sup>2</sup> de área ocupada<sup>6</sup> distribuídos em 240 unidades. Em 2010 esse quantitativo sobe para 264.595,72 m<sup>2</sup> em 2.250 unidades. No período analisado houve um crescimento de 1016% e de 2010 unidades. Uma curiosidade gerada a partir de tamanho crescimento foi se a área ocupada das edificações havia sofrido também um grande crescimento, devido, talvez, a um maior desenvolvimento econômico da região – influenciado pela ADE próxima à área do Veredão, mais ao sul da imagem analisada – e também ao vetor de crescimento apontando ao oeste desde meados da década de 80 (Anjos, 1991). No entanto, verificou-se que a média da área de ocupação variou pouco, passando de 108 m<sup>2</sup> em 1997 para 117 m<sup>2</sup> em 2010. Seria necessária uma análise mais detalhada da área de estudo e de sua dinâmica vertical, pois, de fato, a ocupação horizontal (espraçamento urbano) se verifica através da compatibilização de bases.

---

<sup>6</sup> É importante notar que os dados mostram a área de ocupação de uma construção e não se pode inferir que seja a quantidade de área construída que, muito provavelmente, deverá ser maior que esta. As edificações aqui mostradas são representadas por suas projeções e não necessariamente são dotadas apenas do pavimento térreo.

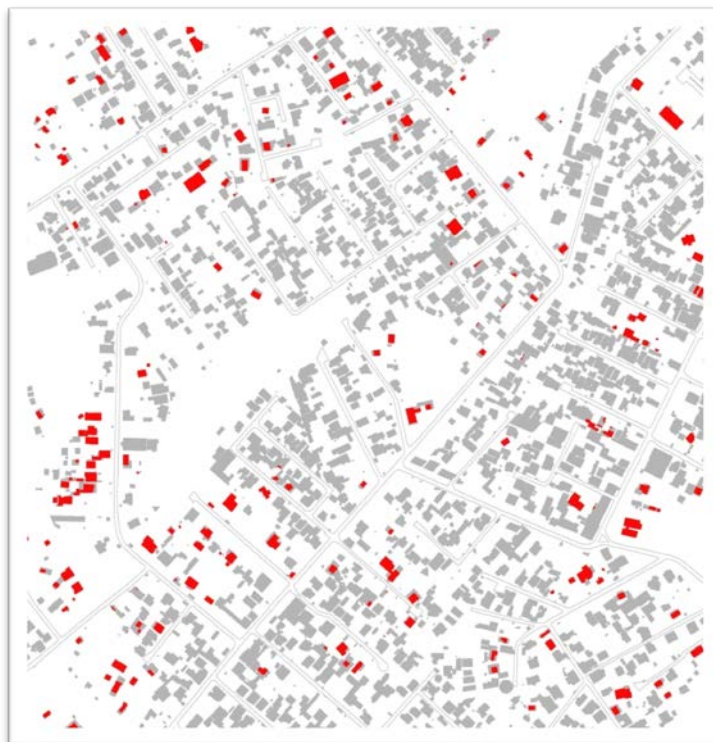


Figura 10: Interseção das Edificações.

A Figura 11 ilustra tanto as Edificações quanto as Vias Pavimentadas que permanecem na área de estudo desde 1997 e através dela se percebe a rapidez da ocupação e o quanto dela pode ser considerada “original” ou mesmo proveniente de uma ocupação de caráter mais agrário da área.

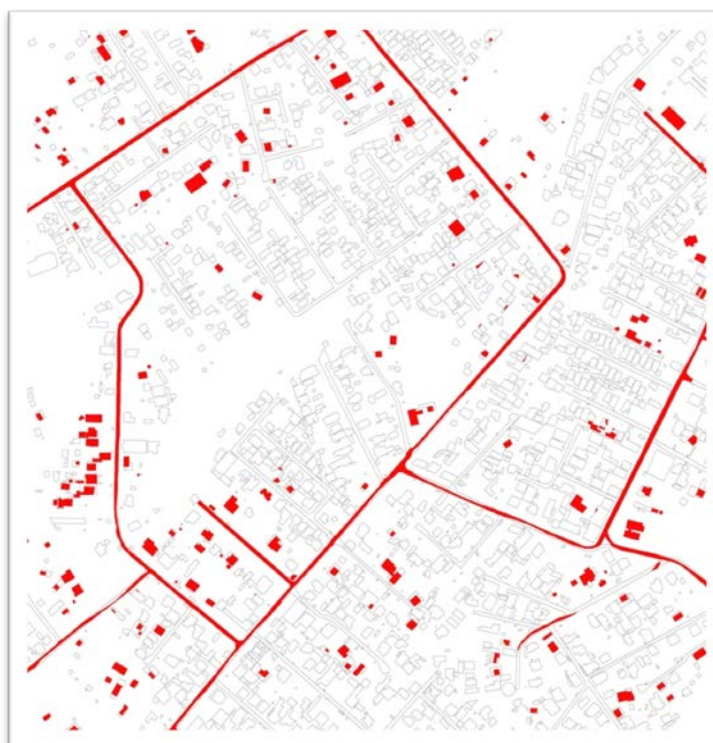


Figura 11: Interseção das Vias Pavimentadas e Edificações em comum entre 1997 e 2010.

No caso específico deste estudo, a área escolhida está completamente inserida na diretriz específica para os Setores Habitacionais de Regularização do PDOT em vigência. Portanto, a título de ilustração de um caráter prático da compatibilização de bases cartográficas e posterior manipulação de seus dados em comparação com dados atuais, o processo possibilita o auxílio na identificação de ocupações mais antigas, originárias de determinado período ou mesmo desdobramento antigo e a atualização de projetos urbanísticos específicos ou de projetos de condomínios em processos de aprovação junto aos órgãos competentes e regularização fundiária, bem como na correta locação de áreas para evitar problemas de domínio fundiário. Na Figura 12 a seguir a área em amarelo representa tal diretriz.



Figura 12: Área de estudo inserido na diretriz de Setores Habitacionais de Regularização do PDOT 2009.

## 8. Conclusão

A atualização e compatibilização precisa de bases cartográficas com diferentes SGRs, no caso de Astro Chuá para SIRGAS 2000, auxiliam no processo de planejamento e estudo territorial, preenchendo o nicho deixado pela mudança de referencial nas diferentes gerações geodésicas. A transformação traz a possibilidade comparações temporais sem ideia de distorção da base.

A manipulação das bases traz a real possibilidade do estudo da dinâmica de temas específicos ao território e mesmo o monitoramento de ocupações com sua locação precisa, derrubando inconsistências comumente presentes em projetos urbanísticos. No entanto, para solidificar o uso desta transformação, faz-se necessário apresentá-la junto aos órgãos competentes de aprovação de projetos.

## 9. Bibliografia

ANJOS R.; 1991. **Expansão urbana do Distrito Federal e entorno imediato (1964-1990): monitoramento por meio de dados de sensoriamento remoto.** Dissertação de Mestrado. Brasília, UnB.

FREITAS S R. C.; LAZZAROTTO, D. R.; SLUTER, C. R.; LUZ, R. T. **Avaliação da Compatibilidade dos Sistemas Geodésicos de Referência no Brasil.** In: Boletim de Ciências Geodésicas., sec. Artigos, Curitiba, v. 10, p.225-239, jul-dez, 2004.

DALAZOANA, R.; FREITAS, S. R. C. de. **Efeitos na Cartografia devido a Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro e Adoção de um Referencial Geocêntrico.** In: Revista Brasileira de Cartografia No. 54, dezembro 2002. Disponível em <[http://www.rbc.ufrj.br/\\_pdf\\_54\\_2002/54\\_07.pdf](http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_54_2002/54_07.pdf)> Acesso em outubro de 2011.

IBGE – **Geociência: Geodésia.** <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default.shtm>> Acesso em outubro e novembro de 2011.

MAROTTA, G. S.; RODRIGUES, D.D. **Atualização dos Parâmetros na Transformação em Referenciais Geodésicos Históricos.** In: Revista Brasileira de Cartografia, 2011.