

Construção de um protótipo para a unificação de base cartográfica em Minas Gerais em SIRGAS2000

Cláudia Constantina Saltarelli Saraiva
Aliane Maria Motta Baeta
Lincoln Diniz Carvalho

Instituto de Geociências Aplicadas - IGA
30150-150 - Belo Horizonte - MG, Brasil
cartografia@iga.br

Abstract. This paper describes the research and the development of the prototype of a mapping in scale 1:10000, in SIRGAS2000, effective geodesic system in Brazil. The great vertical variation of the study area, the lack of similar mapping precedent, the variety metric of cameras on the photogrammetry, the aerial photographs antiquity are some factors which engendered difficulties in the mapping. The solution for update to cartographic bases is to use the high resolution orthoimages. The research demonstrated the viability of the mapping in the geocentric system, from where recommended, henceforth, not to produce basic cartography in obsolete systems.

Palavras-chave: cartography, geodesy, photogrammetry, remote sensing, cartografia, geodésia, fotogrametria, sensoriamento remoto, SIRGAS2000.

1. Introdução

O Instituto de Geociências Aplicadas - IGA, órgão oficial de Geociências do Estado de Minas Gerais, com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, está em fase de conclusão da pesquisa de construção do protótipo de mapeamento municipal em escala 1:10000, em SIRGAS2000. O SIRGAS2000, Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, em sua realização do ano de 2000, é o novo sistema de referência geodésico para o sistema geodésico brasileiro (SGB) e para o sistema cartográfico nacional (SCN), alterado por meio do Decreto Federal N° 5334/2005 e pela Resolução IBGE N° 1/2005.

A pesquisa e o desenvolvimento do protótipo objetivaram a construção de uma metodologia para uma carta 1:10000, multifinalitária, que venha atender à cartografia básica necessária às diversas instituições públicas do Estado de Minas Gerais. O protótipo foi desenvolvido em Itabira, município localizado no quadrilátero ferrífero de Minas Gerais, entre as coordenadas 44°w/19°s e 43°w/20°s, conforme ilustrado na **Figura 1**.

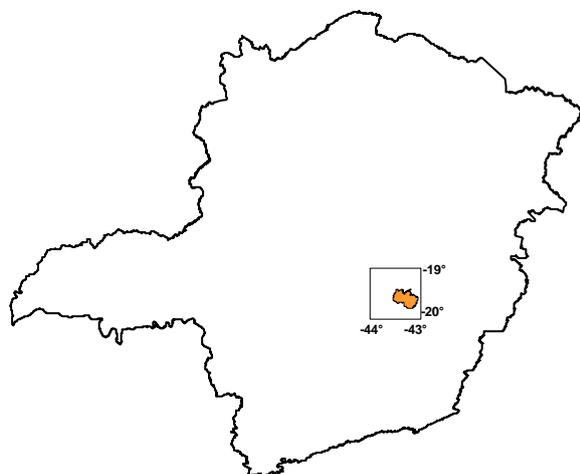


Figura 1: Localização do município de Itabira no Estado de Minas Gerais.

Por se tratar do primeiro mapeamento em escala grande referenciado em SIRGAS2000 executado no país, nesta pesquisa foram envolvidos novos conhecimentos, novas metodologias, novos equipamentos, obrigando a uma atualização no estado-da-arte em geodésia para o levantamento, processamento dos dados de campo e desenvolvimento do trabalho.

2. Histórico do sistema geodésico brasileiro

O sistema geodésico brasileiro, SGB, caracteriza-se por um conjunto de parâmetros e convenções. Materializa-se pelo conjunto de coordenadas que representam os controles horizontal e vertical necessários à localização e à representação cartográfica no território brasileiro.

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 poligonização. A partir desta data, o IBGE adotou o GPS em seus trabalhos geodésicos. Em 1996 o IBGE finalizou o projeto de reajustamento da rede geodésica brasileira, integrado no reajustamento de toda a rede continental.

O alto grau de precisão alcançado pelas técnicas de posicionamento geodésico forjou a adoção de sistemas de referência que possibilitassem um georreferenciamento global, definido com base na adoção de um elipsóide de revolução, cuja origem se aproxime do centro de massa da Terra e materializado por uma rede de coordenadas geodésicas tridimensionais conhecidas.

O modelo geométrico de referência recomendado pela Associação Internacional de Geodésia (IAG) foi o GRS80 (*Geodetic Reference System*, 1980) e o referencial mais preciso é o ITRS [IERS (*International Earth Rotation Service*) *Terrestrial Reference System*]. O ITRS é atualizado periodicamente, devido à variação temporal das coordenadas das estações e, por isso, sua denominação vem sempre acompanhada do ano em que foi estabelecido. O ITRS é materializado por uma rede de estações de coordenadas conhecidas, denominada por ITRF - IERS (*International Earth Rotation Service*) (*Terrestrial Reference Frame*), conforme Dalazoana (2001).

3. Sistema geodésico brasileiro vigente - SIRGAS2000

O sistema geodésico brasileiro foi alterado em fevereiro de 2005, por meio do Decreto Federal N° 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. 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.

A Resolução IBGE N° 1/2005 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).

4. Equipamentos e materiais envolvidos na pesquisa

A pesquisa da construção do protótipo envolveu as áreas de geodésia, fotogrametria e cartografia. Os equipamentos utilizados para o levantamento geodésico foram os receptores geodésicos de dupla frequência GPS *NovAtel DL-4Plus L1L2S*, *GPS de navegação GARMIN*

modelo XL12, estereoscópio de bolso e o grupo de programas de pós-processamento *DLATool*, *NovAtel OEM4 Convert*, *EZSurv 2.21* e o *Bernese*. Os equipamentos envolvidos na fotogrametria foram: estações fotogramétricas digitais compostas por microcomputadores *PentiumIV 3.2Ghz*, 2 Gb de memória RAM, 80 Gb de disco rígido e placa de vídeo *Wildcat VP 800 VPU*; óculos estereoscópicos *NuVision 60GX*, sem fio; *mouse* fotogramétrico óptico digital *Digimouse*; *Scanner Epson Expression 10000XL*, formato A3 e de alta resolução. O programa utilizado para a restituição digital foi o *Digital Video Plotter – DVP5.5* e o programa para a aerotriangulação foi o *Aerosys*. A edição cartográfica das feições restituídas foi realizada no programa *AutodeskLand6.0*. Para o levantamento de campo foi utilizado um veículo *Volkswagen*, modelo Parati, ano 1994.

Os materiais utilizados na pesquisa foram os diafilmes e aerofotos em escala 1:30000 e suas respectivas ortofotocartas planimétricas analógicas, em escala de 1:10000, do voo de 1989; folhas-da-carta 1:100000 do IBGE, 1977.

5. A pesquisa e a metodologia para o desenvolvimento do protótipo

A geodésia é a área de conhecimento que determina o referencial terrestre a ser empregado no mapeamento. O conjunto de pontos do apoio geodésico ajusta-se a este referencial e é o insumo da aerotriangulação do bloco a ser restituído fotogrametricamente, dando origem à base cartográfica. Assim, com base nos pontos de apoio de campo, a fotogrametria assenta as informações cartográficas restituídas das fotos sobre a superfície terrestre.

Nesta pesquisa, o levantamento de campo dos pontos de apoio do mapeamento ocorreu com o auxílio das aerofotos, ortofotocartas e folhas-da-carta, para auxiliarem a localização dos pontos de apoio em campo. Estes pontos de controle foram planejados sobre o bloco das aerofotos, para os quais foi definida uma área de abrangência, tendo em vista a distribuição de dois pontos amarrando três modelos fotogramétricos, além de mais dois pontos para o início e o final de cada faixa. Em campo, buscou-se, dentro da área planejada, a melhor alocação de cada ponto, preferencialmente sobre confluências ou interseções de estradas, arruamentos ou detalhes identificáveis nas aerofotos, evitando-se áreas com cobertura vegetal de porte. Os pontos levantados foram perfurados nas aerofotos correspondentes para permitir sua identificação nos modelos fotogramétricos. O controle do levantamento destes pontos ocorreu sobre as folhas-da-carta 1:100000.

O procedimento do levantamento dos pontos de apoio iniciou-se com a implantação de um marco geodésico integrado à rede geodésica brasileira - SAT93788 - base para os demais pontos, perfazendo um total de 102 pontos. Considerando a área do município de Itabira, 1254,49 km², foi necessária a instalação de mais duas bases auxiliares. A linha de base entre o receptor-base e os receptores-itinerantes procurou abranger uma distância máxima de 15 km, em função da logística de ocupação. A taxa de coleta empregada foi de 15 segundos. O método empregado para este levantamento foi o relativo e a técnica estática, conforme Carvalho (1999). O tempo mínimo de coleta dos pontos foi estabelecido em 40 minutos, em virtude dos obstáculos naturais (vegetação, encostas de serras) presentes no relevo extremamente acidentado, característico da região. A equipe mínima de campo foi dimensionada em 3 engenheiros agrimensores, que levantaram uma média de 10 pontos para cada 4 dias. O rendimento foi prejudicado pela ausência de um veículo com tração em quatro rodas e adaptados a condições *off-road*, o que ocasionou dificuldade de acesso a determinados pontos. A inexistências de estradas e acesso apenas por trilhas, períodos ocasionais de chuva intensa, obstáculos presentes à recepção dos sinais de satélite e a desatualização das ortofotos foram outros fatores que geraram dificuldades. A metodologia para o deslocamento em campo utilizou GPS de navegação associado às ortofotos. Para o reconhecimento exato do ponto empregou-se o modelo de aerofotos e um estereoscópio de bolso.

A pesquisa dos procedimentos de campo abarcou a geodésia celeste, por meio dos receptores geodésicos de dupla frequência GPS, cujos programas comerciais de processamento dos dados não repertoriavam, de forma distinta, na data da instituição do SIRGAS no Brasil, os parâmetros do GRS80, elipsóide de referência do SIRGAS2000 e do WGS84. Assim, ao se iniciar o processamento dos dados coletados em campo, relatou-se ao departamento de geodésia do IBGE a divergência entre os parâmetros oficiais do elipsóide publicado pelo IBGE e os apresentados pelo programa *EZSurv*. A resposta do IBGE ao problema evidenciou a insignificância de tal diferença para o trabalho, uma vez que a divergência de valores encontrava-se na sexta casa decimal do semi-eixo menor do elipsóide.

Para o processamento dos dados GPS, empregou-se o programa *EZSurv* 2.21, eliminando-se os satélites com maiores resíduos e utilizando-se o ângulo de elevação de 15 graus. A grande maioria dos pontos processados apresentou a solução tipo L_1 (*fixed*), porém alguns pontos, em função dos obstáculos à visibilidade dos satélites presentes no campo, foram obtidos pela solução L_1 (*float*). O resultado final destes alcançou resíduos máximos, em coordenadas, inferiores a 3 cm.

A coordenada altimétrica obtida pelo GPS foi transformada utilizando o modelo geoidal oferecido pelo IBGE, *MAPGEO2004* que, na região de trabalho, apresenta um erro de até 0,5m, conforme a **Figura 2**:

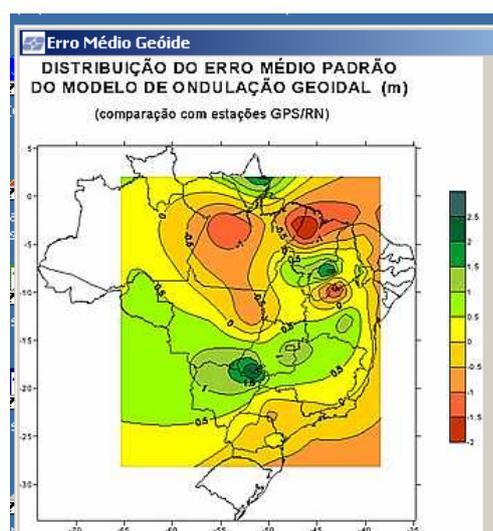


Figura 2: Mapa de ondulação geoidal (IBGE)

A aerotriangulação iniciou-se com a transformação analógico/digital dos diafilmes que recobrem a área, por meio do *scanner* de alta resolução. A metodologia de digitalização matricial empregada na conversão foi: resolução geométrica de 1200dpi; resolução radiométrica de 8 bits; utilização de uma placa de vidro sobre os diafilmes, para se impedir o acúmulo de camada de ar sob os mesmos, o que ocasiona a deformação da imagem no momento da varredura e obtenção da imagem em extensão *TIFF*.

Essas imagens de extensão *TIFF* foram processadas no módulo *image preparation* do programa *DVP*, de maneira a criar um arquivo pirâmide e um arquivo *thumbnail* que proporcionam, respectivamente, a concatenação e a visualização do conjunto de modelos.

A área do município de Itabira foi levantada por várias empresas de aerolevantamento e, assim, foram empregados diferentes tipos de câmaras aéreas: uma câmara aérea *Wild*, tipo *RC 8*, e duas câmaras aéreas *Carl Zeiss RMK* com distâncias focais diferentes: 152,10mm, 153,15mm e 152,37mm. As aerofotos possuíam quatro marcas fiduciais com localizações nas extremidades ou centros das margens.

A orientação interior apresentou os resíduos médios de $22\mu\text{m}$, calculados pelo modelo matemático da transformação afim no plano. Em seqüência de procedimentos, ocorreu a orientação relativa dos modelos, sendo utilizados 12 pontos fotogramétricos por modelo, o lançamento dos pontos de apoio nos mesmos e a exportação dos arquivos dos pontos para a extensão *PATB*. Esta extensão é lida pelo programa *Aerosys* no qual foi realizada a aerotriangulação. Os pontos de controle e de ligação entre modelos e faixas foram processados no programa *Aerosys* para cada faixa, somando 12 faixas aerotrianguladas, sendo que cada uma delas comportou de 7 a 12 modelos fotogramétricos. Os pontos que ligavam duas faixas foram lidos e ajustados na primeira faixa e transportados como pontos de apoio na segunda faixa. A precisão obtida nesta metodologia ficou na média de 2 metros.

Por motivo de escassez de recursos financeiros disponíveis para a realização da restituição digital, o mapeamento foi gerado a partir das aerofotos preexistentes, em escala 1:30000, vôo de 1989, demandando atualização dos elementos planimétricos.

Assim, apesar de tal mapeamento estar metodologicamente plenamente ajustado ao estado-da-arte em fotogrametria e cartografia - o que resultou em produto com alto padrão de exatidão - os dados planimétricos da restituição encontram-se desatualizados, tendo em vista que se passaram 18 anos entre o vôo e a restituição realizada.

A atualização do mapeamento será realizada por meio de produto de sensoriamento remoto que ofereça resolução compatível com a escala 1:10000 e que assegure um alto padrão de exatidão cartográfica, por meio de procedimentos de ortorretificação.

A obtenção de orto-imagem exige uma transformação sobre as imagens já existentes, para a projeção ortogonal no processo denominado ortorretificação. Para a produção de orto-imagens digitais, a ortorretificação é realizada por meio de transformações matemáticas sobre as coordenadas instrumentais da imagem origem (posição do *pixel* - linha e coluna). Saraiva (2003) explica que, para a ortorretificação de imagens geo-orbitais, são empregadas as equações: transformação afim paralela, transformação linear direta (DLT), *rational polynomial* (razão de polinômio). Especificamente para a ortorretificação da Imagem de alta resolução, foi desenvolvido pela *PCI Geomática* o módulo *orthoengine*, que utiliza o modelo rigoroso, modelo matemático desenvolvido por Toutin (1992).

A existência da altimetria restituída no mapeamento 1:10000 realizado pelo IGA e a existência dos dados de apoio de campo para ajustamento da imagem permitem a realização da ortorretificação da imagem, utilizando o módulo *orthoengine*. Conforme o mapeamento original, o sistema de projeção a ser utilizado será o UTM, fuso 23, e a definição de *datum* será o SIRGAS2000. O modelo digital de terreno será gerado a partir de vetores da altimetria restituída no mapeamento. Os pontos de controle no terreno (*ground control points* - *GCP*), serão os pontos utilizados para a aerotriangulação da restituição executada no mapeamento, cujas posições nos sistemas de coordenadas de imagem e de terreno (x, y e z) já são conhecidas. Após a ortorretificação da imagem, outros pontos da imagem serão objeto de análise e verificação de resíduos do ajustamento.

Após esses procedimentos, a imagem ortorretificada será utilizada como plano de textura para o mapeamento vetorial a ser atualizado, complementando-se as feições de terreno não constantes no mapeamento original. Tal vetorização será feita nos planos de informação, conforme mapeamento original, necessitando de edição vetorial posterior e lançamento de toponímia correspondente em tabela de atributos existente no mapeamento.

O levantamento da toponímia relativa às feições atualizadas será objeto de trabalho de campo, posteriormente à vetorização e edição das feições. O produto da atualização cartográfica proposta será um conjunto de arquivos vetoriais correspondentes ao conjunto original, acrescidos dos elementos cartográficos vetorizados e editados a partir da imagem

digital ortorretificada, acrescidos de tabelas de atributos correspondentes às novas feições, conforme formatado no banco de dados original do mapeamento.

A opção pela edição e armazenamento no programa *Autodesk Land* se deu em função da arquitetura do programa, que permite a configuração personalizada do sistema de projeção do mapeamento. Assim, os sucessivos refinamentos do elipsóide e as atualizações do ITRS que advierem, poderão ser configurados no sistema, sem perda da qualidade posicional original do mapeamento.

As feições restituídas e armazenadas amarram-se a um sistema de atributos e sua futura utilização por sistema de informação geográfica. As camadas de informação, compatíveis com a escala, são: alagado, arruamento, aterro, barragem, canal, cemitério, corte, curso d'água, curva-de-nível intermediária, curva-de-nível mestra, ponto cotado, edificação, escola, estradas, ferrovia, hospital, igreja, limite distrital, limite municipal, limite municipal adjacente, linha de transmissão, lugar denominado, mancha urbana, massa d'água, mineração, ponte, povoado, rejeito de mineração, sede distrital, sede municipal, serra, subestação, talvegue, torre de telecomunicação, torre de transmissão, vala.

Para a impressão das cartas, foram criadas camadas de informações marginais: articulação, modelo fotogramétrico, selo, posição geográfica, informação cartográfica, legenda, escala, fonte, data, nomenclatura. Foram criadas, ainda, camadas cosméticas de informação gráfica, tendo em vista determinados elementos gráficos de impressão, atendendo às convenções e normas cartográficas vigentes no país, para símbolos e textos: altimetria, hidrografia, sede, lugar denominado e demais símbolos e textos relativos a elementos pontuais.

A articulação das cartas do mapeamento foi planejada com espaçamento de 2°30' em sentido Norte e de 3°45' em sentido Leste, respeitando a divisão da folha ao milionésimo. A área útil da carta corresponde a 30 km² de restituição, no caso das cartas completas.

6. Conclusão

A construção de uma cartografia básica em SIRGAS2000, atendendo ao sistema geodésico oficial estabelecido no país, já uma realidade possível. A maior dificuldade encontrada para a construção de uma cartografia em SIRGAS foi a inexistência de especificações e normas sobre o assunto, na época da publicação da Resolução IBGE N° 1/2005. A literatura básica pesquisada sobre o SIRGAS, para a construção deste mapeamento, baseou-se em teses e dissertações desenvolvidas na UFPR e USP, Dalazoana (2001), Costa (1999) e Rodrigues (2002).

Este foi o primeiro projeto de pesquisa em fotogrametria digital desenvolvido no IGA, no qual foi construída uma metodologia de trabalho em restituição digital. A metodologia empregada teve como características as dificuldades encontradas na realização da aerotriangulação, devido a grande variação altimétrica da área de estudo, com o fato agravante de o recobrimento aerofotogramétrico envolver lotes diferentes de vôos, realizados por diversas empresas e especificações diferentes de câmaras métricas. Outro fator de dificuldade relevante foi a digitalização matricial das aerofotos ter ocorrido em *scanner* gráfico de alta resolução, sem aplicação de modelos de correção das deformações do *scanner*. Comparações posteriores serão realizadas no IGA, após a aquisição de um *scanner* fotogramétrico, o que está previsto na implementação do laboratório de pesquisa em fotogrametria digital, projeto endogovernamental já aprovado pela FAPEMIG.

Esta pesquisa comprovou a viabilidade da construção de cartografia básica em SIRGAS2000, em respeito à legislação brasileira. Os demais produtores de cartografia que se depararem com dificuldades quanto aos programas e equipamentos que ainda não estejam configurados com os parâmetros do SIRGAS2000, devem contornar a situação utilizando

diretamente o WGS84, que, cartograficamente, se equivale ao SIRGAS2000. O fundamental é a comunidade cartográfica empreender esforços na construção de cartografia básica conforme o estabelecido pelo sistema geodésico brasileiro, vigente no país, não mais produzindo cartografia em sistemas obsoletos, subutilizando os recursos tecnológicos disponíveis e caracterizando desperdício de recursos financeiros.

Referência

Artigo em Revista:

TOUTIN, T.; CARBONNEAU, 1992. La création d'ortho-images avec mne: description d'un nouveau système. **Canadian Journal of Remote Sensing**. 18 (3): p.136-141.

Teses:

CARVALHO, L. D. **Análise das técnicas GPS para os posicionamentos estáticos e cinemáticos em bases curtas**. 1999. 139p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999.

COSTA, S. M. A. **Integração da Rede Geodésica Brasileira aos sistemas de referência terrestres**. 1999. Curitiba, 1999. 157 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

DALAZOANA, R. **Implicações na cartografia com a evolução do sistema geodésico brasileiro e a futura adoção do SIRGAS**. 2001. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

RODRIGUES, D. R. **Rede geodésica de precisão no Estado de Minas Gerais: avaliação de diferentes estratégias de processamento e ajustamento**. 2002. 223p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

SARAIVA, C.C.S.. **Integração de imagens de alta resolução, IKONOS e fotografia aérea por meio da monorrestituição digital para a atualização cartográfica de mapas municipais na escala de 1:25000**. 2003. 208p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

Relatórios técnicos:

NIMA – National Imagery and Mapping agency - Department of Defense. **World geodetic system 1984**. NIMA TR 8350.2, Third Edition, 1997. 171 p.95

Referência de Internet:

BRASIL. Presidência da República. **Decreto Nº 5.334**, de 6 de janeiro de 2005. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislacao/NDecreto_5334_06jan2005.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2006.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução da presidência. R.PR 1/2005**, de 25 de Fevereiro de 2005. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislacao/RPR_01_25fev2005.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2006.