

SÉRIE EM GEOMÁTICA
VOLUME 2

**10 ANOS DO CURSO DE
ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
DA UFRGS**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Geociências
Laboratório de Pesquisas em Geodésia

Editores

Sérgio Florêncio de Souza
Marcelo Tomio Matsuoka

Patrocínio
Pró-Reitoria de Graduação

Editora
Instituto de Geociências, UFRGS
Porto Alegre, RS
2008

UNIVESIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

REITOR

Carlos Alexandre Netto

VICE-REITOR

Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DIRETOR

José Carlos Frantz

VICE-DIRETOR

André Sampaio Mexias

LABORATÓRIO DE PESQUISAS EM GEODÉSIA

COORDENADOR

Marcelo Tomio Matsuoka

VICE-COORDENADOR

Sérgio Florêncio de Souza

CAPA

Mario Luiz Lopes Reiss

Elen Marten de Lima

Vinicius Melgarejo Montenegro Silveira

10 Anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS/ Editores Sérgio Florêncio de Souza; Marcelo Tomio Matsuoka. – Porto Alegre : UFRGS/ IG/LPG, 2008. (Série em Geomática), v.2.
123 p..il.

ISBN: 978-85-61424-03-9

Obra produzida pelo Laboratório de Pesquisas em Geodésia e Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em comemoração aos 10 anos do Curso de Engenharia Cartográfica.

1. Geomática. 2. Geodésia. I. Souza, Sérgio Florêncio de. II. Matsuoka, Marcelo Tomio. III. UFRGS/IG/Laboratório de Pesquisa em Geodésia. IV. Série. V. Título.

CDU 528

Catalogação na Publicação

Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grun CRB 10/1113

SUMÁRIO

PREFÁCIO / V

APRESENTAÇÃO / IX

RELATOS HISTÓRICOS E O CURSO / 01

A ENGENHARIA CARTOGRÁFICA NA UFRGS / 03

HISTÓRIA DA CARTOGRAFIA NO RIO GRANDE DO SUL / 11

HISTÓRICO DO DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA DA UFRGS / 21

CONTRIBUIÇÕES DA UFRGS / 27

EFEITOS DA IONOSFERA NAS OBSERVÁVEIS GPS E NO POSICIONAMENTO POR PONTO NA REGIÃO BRASILEIRA: Revisão e SÍNTese DAS INVESTIGAÇÕES REALIZADAS / 29

POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO COM RECEPTOR GPS DE NAVEGAÇÃO / 39

APLICAÇÕES DO TESTE DE FILLIBEN PARA AVALIAÇÃO DA NORMALIDADE DE AMOSTRAS / 44

RELATO DAS PESQUISAS REALIZADAS NO CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA/UFRGS COM DADOS DOS PROGRAMAS CBERS (SATÉLITE SINO-BRASILEIRO DE RECURSOS TERRESTRES) / 49

O POTENCIAL DA FOTOGRAFETRIA NA UFRGS. / 55

SOBRE O NOVO MODELO DO GEOPOTENCIAL EGM2008 / 67

CONTRIBUIÇÕES EXTERNAS / 75

POSICIONAMENTO GPS BASEADO EM REDES UTILIZANDO O CONCEITO DE ESTAÇÃO VIRTUAL: ANÁLISE DOS REQUISITOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS / 77

TENDÊNCIAS INTERNACIONAIS DO CADASTRO E PERSPECTIVAS PARA O CADASTRO BRASILEIRO / 85

EXTRAÇÃO SEMI-AUTOMÁTICA DE FEIÇÕES PLANAS A PARTIR DE DADOS LIDAR PARA O CÁLCULO DE PONTOS DE APOIO FOTOGRAFÉTRICO / 93

A FORMA DA TERRA-A EVOLUÇÃO NO SEU CONHECIMENTO / 101

O MERCADO DE TRABALHO DO ENGENHEIRO CARTÓGRAFO NO BRASIL E A SITUAÇÃO DOS EGESSOS DA UFRGS / 111

UMA ABORDAGEM CRÍTICA DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO TOPOGRÁFICO BRASILEIRO / 119

PREFÁCIO

A implementação do curso de Engenharia Cartográfica em 1997 teve um significado inédito para a sociedade do conhecimento no Rio Grande do Sul, a qual se caracterizou pela vanguarda e pioneirismo na Cartografia, sediando desde o Século XIX a 1^a Divisão de Levantamentos Cartográficos do Exército (1^a DL).

As atribuições e competências dos profissionais em forma resumida atendem a demandas sobre: coordenação técnica de projeto cartográfico. Perícia, laudo, arbitramento. Projeto e execução de levantamentos. Serviços geodésicos com controle de qualidade. Estas atribuições, ainda são mais significativas quando os Artigos 182 e 183 do Capítulo II, do Título VII da Constituição Federal de 1988, cria uma série de critérios para o aprimoramento da gestão urbana. O quadro de inserção no momento representava um forte impacto em virtude do potencial de produtos e serviços que seriam objeto da atuação profissional para uso da sociedade de forma plural. Associado a outros preceitos constitucionais, oportunamente incorporados à carta Magna em 1988, tínhamos a certeza de estar colaborando para a integração de profissionais adequados para as novas necessidades da sociedade brasileira.

Até o final do século XX, existia uma série de situações de envolvimento dos profissionais com as diferentes dimensões do Mercado, quer seja em nível local, regional e global. A implementação do curso foi identificada pela importância que revestia para a sociedade, colocar profissionais para atender as demandas de uma sociedade na busca da gestão ambiental e social de forma sustentável, na qual o profissional plural (que atende as demandas do conjunto da sociedade) é o eixo no exercício da cidadania e da inserção das políticas sociais.

O inicio do Século XXI nos coloca de face com a dura realidade de uma nova inserção social, que é a estruturação numa sociedade de mercados, a qual se exige de colocar o homem como centro das situações de equilíbrio e procura alicerçar a atuação de toda a humanidade a partir das estruturas de mercado. Esta situação de assimetrias tão antagônicas traz como consequência, a mudança do relacionamento de uma nova estrutura da sociedade a partir de setembro de 2001.

Pela primeira vez a figura do Cartógrafo tem conotação global, ele é colocado como protagonista em todos os sistemas de informação, e tem como premissa estabelecer uma série de atividades, dentro de sua atribuição para contribuir com as relações internacionais. Para o cidadão normal, passa de ser um simples executor de produtos (mapas e cartas temáticas), a protagonista pela ordem e a paz global. A Engenharia Cartográfica e o Cartógrafo deixam de ser uma profissão e profissional desconhecidos para a aldeia global.

Concomitantemente, desde as primeiras aplicações dos levantamentos de precisão com o uso de fotografias aéreas desde o inicio do século XX, a evolução tecnológica foi incorporando a cada dia novos desafios profissionais.

Em virtude das expectativas de atuação e de mercados futuros, era fundamental, para ampliar o conceito de soberania nacional e de interação social, a consolidação do curso de Engenharia Cartográfica, no seio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela dimensão da mesma como uma das mais importantes do país e das 10 mais importantes da América Latina.

Procurou-se que o perfil do profissional aborda-se no âmbito local a formulação de grupos de consultoria “terceirizados” para empresas e/ou pelo atendimento de pequenas demandas. Incluindo a Inserção em projetos de Medicina Familiar e Ensino a distância entre outros. Regionalmente era necessária a participação em processos cuja maior demanda estava vinculada ao posicionamento e georeferenciamento para municípios, bacias de integração e também com a colaboração para a redução de custos operacionais para empresas de logística e/ou de distribuição/produção. Isto também tinha como ênfase num Estado de alto poder produtivo do agronegócio, gerar competências para auxiliar no controle de pragas e de doenças em geral, bem como na produção de alimentos e sua relação com o mercado. Globalmente era imprescindível o domínio de tecnologias de posicionamento e controle em: áreas estratégicas (energéticos e águas superficiais e subsuperficiais); relação de movimentos de produtos e serviços e mudanças climáticas.

O país ao longo de muitos anos careceu de políticas públicas adequadas para o desenvolvimento sustentável e de forma a atingir aos anseios da sociedade. Após uma importante atuação do setor do governo na área de ciência e tecnologia entre o período 1950-1980, chegamos ao colapso do sistema de inovação tecnológica. O Governo Federal a partir de 2003 reestrutura o sistema de ciência, tecnologia e inovação, sobre as bases criadas pela formulação dos Fundos Setoriais. Recentemente no inicio de 2007 o Governo Federal lançou o Programa de Aceleração do Crescimento 2007/10. O PAC é um conjunto de regras, compromissos de ação e diretrizes de governo, que objetivam um crescimento econômico de 5% ao ano no período, inaugurando uma nova fase na política econômica do Governo, recolocando na agenda do País a temática do crescimento.

As metas propostas pelo PAC envolvem uma expansão significativa da taxa de investimentos. A maior parte desse esforço recairá, obviamente, sobre o setor produtivo privado. A parte econômica do Programa aprofunda alguns desses fatores e adiciona novos ingredientes à dinamização do crescimento, apoiando-se em três pilares:

i) uma programação maciça de investimentos em infra-estrutura logística (rodovias, ferrovias, portos), geração de energia e infra-estrutura social (saneamento e habitação), com forte participação das Empresas Estatais e Bancos Públicos; dando suporte à continuidade e aprofundamento das políticas inclusivas;

- ii) um conjunto de incentivos tributários e financeiros ao setor privado, complementado por arranjos institucionais voltados para o estabelecimento de regras estáveis e condições de segurança jurídica ao investimento privado na indústria e na infra-estrutura;
- iii) um arranjo de compromissos de políticas fiscal e monetário até 2010, tendo em vista viabilizar o financiamento do programa de investimento público e tornar consistente macroeconomicamente o programa de crescimento, o dispêndio público e a estabilização de preços.

À parte esse conjunto de compromissos de ação da política econômica, sinaliza-se indiretamente com a manutenção da política social de Estado – Previdência, Assistência, Saúde e Educação Básica, dentro do marco normativo da proteção dos direitos sociais básicos. Assume-se, por outro lado, uma reforma da previdência de longo prazo, ajustada às tendências demográficas de aumento da longevidade, bem com uma política de reajuste do salário-mínimo até 2011, calcada no crescimento real da economia.

Nesse contexto consideramos que a estrutura da formação profissional que hoje executamos, está em plena consonância com as políticas de Estado, considerando que estamos colaborando de forma eficiente na formação de cidadãos que tem como objetivos atender demandas plurais da sociedade brasileira e do marco legal do qual nos inserimos (ONU, OEA, OMC, OCDE entre outras).

Desta forma consideramos que esta obra a qual foi cuidadosamente estruturada pelos Professores Sergio Florêncio de Souza e Marcelo Tomio Matsuoka, representa um valioso apporte para consolidar as bases históricas da estruturação do curso de Engenharia Cartográfica no âmbito do Departamento de Geodésia no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aguardamos pelo sucesso de nosso legado, na construção de uma geração de profissionais em defesa de uma sociedade mais solidária e com a procura de colaborar nas políticas inclusivas, tão importantes para a soberania de nossa nação.

Porto Alegre, dezembro de 2008.

Dr. Ricardo Ayup Zouain
Professor Associado
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

APRESENTAÇÃO

Este livro consolida um corpo de idéias e esforços conjuntos dos pesquisadores do Laboratório de Pesquisas em Geodésia. Essas idéias e esforços resultaram no Seminário Anual de Pesquisas em Geodésia da UFRGS e na publicação da Série em Geomática, tendo como principal objetivo a divulgação de pesquisas contendo aspectos inovadores e contribuições científicas relevantes para a área de Geodésia, com foco nas pesquisas do Instituto de Geociências da UFRGS.

Nesse segundo volume da Série em Geomática comemoram-se os 10 anos de criação do Curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS, onde contamos com a colaboração de participantes internos e externos à nossa Universidade. O livro está dividido basicamente em três partes. Na primeira parte são apresentados capítulos referentes a assuntos históricos sobre o Curso de Engenharia Cartográfica, do Departamento de Geodésia e da Cartografia no Estado do Rio Grande do Sul. Na segunda parte estão os capítulos sobre temas de pesquisa relacionados com os Professores vinculados com o Curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS. Por fim, concluindo de forma especial, são apresentados os capítulos elaborados por pesquisadores externos à UFRGS, abordando temas atuais em diferentes áreas de atuação da Engenharia Cartográfica. Eles foram convidados de tal forma que tivessem representantes das diferentes especialidades da Engenharia Cartográfica e de diferentes Universidades brasileiras.

Gostaríamos de agradecer a todos que colaboraram com a publicação deste Livro Comemorativo, tornando possível dar continuidade à Série em Geomática.

Os Editores

RELATOS HISTÓRICOS E O CURSO

A ENGENHARIA CARTOGRÁFICA NA UFRGS

Francisco Humberto Simões Magro¹

¹ Professor Titular Aposentado do Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {magro@qbnet.com.br}

RESUMO: A Comunidade Cartográfica está festejando os dez anos do ingresso da primeira turma no Curso de Graduação da Engenharia Cartográfica na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O fortalecimento do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica passa por uma perfeita integração entre o Profissional, Sociedade e Universidade.

Palavras chaves: Engenharia Cartográfica, Histórico, UFRGS.

1. INTRODUÇÃO

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul está comemorando os dez anos da implantação do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica. A implantação de um Curso de Graduação é um processo que depende de variáveis técnicas e políticas. Vão-se apresentar algumas dessas variáveis e a sua importância numa tríade constituída pelo Profissional, pela Sociedade e pela Universidade. Acredita-se que ao se festejar esta efeméride e se fazer o registro da importância da inter-relação desta tríade se está colaborando para o fortalecimento do Curso de Graduação de Engenharia Cartográfica na UFRGS.

2. UM POUCO DE HISTÓRIA

"Artur de Sá e Menezes. Amigo. Eu El Reis envio muito saudar. Por ser conveniente a meu serviço: Hei por bem que nessa Capitania em que ha engenheiro haja aula, em que ele possa ensinar a Fortificação havendo nela tres Discípulos de partido. Os quais serão pessoas que tenham a capacidade necessaria para poderem aprender. E para se aceitarem: terão ao menos dezoito anos de idade. Os quais, sendo soldados, se lhes dará alem do seu soldo, meio tostão por dia: e não o sendo, vencerão só o dito meio tostão. E todos os anos serão

examinados; para se ver se se adiantam nos estudos e se tem gênio para eles porque quando não aproveitem pela incapacidade serão logo excluídos; e quando seja pela pouca aplicação, se lhes assinala tempo, para se ver o que se melhoram e quando se não aproveitem nele serão também despedidos. E quando haja pessoas que voluntariamente queiram aprender sem partido: serão admitidas, e ensinadas; para que assim possa nessa mesma Conquista haver engenheiros, e se evitem as despesas que se fazem com os que vão desse Reino, e as faltas que fazem ao meu serviço enquanto chegam os que se mandam depois dos outros serem mortos. De que me pareceu avisar-vos: para que tenhaes entendido a resolução que fui servido tomar neste particular. E esta ordem mandareis registar nas partes necessárias, e fareis com que se faça publicar para que venha a notícia de todos. Escrita em Lisboa a 15 de janeiro de 1699. Rei."

Essa é a cópia do primeiro documento oficial que se conhece referente à formação de engenheiros no Brasil. É uma carta régia de 15 de janeiro de 1699 de D. Pedro II (Príncipe Regente de 1667 a 1683 e vigésimo terceiro rei de Portugal de 1683 a 1706) ao Governador do Rio de Janeiro determinando a criação de uma aula de fortificação para a formação de engenheiros militares

e artilheiros. Nessa carta, o Rei D. Pedro II, manifestava o desejo de criar no Brasil-Colônia um Curso de Formação de soldados técnicos na arte de construção de fortificações, no intuito de promover a defesa da Colônia do ataque de outras Nações.

Senhor: o bacharel mestre João, físico e cirurgião de Vossa Alteza, beijo vossas reais mãos. Senhor porque, de tudo o cá passado, largamente escreveram a Vossa Alteza, assim Aires Correia como todos os outros, somente escreverei sobre dois pontos. Senhor: ontem, Segunda-feira, que foram 27 de Abril, descemos em terra, eu e o piloto do capitão-mor e o piloto de Sancho de Tovar e tomamos a altura do sol ao meio dia e achamos 56 graus, e a sombra era setentrional, pelo que, segundo as regras do astrolábio, julgamos estar afastados da equinocial por 17 graus, e ter por conseguinte a altura do pólo antártico em 17 graus, segundo é manifesto na esfera. E isto é quanto a um dos pontos, pelo que saberá Vossa Alteza que todos os pilotos vão tanto adiante de mim, que Pero Escolar vai adiante 150 léguas, e outros mais, e outros menos, mas quem diz a verdade, não pode certificar até que em boa hora cheguemos ao Cabo da Boa Esperança e ali saberemos quem vai mais certo, se eles com a carta, ou eu com a carta e com o astrolábio. Quanto, senhor ao sitio desta terra, mande Vossa Alteza trazer um mapa-mundo que tem Pero Vaz Bisagudo e por ai poderá ver Vossa Alteza o sitio desta terra; mas aquele mapa-mundo não certifica se esta terra é habitada ou não; é mapa-mundo antigo e ali achará Vossa Alteza escrita também a Mina. Ontem quase entendemos por acenos que esta era a ilha, e que eram quatro, e que de outra ilha vêm aqui almidias pelejar com eles e os levam cativos.

Quanto, Senhor, ao outro ponto, saberá Vossa Alteza que, acerca das estrelas, eu tenho trabalhado o que tenho podido, mas não muito, por causa de uma perna que tenho muito mal, que de uma coçadura se me fez uma chaga maior que a palma da mão; e também por causa de este navio ser muito pequeno e estar muito

carregado, que não há lugar para coisa nenhuma. Somente mando a Vossa Alteza como estão situadas as estrelas [do sul], mas em que grau está cada uma não o pude saber, antes me parece ser impossível, no mar, tomar-se altura de nenhuma estrela, porque es trabalhei muito nisso e por pouco que o navio balance, se erram quatro ou cinco graus, de modo que se não pode fazer, senão em terra. E quase outro tanto digo das tábuas da Índia, que se não podem tomar com elas senão com muitíssimo trabalho, que, se Vossa Alteza soubesse como desconservavam todos nas polegadas, riria disto mais que do astrolábio; porque desde Lisboa até às Canárias desconcertavam uns aos outros em muitas polegadas, que uns diziam, mais que outros, três e quatro polegadas, e outro tanto desde as Canárias até às ilhas de Cabo Verde; e isto, tendo todos cuidado que o tomar fosse a uma mesma hora; de modo que julgavam quantas polegadas eram, pela quantidade do caminho que lhes parecia terem andado, que não o caminho pelas polegadas.

Tornando, Senhor, ao propósito, estas Guardas nunca se esconderam, antes sempre andam em derredor sobre o horizonte, e ainda estou em dúvida que não sei qual daquelas duas mais baixas seja o pólo antártico; e estas estrelas, principalmente as da Cruz, são grandes quase como as do Carro; e a estrela que está em cima de toda a Cruz é muito pequena. Não quero alargar mais, para não importunar a Vossa Alteza, salvo que fico rogando a Nosso Senhor Jesus Cristo que a vida e estado de Vossa Alteza acrecente como Vossa Alteza deseja. Feita em Vera Cruz no primeiro de Maio de 1500: Para o mar, melhor é dirigir-se pela altura do sol, que não por nenhuma estrela; e melhor com o astrolábio, que não com quadrante nem outro instrumento. Do criado de Vossa Alteza e vosso leal servidor."

Essa é a carta enviada ao Rei D. Manuel I de Portugal, pelo Mestre João, astrônomo da frota de Pedro Álvares Cabral, dando-lhe a notícia da determinação da

latitude da Baía de Cabralia, em Porto Seguro. Embora essa determinação tenha se realizado a 27 de abril de 1500, com a mudança do calendário pelo Papa Gregório XIII em 24 de fevereiro de 1582 passa a ser o dia 6 de maio. No dia 6 de maio comemora-se o Dia do Cartógrafo em referência à data do mais antigo trabalho cartográfico registrado no Brasil.

O Brasil e o Estado do Rio Grande do Sul principalmente por ser limítrofe com outros países apresentam vários fatos históricos na área cartográfica. A título de exemplo e como consequência do Tratado de 1750 assinado pelas Cortes de Lisboa e Madrid, que pretendia a troca da Colônia do Sacramento pelos 7 Povos de Missões, veio ao Estado do Rio Grande do Sul, para realizar as demarcações de limites fronteiriços, o general Gomes Freire de Andrade que embora não tenha atingido os objetivos do tratado, promoveu grande desenvolvimento na Região onde hoje está o município de Rio Pardo. Anulado o Tratado de 1750, as cortes de Lisboa e Madrid, em 1º de outubro de 1777 assinam o Tratado de Santo Ildefonso com o objetivo de fazer as demarcações das duas colônias americanas. Em 11 de março de 1784, o Dr. José Saldanha, representando a corte portuguesa assenta o primeiro marco a 150 braças da embocadura do Chuí, em 13 o segundo marco na foz do arroio São Miguel e a 5 de abril assentou-se o terceiro marco meia légua distante da Palmeira Só todos, graças a determinações astronômicas permitindo a obtenção das coordenadas geográficas dos pontos. Tais fatos estão descritos e narrando inclusive ações de bravura na conquista e posse das terras do RS conforme pode ser visto nos Anais da Biblioteca Nacioanal do Rio de Janeiro, volume LI de 1929.

Em 27 de março de 1903 era criada em Porto Alegre a Comissão de Levantamento da Carta Geral do Brasil, que representou um primeiro passo de um mapeamento científico e sistemático no Território Nacional. Nesse empreendimento destacou-se a figura do Gen. Tasso Fragoso que iniciou a triangulação de primeira ordem do Rio Grande do Sul. Mais tarde, em 1917, foi fundado o Serviço Geográfico Militar, graças ao idealismo e pertinácia do Gen. Alfredo Vidal. Da fusão desses dois órgãos surgiu, em 1932, o Serviço Geográfico do Exército.

3. CURSOS SUPERIORES EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

De acordo com João Fernando Custódio da Silva, em "Necessidades e Expectativas do Engenheiro Cartógrafo", trabalho apresentado no 5º ENECART, realizado em Presidente Prudente em julho de 1988, o primeiro curso superior voltado para trabalhos cartográficos no Brasil parece ter iniciado em 17 de dezembro de 1792 com o nome de Engenharia Geográfica quando da fundação da Academia Real Militar, o qual funcionou até 1935.

Por outro lado, no Parecer 1.057/79 do Ministério da Educação e Cultura, constata-se que, a formação de engenheiros voltados para trabalhos cartográficos, em nível superior, teve início no século XIX, quando a Escola Politécnica do Rio de Janeiro fez as primeiras tentativas, a partir de 1875.

Entretanto, a primeira unidade de ensino superior a se dedicar, com êxito, à formação sistemática de engenheiros cartógrafos foi a Escola Técnica do Exército, atualmente Instituto Militar de Engenharia, primeiramente, a partir de 1941, com a incorporação do curso de Geodésia e Topografia, proveniente da extinta Escola de Geógrafos do Exército. Desde essa data, o Instituto Militar de Engenharia passou a formar e diplomar engenheiros para trabalhos cartográficos, com a finalidade principal de produzir cartas topográficas, especialmente engenheiros geógrafos e engenheiros de Geodésia e Topografia.

A rigor, depois de restaurado o regime universitário no País, a iniciativa da formação universitária de engenheiros cartógrafos coube à antiga Universidade do Estado da Guanabara em 1965. Atualmente, existem cursos de graduação em Engenharia Cartográfica na Universidade do Estado do Rio de Janeiro, no Instituto Militar de Engenharia, na Universidade Federal do Paraná, na Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, na Universidade Federal de Pernambuco e na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A Universidade Federal do Paraná mantém, desde 1971, um Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas em nível de mestrado e desde 1984 em nível de doutorado. O Instituto Militar de Engenharia tem entre os seus Programas de Pós-Graduação o de mestrado em Engenharia Cartográfica. A UNESP, Campus de Presidente Prudente tem o Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas com suas atividades iniciadas no mestrado em 1997 e no doutorado em 2002. No Instituto de Pesquisas Espaciais foi criado em 1972 o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e a partir de 1998 se estendeu ao Doutorado. Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul começou em 1990 o Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto oferecido pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia.

De acordo com Silva (2006) o número de Eng. Cartógrafos formados pelos cursos de Engenharia Cartográfica instalados no país em 2005 está na ordem de 1500 profissionais distribuídos por várias regiões e estados.

A criação do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica na UFRGS, depois de um processo longo de vários anos conseguiu os seus objetivos quando a partir de 1994 se desencadearam

estudos e discussões por meio de uma comissão de professores no Departamento de Geodésia. O Departamento de Geodésia apresentou o estudo realizado pela comissão de professores à Congregação do Instituto de Geociências que por unanimidade aprovou em 19 de abril de 1995.

Finalmente, o Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica foi criado oficialmente em 1995 pela Resolução nº 19/95 da Câmara de Ciências Exatas e Tecnologia do Conselho de Coordenação do Ensino e Pesquisa da UFRGS. E, a primeira turma com 20 alunos ingressou via vestibular em 1998. Em 2008 a comunidade cartográfica está festejando dez anos do ingresso da primeira turma no Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

4. RELAÇÃO DO CONHECIMENTO TÉCNICO E CIENTÍFICO COM O PROFISSIONAL

A resolução nº 08/79 do Conselho Federal de Educação caracteriza a habilitação Engenharia Cartográfica da área Civil do Curso de Engenharia. Essa resolução foi elaborada tendo como base o Parecer nº 1057/79, homologado pelo Senhor Ministro da Educação e Cultura, e as normas estabelecidas pelas Resoluções nº 48/76 e nº 50/76 daquele Conselho.

No Parecer nº 1057/79 pode-se constatar que a formação de Engenheiros Cartógrafos no Brasil tem seguido a orientação da Associação Cartográfica Internacional, reconhecida por todos países do mundo, especialmente para a escolha de matérias e disciplinas dos cursos de graduação.

A referida associação internacional define a Cartografia como sendo "o conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, que tendo por base os resultados das observações obtidas pelos métodos e processos diretos, indiretos ou subsidiários de levantamento ou da exploração de uma documentação existente, destinam-se à elaboração e à preparação de mapas, plantas e outras formas de expressão, assim como a sua utilização, conforme pode ser visto no Parecer nº 1057/79.

De conformidade com essa definição, podem ser estabelecidas três fases distintas para o desenvolvimento dos trabalhos cartográficos:

a) a coleta de dados, realizada no campo ou com a utilização de plataforma aérea (aeronaves e satélites) ou de embarcações, bem como em gabinete quando se trate de documentação pré-existente;

b) o processo e a interpretação dos dados, feitos em gabinete, onde esses dados coletados são filtrados, hierarquizados e processados, de maneira a se tornarem informações de natureza técnico-científica definida;

c) a visualização e reprodução das informações, onde se processa o preparo para a impressão e a reprodução dos originais cartográficos.

O engenheiro cartógrafo deve se fazer presente nas três fases acima, com a participação de profissionais de outras áreas, nas atribuições de planejar, organizar, especificar, projetar, orientar, dirigir e fiscalizar a execução das tarefas indispensáveis à produção de cartas de qualquer espécie. Por cartas de qualquer espécie deve-se entender as seguintes:

a) **Topográficas** - destinadas à representação fiel e precisa, de acordo com as normas e convenções inerentes às diversas escalas, dos diversos aspectos naturais e culturais da superfície terrestre;

b) **Temáticas** - orientadas para a representação espacial de um tema específico (Geologia, Pedologia, Uso do solo Rural, Uso do solo Urbano, Transporte, etc);

c) **Especiais** - voltadas para a visualização de um determinado assunto e que têm destinação imediata e específica, como, por ex., o conjunto de cartas aeronáuticas (aproximação por instrumentos, de obstáculos, de pilotagem, de zona de proteção de aeródromo, de subida, de descida, de rádio-navegação, de pouso, de tráfego, etc).

Consideradas essas espécies de cartas, a formação profissional do engenheiro cartógrafo terá de se desenvolver, além da formação básica e da formação geral necessária para quaisquer cursos e profissionais de Engenharia, ciências tais como Astronomia, Geodésia, Topografia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Geofísica e outras, bem como métodos, processos e equipamentos inerentes às três fases em que se desenvolvem os trabalhos cartográficos. Desta forma, o perfil profissional do engenheiro cartógrafo abrange diferentes atribuições e tarefas relacionadas com as três fases dos trabalhos cartográficos, a saber:

Coleta de Dados - O engenheiro cartógrafo, pela sua formação, deverá estar capacitado a planejar, organizar, especificar, projetar, orientar, dirigir e fiscalizar a execução de:

a) redes geodésicas e de seus adensamentos;

b) astronomia de posição;

c) apoio topográfico e coleta de topônimos necessários à elaboração de cartas de qualquer espécie;

d) redes gravimétricas, e de seus adensamentos, visando o estudo e a determinação da forma da Terra e de seu campo gravitacional;

e) aquisição direta, indireta ou subsidiária de todos os dados e informações a serem utilizados, na preparação de cartas de qualquer espécie, incluídos o levantamento fotogramétrico e o sensoriamento remoto.

Processamento e Interpretação de Dados - O engenheiro cartógrafo deverá também ter uma formação que o habilite a planejar, organizar, especificar, projetar, orientar, dirigir e fiscalizar a execução de:

a) processamento de dados referentes ao cálculo e ajustamento de triangulações, poligonizações, nivelamentos, determinações gravimétricas, triangulações fotogramétricas e todos aqueles procedimentos necessários à transformação digital ou analógica dos dados coletados bem como sua compatibilização para emprego na elaboração de cartas de qualquer espécie;

b) interpretação de imagens em formação fotográfica ou codificadas por outros processos, empregando procedimentos visuais ou digitais, necessária à elaboração de cartas de qualquer espécie.

Visualização e Reprodução das Informações

- O engenheiro cartógrafo deverá estar apto, pela sua formação, a planejar, organizar, especificar, projetar, orientar, dirigir e fiscalizar o preparo para a impressão e a reprodução de originais cartográficos de qualquer espécie, incluindo os dados marginais esclarecedores do conteúdo da documentação cartográfica, e o sistema de projeção, a escala, os símbolos e convenções, os títulos e legendas, assim como os elementos relativos ao acabamento e à apresentação final, tais como molduras, cores, formato, corte, material, tiragem, dobragem, embalagem e distribuição.

Outras Tarefas do Engenheiro Cartógrafo

O engenheiro cartógrafo deverá estar preparado também para várias outras tarefas, embora sem exclusividade tais como, entre outras, as seguintes:

a) elaborar orçamentos e apropiar custos de todos os trabalhos relacionados com a cartografia;

b) assessorar os usuários na utilização de documentação cartográfica de qualquer natureza;

c) dirigir organizações ou instituições executoras de cartas;

d) assessorar as organizações técnico-científicas do País na solução dos problemas nacionais, promovendo e dirigindo estudos e pesquisas relacionadas com a sua habilitação profissional;

e) proceder aos trabalhos de elaboração e preparação de cartas relativos à especialidade, tendo em vista as peculiaridades de seu uso e aplicação em setores tais como rodovias, ferrovias, linhas de transmissão de

energia elétrica e microondas, usinas hidrelétricas, sistemas de drenagem e irrigação, planos urbanísticos, etc;

f) executar perícias, vistorias, exames, inspeções, arbitragens e avaliações relacionados com a sua especialização.

g) emprender estudos astro-físicos, relacionados com a sua especialidade, incluindo o cálculo de trajetórias de satélites artificiais cartográficos ativos ou passivos, e o seu rastreamento.

5. MERCADO PROFISSIONAL

O povo que palmilha o caminho do progresso, buscando sempre uma vida de nível qualitativamente mais elevado, exigirá que um percentual maior de sua energia seja destinado à produção e ao consumo de conhecimento. A exemplo disso, nos últimos anos, a população brasileira tem procurado nos bancos das universidades o conhecimento técnico científico como uma alternativa para a formação de mão-de-obra altamente qualificada. Fontes dos últimos Censos Demográficos de 60, 70, 80 e 97 mostram que da população economicamente ativa 1,3%, 1,8%, 2,3% e 5,8% tem curso superior. Esses índices deixam muito a desejar se comparados a países com o mesmo nível de desenvolvimento do Brasil.

Quando se implanta um curso numa Universidade há sempre a preocupação paternalista de como o mercado de trabalho irá absorver a mão-de-obra egressa da mesma. Entretanto, essa não deve ser a problemática desta Universidade, visto que, os bons técnicos são fontes criadoras de mercado com a produção de serviços e o despertar de necessidades na sociedade. Aquele que tem condições de vir a ser um bom profissional tem como objetivo imediato ingressar num centro de excelência que ofereça o curso de sua preferência. Neste quadro de valores, a Universidade deve apenas se preocupar em oferecer cursos de alto nível que sejam reconhecidos a nível nacional e internacional. Se isto for conseguido então, ter-se-á certeza que os investimentos que a sociedade faz na universidade retornará a ela sob a forma de melhoria da qualidade de vida.

Entretanto, parece oportuno salientar, que na constituição brasileira no Título VII - Da Ordem Econômica e Financeira, Capítulo II - Da Política Urbana, está escrito o seguinte:

Art. 182 A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes.

§ 1 - O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

Nesse artigo e parágrafo verifica-se um fortalecimento e uma grande importância dos governos municipais dentro do desenvolvimento nacional, sendo necessário um planejamento municipal adequado para a elaboração e execução do plano diretor.

Além das informações sócio-econômicas, fundamentais ao planejamento, é necessário que estas sejam relacionadas com a verdade terrestre e também atualizadas. A maneira de se conseguir manter as informações espacialmente referenciadas atualizadas é por meio do cadastro. O cadastro técnico é o instrumento capaz de permitir o gerenciamento das ações planejadas, tendo por base a propriedade ou lote cadastral.

Entretanto, estabelecer um cadastro técnico não é uma tarefa simples, porque além de exigir decisão política necessita de recursos humanos e técnicos adequados, entre os quais, o engenheiro cartógrafo. Com relação a isto, observa-se que os cadastros geralmente não passam da fase pré-cadastral, ou seja, da coleta dos dados, ou, em alguns casos, atingem um estágio elementar onde são satisfeitas, por algum tempo, aquelas necessidades básicas para as quais foram concebidos. Isto ocorre porque no País falta engenheiros cartógrafos para o gerenciamento de um cadastro técnico.

Uma vez que o financiamento e a informação atualizada são os dois instrumentos básicos para qualquer ação pública e o cadastro técnico integra ambos, porque, por um lado, aperfeiçoa o sistema de tributação e reduz gastos públicos e, por outro lado, permite a integração de informações em um banco de dados com múltiplos propósitos, é fácil concluir a importância do cadastro técnico como base para o planejamento municipal.

A mesma constituição ao tratar do sistema tributário nacional assim estabelece:

Art. 153 – compete à União instituir impostos sobre:

VI – propriedade territorial rural;

§ 4º - O imposto previsto no inc. VI do caput:

III – será fiscalizado e cobrado pelos Municípios que assim optarem, na forma da lei, desde que não implique redução do imposto ou qualquer outra forma de renúncia fiscal.

Este inciso, parágrafo e art. da Constituição Federal já foram regulamentados pela Lei nº 11.250 de

27.12.2005. Isto quer dizer que os Municípios poderão fazer o cadastro rural bem como fazer a cobrança do respectivo imposto. Evidentemente que isso envolve atividades de natureza cartográfica, onde o profissional do Eng. Cartógrafo é fundamental. entar a base de arrecadação sem aumentar impostos. O cadastro rural está aos cuidados do INCRA. Mas os Municípios se desejarem poderão chamar para si a responsabilidade para execução e cobrança do respectivo imposto. Esta é uma forma de a lei

Quando o Poder Público Municipal do País tomar consciência da sua importância e responsabilidade para o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes, se é que já não tomou, terá que admitir em seus quadros funcionais técnicos com a habilitação em Engenharia Cartográfica. Quando isso ocorrer, não haverá no País Engenheiros Cartógrafos em número suficiente para o gerenciamento de um Cadastro Técnico Urbano e Rural. Essa função passará a ser exercida pelas empresas que, por falta de tempo, apenas instalam um Cadastro Técnico num município e não fazem a atualização do mesmo, levando-o à desatualização e à ineficácia em um intervalo de tempo muito pequeno, devido à dinâmica da sociedade como um todo. Essa inoperância das empresas deve-se ao fato da sua capacidade de oferta de prestação de serviços ser muito pequena se comparada com as necessidades nacionais. O Brasil tem em seu território muito para se fazer em termos de cadastro rural e urbano e este é um serviço que não se esgota, pelo contrário se renova.

6. TRÍADE PROFISSIONAL, SOCIEDADE E UNIVERSIDADE

O Profissional por meio do pensamento, do sentimento e da ação alcançará a realização e o progresso. Somente o perfeito equilíbrio entre pensamento, sentimento e ação será possível alcançar um progresso eficaz e eficiente.

A Universidade dentro de sua missão tem por finalidade a educação superior e a produção de conhecimento filosófico, científico, artístico e tecnológico, integradas no ensino, na pesquisa e na extensão.

A Sociedade oferece as demandas de trabalho. Essas demandas precisam ser atendidas e de forma competente. A UFRGS na formação dos Engenheiros Cartógrafos objetiva o seguinte:

1. Uma forte formação científica para que possa despertar o espírito de cientista e com isto, no futuro desenvolver pesquisas no campo da Geodésia, Cartografia, Sensoriamento Remoto e Fotogrametria;

2. Uma boa formação profissional que o habilite a planejar, a projetar, a construir, a supervisionar e

controlar, as três fases distintas para o desenvolvimento dos trabalhos cartográficos:

a) a coleta de dados espaciais, no campo ou em gabinete, utilizando ferramentas de Topografia, Geodésia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento;

b) o processo e a interpretação dos dados, feitos em gabinete, onde estes dados são processados de maneira a se tornarem informações de natureza técnico-científica definidas;

c) a visualização e reprodução das informações, onde se processa o preparo para a impressão e a reprodução dos originais cartográficos.

3. Uma boa formação como cidadão, que como tal deverá ser capaz de solucionar os problemas cartográficos surgidos na sociedade, e que atue de forma integrada com equipes multi-disciplinares, na busca da melhor solução para representação das informações espaciais.

E, certamente isso é o que estão fazendo os Egressos Eng. Cartógrafos que a seguir listamos, porque eles são o motivo de todo este trabalho:

Carlos Aluisio Mesquita de Almeida

Cláudio Bielinki Júnior

Liciane Estela Souza Nunes

Rodrigo Salomoni

Adriano Salviano

Daniel Goldani

Rafael Santos Genro

Alexandre de Paula Alves

Leandro Salin Andrés

Rafael Pereira Zanardi

Lisandro Salin Andrés

Felipe Geremia Nievinski

Adriano Gonçalves da Silva

Aline Gomes da Silva Druzina

Hilário Braz Medeiros

Marco Antônio de Oliveira Vieira

Rafael Fiorott de Oliveira

Raquel Rodde da Silva

Vivian da Silva Celestino

Alberto Henrique Schneider

Christiane da Silva Santos Salomoni

Douglas Schmatz Mallmann

Giovani Castolldi

Leonardo Monteiro Brys

Marcos Carlos da Silveira

Paula Debiasi

Bernardo Balinhas Chiodelli

Ildo Parnow

Luciana Regina Bencke Diaz

Lúcio Mauro de Lima Lucatelli

Luiz Felipe Velho

Marcio Colares de Lemos

Vagner Conceição Nunes

Eduardo da Silva Valenti

Jefferson Luis Ferreira Martins

Tiago Rutsatz Salomoni

Wagner Ebbling Camargo

Carlos Alberto Theisen

Lauri Henrique de Mattos Bastos

Pedro Henrique Schuck

E os próximos que haverão de se formar....

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, J.F.C. 2006. Inovação tecnológica e o mercado de trabalho do engenheiro cartógrafo. *Boletim Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 12, n° 1, p.37-44.*

HISTÓRIA DA CARTOGRAFIA NO RIO GRANDE DO SUL

Ronaldo dos Santos da Rocha¹, Andrea Lopes Iescheck², Vivian da Silva Celestino³

¹ Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {ronaldo.rocha@ufrgs.br}

² Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {andrea.iescheck@ufrgs.br}

³Eletrosul – Centrais Elétricas do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, SC. - {vivian.celestino@eletrosul.gov.br}

RESUMO: A presente pesquisa tem como objetivo principal resgatar o desenvolvimento histórico da Cartografia no estado do Rio Grande do Sul. Este estudo foi realizado a partir do levantamento e da análise dos acervos bibliográficos e cartográficos, referentes aos temas relacionados à história e à cartografia do Rio Grande do Sul. O presente trabalho está estruturado de forma a apresentar os diversos acontecimentos que marcaram e que contribuíram para a evolução da cartografia no Estado. Cartografia da Fronteira Marítima, Cartografia Jesuítica, Cartografia Portuguesa no Brasil e Cartografia Imperial, são aqui relatadas, como também, a Cartografia do Século XX e a Cartografia Atual.

Palavras chaves: História da Cartografia, Cartografia no Rio Grande do Sul.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi elaborado para compor o *Livro de Comemoração dos 10 anos* de início da primeira turma do Curso de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e tem como objetivo principal resgatar o desenvolvimento histórico da Cartografia no estado do Rio Grande do Sul.

A pesquisa foi realizada a partir do levantamento e da análise dos acervos bibliográficos e cartográficos, referentes aos temas relacionados à história e à cartografia do Rio Grande do Sul. Os estudos se desenvolveram, principalmente, na biblioteca da 1ª Divisão de Levantamentos do Exército Brasileiro – 1ª DL – para consulta dos relatórios de campo e das planilhas de cálculos; no Departamento Autônomo de Estrada de Rodagem – DAER - para análise de relatórios e consulta aos acervos disponíveis; e no Departamento de Cartografia da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, para revisão do material bibliográfico e estudo do acervo cartográfico. Paralelamente, foram realizadas entrevistas com profissionais que atuam nos órgãos de cartografia do Estado, bem como com profissionais (pesquisadores) do Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.

A necessidade do conhecimento e do domínio do território – ou conhecimento **para** o domínio do território - faz parte da evolução humana. Esta evolução, observada nos mapas pelas diferentes formas de ocupação do espaço, reflete o processo histórico vivido.

Observou-se, no desenvolvimento desta pesquisa, que a história da cartografia do Rio Grande do Sul se confunde com história do Estado Gaúcho e, muitas vezes, com o próprio desenvolvimento histórico nacional. O presente trabalho está estruturado de forma a apresentar os diversos acontecimentos que marcaram e que, consequentemente, contribuíram para a evolução da cartografia no Estado, desde a “Cartografia da Fronteira Marítima”, datada de 1526, até a “Cartografia Atual”.

2. HISTÓRIA DO RIO GRANDE DO SUL

De acordo com CELESTINO *et al.* (2006), o Rio Grande do Sul, inicialmente chamado de Rio Grande de São Pedro, foi descoberto no início do século XVI devido à exploração do pau-brasil. Porém, a região só começou a ser explorada um século depois, pelos índios paraguaios catequizados pela Companhia de Jesus, que fugiam dos bandeirantes para não serem escravizados na zona açucareira de São Paulo. As reduções aqui formadas se chamavam do “Tape” e eram dirigidas pelos padres espanhóis. Os índios se dedicaram à agricultura e à criação do gado trazido de Corrientes, na Argentina. Por meados de 1640, depois do apresamento de muitos índios, os jesuítas abandonaram as reduções e o gado foi se espalhando e se criando xucro. Essa vacaria criada solta foi, então, chamada de “Bacaria del Mar”. Por volta de 1680, começaram os trabalhos dos primeiros tropeiros no carregamento do gado em direção a Minas Gerais.

Nesta mesma época, os portugueses fundaram nas margens do Rio da Prata, a Colônia de Sacramento.

A preia do gado alçado movimentou o extremo sul e os índios, que se julgavam donos do gado, começaram a voltar para a região do Rio Grande, fundando assim, os sete povos das Missões (São Borja, São Nicolau, São Miguel, São Luís Gonzaga, São Lourenço, São João Batista e Santo Ângelo). Os jesuítas separaram parte do gado que se encontrava ao sul e levaram-no para a região nordeste em uma nova reserva chamada de “*Bacaria dos los Pinhales*” (atual cidade de Vacaria). Além do gado, a base econômica os sete povos das missões era a produção de erva-mate.

Devido à distância entre Laguna (limite sul da antiga linha de Tordesilhas), fundada em 1676, e o Rio da Prata, e à abertura das vias de acesso pelos tropeiros, que até meados de 1730 praticamente extinguiram o gado xucro, a Coroa portuguesa considerou conveniente que o território do Rio Grande fosse ocupado. Iniciou-se, então, a distribuição de sesmarias e o estabelecimento de estâncias na região. Em Porto Alegre, Jerônimo de Ornelas foi o primeiro sesmeiro e habitou a região onde se localiza, atualmente, o Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Jerônimo de Ornelas recebeu sua área em 1740.

A região dos Sete Povos era considerada uma zona rica e ameaçadora. Por isso, em 1750, Monarquias Ibéricas assinaram o Tratado de Madrid, entregando os Sete Povos para Portugal e a Colônia de Sacramento à Espanha. Em 1752, os primeiros 60 casais de açorianos chegaram em Porto Alegre para ocupar a região dos Sete Povos, e ficaram alojados na sesmaria de Jerônimo de Ornelas, esperando a desocupação das reduções. Os índios se negaram a desocupar seus lotes, o que culminou na Guerra Guaranítica que durou de 1754 a 1756. Muitos índios foram massacrados, outros fugiram para o Paraguai e alguns foram levados para a região da Aldeia dos Anjos, em Gravataí, onde ganharam seus lotes de terra. Mas, com o passar do tempo, acabaram voltando para a vida nômade até a sua quase extinção. Alguns historiadores consideram a experiência da Aldeia dos Anjos como a primeira reforma agrária implementada no mundo.

Em 1760, o Rio Grande é elevado à condição de Capitania do Rio Grande de São Pedro, subordinado ao Rio de Janeiro. Vinte anos após sua chegada ao Porto dos Casais, em 1772, os açorianos foram alojados em glebas e fundou-se, então, a freguesia de Santa Madre de Deus de Porto Alegre. Em 1807, o Rio Grande do Sul é elevado à condição de Capitania independente do Rio de Janeiro, subordinado ao vice-Rei do Brasil.

3. A CARTOGRAFIA NO RIO GRANDE DO SUL

Acompanhando alguns fatos históricos, como guerras, disputas e conquistas, nota-se que a cartografia do Rio Grande do Sul teve seu desenvolvimento impulsionado pelas necessidades históricas.

O Prof. Gervásio Rodrigues Neves e a Historiadora Liana Bach Martins, do Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul, dividem o desenvolvimento histórico da cartografia do estado em quatro momentos distintos: Cartografia da Fronteira Marítima, Cartografia Jesuítica, Cartografia Portuguesa no Brasil e Cartografia Imperial. Pode-se agregar a estes momentos a Cartografia do Século XX e a Cartografia Atual.

3.1 Cartografia da Fronteira Marítima

Neste primeiro momento, a cartografia do Rio Grande do Sul era caracterizada pelo registro cartográfico do estado em mapas gerais, que mostravam uma região mais abrangente. Este registro foi documentado, em 1526, pelo Cartógrafo Diogo Alvarez, que retratou o litoral gaúcho, delineando a fronteira marítima. Nestes trabalhos, identifica-se a preocupação em caracterizar os pontos de referência entre Rio de Janeiro, Santos e Rio da Prata.

Os trabalhos cartográficos desta época já apresentavam os topônimos básicos do RS, como o Rio Mampituba, a foz do Rio Tramandaí, a barra do Rio Grande e o Rio Martin Afonso de Souza (Barra do Chuí) (MARTINS e NEVES, 2008). A figura 1 apresenta um exemplo de mapa referente a este período, o qual pertence ao acervo da Biblioteca de Lisboa, em Portugal.

Nota-se no mapa a identificação das características litorâneas, como a cidade do Rio de Janeiro-RJ, a baía da Ilha Grande-RJ, Santos-SP, São Vicente-SP, Paranaguá-PR, Ilha de Santa Catarina-SC, Rio Grande de São Pedro-RS, Rio de Martin Afonso de Souza (Chuí-RS), Rio da Prata e Colônia de Sacramento. Identifica-se ainda a Laguna dos Patos (no mapa sem descrição). Observam-se, também as características temáticas de representação da vegetação, como árvores do tipo *pinus* desenhadas na região da campanha, e o relevo representado pelos contornos de morros por todo o interior do continente.



Fig. 1 – Mapa mostrando o litoral do Rio Grande do Sul
Fonte: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.

3.2 A Cartografia Jesuítica

A cartografia jesuítica ocorreu em duas fases distintas, marcadas pela contribuição dos padres jesuítas no desenvolvimento da cartografia gaúcha e brasileira. A primeira fase deste período ocorreu entre os anos de 1635 e 1645. Como principal característica desta fase inicial, destaca-se o conhecimento e a descrição do interior do estado, especialmente das regiões jesuíticas, e, posteriormente, a sua estensão para todo o território do Rio Grande do Sul. É relevante ressaltar nesta etapa, a participação dos padres espanhóis, também matemáticos, que se dedicaram a cartografar a rede hidrográfica das bacias do Rio Uruguay e do Rio Jacuí.

Tanto no primeiro quanto no segundo momento da cartografia no Estado, os mapas eram considerados verdadeiras preciosidades e eram motivo de cobiça de todos os povos. Os mapas elaborados pelos Jesuítas eram reservadamente apresentados na Europa e, muitas vezes, apropriados por Franceses, Holandeses e Ingleses, que se utilizavam desta cartografia para desenvolver seus estudos.

Destacam-se, também, nesta fase inicial da cartografia jesuítica, os trabalhos desenvolvidos pelo cartógrafo Francês Guilherme D'isle, na elaboração de mapas do território do Rio Grande do Sul com características próprias. Alguns mapas desta época já apresentavam uma tematização da vegetação característica do local, identificando regiões de campos nativos de ervais no Rio Grande do Sul.

A figura 2 mostra um exemplar do mapa deste momento, caracterizado pelas estruturas cartográficas de representação de relevo e da vegetação. Este mapa apresenta a delimitação da região das Missões em sua primeira fase, com as bacias hidrográficas e a geografia do interior. Observa-se, no mesmo mapa, a representação dos ervais nativos, por meio de símbolos pontuais distribuídos sobre diversas regiões, e do relevo, a partir dos desenhos dos morros.

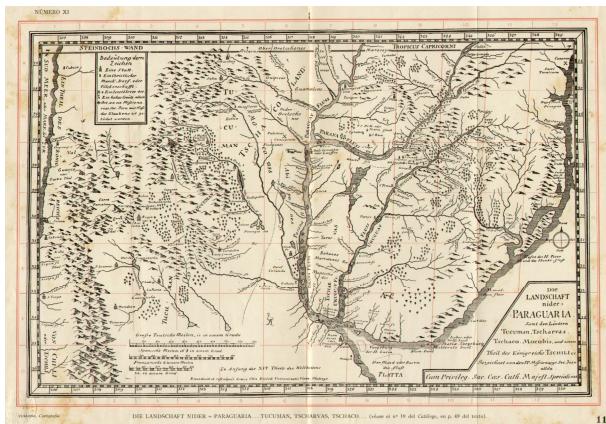


Fig. 2 - Mapa Jesuítico do século XVII

Fonte: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.

A segunda fase da cartografia jesuítica ocorreu a partir de 1680, com a criação do Povoado de Laguna -

"meio caminho" entre o Rio de Janeiro e a Colônia de Sacramento. Nesta oportunidade, a necessidade do conhecimento mais aprofundado a respeito da ligação entre Laguna e Sacramento, obrigou os cartógrafos a mapear o interior lagunar. Iniciou-se, assim, o estabelecimento dos caminhos terrestres do Rio Grande do Sul. São exemplos de produtos cartográficos desta época, os mapas que apresentavam o caminho dos tropeiros, margeando o litoral gaúcho e a ligação entre as lagoas. Nesta segunda etapa da cartografia jesuítica, destacam-se os cartógrafos Padre Luis Ernot e Padre Vicentio Carrafa, também espanhóis (MARTINS e NEVES, 2008).

3.3 A Cartografia Portuguesa no Brasil

A partir do início do século XVIII o Estado Português resolveu definir o limite de seus domínios na América do Sul. Remontam à esta época, portanto, as atividades desenvolvidas pelo Marquês de Pombal e por Alexandre de Gusmão.

Em 1723 foi assinado o tratado de UTRECH, entre Portugal e Espanha, e os mapas elaborados pelos cartógrafos portugueses e italianos apresentavam com maior grau de detalhamento a Lagoa dos Patos, a Lagoa Mirim e a Barra do Rio Grande.

A figura 3 apresenta um mapa representativo desta fase da cartografia do Rio Grande do Sul. Verifica-se neste mapa, além da representação de parte da planície costeira, que a posição superior da folha está orientada para Oeste.

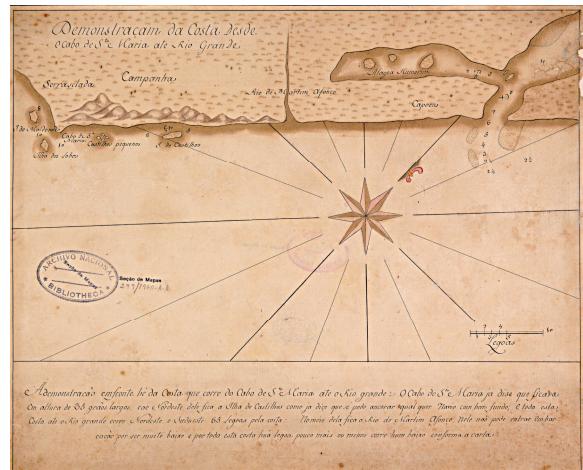


Fig. 3 - Mapa do século XVIII

Fonte: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.

Em 1750, com a assinatura do Tratado de Madrid, surgiu a necessidade de mapear as definições dos limites territoriais entre Portugal e Espanha. Para atender a esta demanda, foram realizadas expedições cartográficas com o objetivo de estabelecer marcos de pedra para delimitar as fronteiras entre estes dois países. Na elaboração destes mapas, surgiu o nome do Cartógrafo Português José Custódio de Sá e Faria. Em seus mapas, o referido cartógrafo apresentou os Sete

Povos das Missões e a Colônia de Sacramento como domínio de Portugal, e as terras ao norte, como domínio da Espanha (MARTINS e NEVES, 2008).

Em 1777, o tratado de Santo Ildefonso foi assinado e a Colônia de Sacramento e os Sete Povos das Missões foram devolvidos aos domínios da Coroa Espanhola. Nesta oportunidade, estabeleceu-se o corredor de fronteiras denominado de Campos Neutrais. Estes campos localizavam-se em regiões paralelas à Lagoa Mirim, abrangendo os municípios de Chuí, Bagé, Jaguarão, Aceguá, dentre outros (MARTINS e NEVES, 2008).

A figura 4 apresenta um exemplar dos mapas desta época. Pode-se notar que são apresentados, além dos campos Neutrais, os campos de Cima da Serra, Campos de Vacaria, além da Lagoa dos Patos e de outros detalhes geográficos.

Ainda nesta época, surgiram os trabalhos cartográficos desenvolvidos por Francisco Roscio, cartógrafo português. Estes trabalhos descreviam a costa do Rio Grande do Sul, destacando a lagoa dos Patos, a vila de São Pedro, a ilha dos Marinheiros, os fortres e as estâncias, além de diversas ilhas e rios. As figuras 5 e 6 apresentam dois exemplares dos mapas de Roscio.

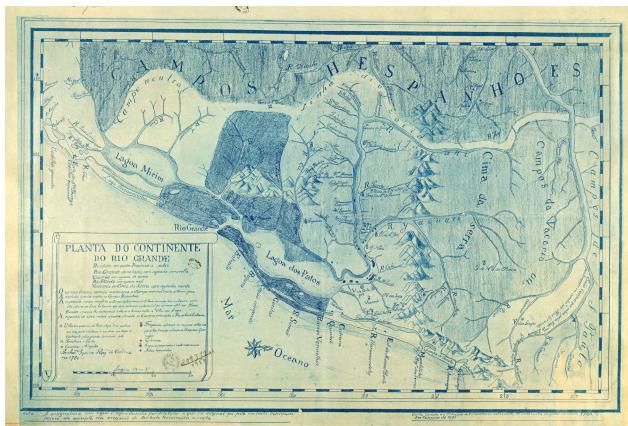


Fig. 4 - Mapa do Continente do Rio Grande
Fonte: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.



Fig. 5 - Mapa da Lagoa dos Patos elaborado por Roscio
Fonte: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.

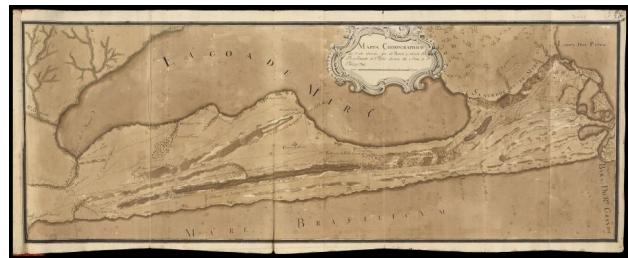


Fig. 6 - Mapa de Roscio apresentando a Lagoa Mirim
Fonte: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.

Identifica-se ainda nesta fase da cartografia do Rio Grande do Sul a contribuição do Tenente Coronel, Astrônomo e Cartógrafo, José de Saldanha. Sua contribuição à Cartografia Gaúcha pode ser notada nos mapas com grande qualidade geométrica. Estes mapas apresentavam uma maior precisão, pois eram elaborados a partir de medições astronômicas de elevada qualidade posicional. A figura 7 apresenta um exemplar do Mapa Corográfico elaborado por José Saldanha, em 1801, com informações coletadas nas missões de demarcação de limites de campo, em 1777.



Fig. 7 - Mapa Corográfico da Capitania de São Pedro.
Fonte: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.

3.4 A Cartografia Imperial

Este momento da história da cartografia do Rio Grande do Sul, caracteriza-se pelos mapas produzidos pelo Brasil Império, sob a responsabilidade do Exército

Brasileiro. Mapas deste período apresentam o relevo representado por hachuras e por sombreados, e as divisões políticas e regionais representadas por cores. A figura 8 apresenta um mapa produzido no ano de 1860, por Waldemar Schultz.



Fig. 8 - Mapa da Província de Santa Catarina, Paraná e São Pedro do Rio Grande do Sul

Fonte: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.

Na história geral do Rio Grande do Sul, este período é marcado pela chegada dos primeiros imigrantes Alemães, a partir de 1824, e dos imigrantes italianos, em 1875. Nesta época, empresas de colonização compravam terras devolutas, desenvolviam projetos de parcelamento do solo e projetos de loteamentos para vender os lotes aos imigrantes (MARTINS e NEVES, 2008).

A figura 9 mostra o mapa desta época, de autoria desconhecida, representando as divisões políticas das províncias discriminadas por cores, bem como os detalhes geográficos mais importantes. Nota-se ainda, neste mesmo mapa, no lado direito, a descrição de um loteamento desenvolvido às margens do Rio Pardo, com lotes geometricamente definidos.



Fig. 9 - Mapa do Rio Grande do Sul e o Loteamento Colônia Santa Cruz.

Fonte: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul.

4. CARTOGRAFIA DO ESTADO NO SÉCULO XX

No final do Século XIX e início do século XX, o governo brasileiro começou a se preocupar com o desenvolvimento da cartografia no território nacional, apoiada em estruturas geodésicas mais consolidadas. Conforme exposto por CELESTINO *et al.* (2006), em 1889, com a criação do Estado maior do Exército, surgiu a necessidade de organização da Carta Geral, levando-se em consideração que nenhum projeto ou estudo de operações militares poderiam ser executados sem uma carta perfeita e detalhada do País. Os trabalhos de levantamento iniciaram pelo Rio Grande do Sul, dada sua importância militar e situação geográfica, o qual, após tantos conflitos e guerras, necessitava mais do que qualquer outro estado brasileiro, da consolidação da sua fronteira.

4.1 Comissão da Carta Geral do Brasil

Comissão da Carta Geral foi o nome dado à primeira comissão de levantamentos executados no Brasil. Em 24 de maio de 1932, a Comissão da Carta Geral do Brasil (CCGB) foi apresentada ao Excelentíssimo Senhor General de Divisão Augusto Tasso Fragoso, Chefe do Estado Maior do Exército. Desta apresentação foram extraídas, e adaptadas, as informações pertinentes apresentadas neste trabalho.

Em 1901 foi publicado o projeto de criação do Serviço de Levantamento da Carta Geral. Este projeto, organizado de acordo com o conhecimento cartográfico predominante nos meios científicos da época, estabeleceu, com notável proficiência, os processos de levantamento, os sistemas de projeção, as escalas e os formatos das folhas para a Carta Geral do Brasil.

A organização deste serviço começou com uma série de problemas devido à situação econômica, à vastidão do território brasileiro (em parte coberto por

imensas florestas), à baixa densidade populacional (irregularmente distribuída), à falta de meios de transporte, à deficiência de vias de comunicação e à escassez dos recursos disponíveis para o empreendimento. Mesmo assim, foi realizado um estudo, sério e acurado, dos meios mais racionais e adequados para a realização prática do trabalho. O projeto adotou a triangulação geodésica, para o levantamento dos Estados do litoral, e a determinação de coordenadas geográficas dos pontos fundamentais, para a parte central despovoada.

A Carta Geral foi organizada em três séries de operações distintas, conforme exposto:

- Operações geodésicas e astronômicas;
- Operações topográficas;
- Operações cartográficas.

As operações geodésicas fariam as determinações da figura geométrica da Terra, utilizando o método geodésico e o método astronômico.

As operações topográficas propostas envolveriam, dentre outras atividades, o treinamento de pessoal em topografia. Foram propostos, para os trabalhos de levantamento, o processo expedito e o taqueométrico. Adotou-se a escala 1:100.000, com a divisão da carta em uma série de folhas com dimensões de 0,65 x 0,60 metros, e cada folha compreendendo uma área de 30' x 30'.

As operações cartográficas compreenderam a escolha da projeção poliédrica e a construção da carta topográfica ou fundamental. Ainda nesta operação, definiu-se a elaboração de cartas geográficas na escala 1:100.000, utilizando a projeção zenital equivalente sobre o horizonte (Lambert) (CELESTINO *et al.*, 2006).

A produtividade da Comissão da Carta Geral foi destacada em todos os seus empreendimentos. Mostrou-se, sobretudo, notável na triangulação geodésica, pela intensidade e pela excelência dos trabalhos realizados. A rede de 1º ordem do RS, uma das mais extensas da América do Sul, cobre uma área de mais de 170 mil Km², aproximadamente 2/3 da superfície do Estado, e obedece aos mais rigorosos princípios técnicos de estilo e de precisão.

Nesta época, 60% do território gaúcho já estava ocupado por sesmeiros, posseiros ou colonizadores/colonos (LIMA, 1990).

As sucessivas convulsões internas que, a partir de 1922, perturbaram a tranquilidade do país, impediram que os últimos anos de atividade da Comissão se processassem com normalidade. As soluções de continuidade foram se acentuando até que, em 1930, praticamente, encerraram-se todos os trabalhos.

"Em 1932, através do Decreto 21.883 de 29 Set. de 1932, o Serviço Geográfico Militar passou a designar-se Serviço Geográfico do Exército e a Comissão da Carta Geral deu origem à atual 1ª Divisão de Levantamento, com sede em Porto Alegre." (DSG, 1984).

4.2 A Cartografia de Porto Alegre

Porto Alegre é a capital do Rio Grande do Sul e possui características peculiares no cenário da cartografia brasileira. Fundada em 26 de março de 1772 e emancipada em 23 de agosto de 1808, localiza-se junto ao Lago Guaíba, com coordenadas aproximadas de 30° de latitude e de 51 ° de longitude. O primeiro nome dado a Porto Alegre foi Porto de Viamão, depois Porto dos Casais e, por fim, Porto alegre.

De acordo com BRESSAN *et al.* (2006), até 1930 Porto Alegre era uma cidade com aproximadamente 250.000 habitantes que ocupavam uma área aproximada de 10.000 ha, ou seja, 20% do que é hoje. A figura 10 apresenta uma foto panorâmica da cidade de Porto alegre.



Fig. 10 - Porto Alegre na década de 30
Fonte: PICOLLI (2008).

De acordo com PICOLLI *et al.* (1986), em 1936 foi criada a Diretoria de Cadastro do Município de Porto Alegre, que iniciou a implantação da Rede Geodésica apoiada na triangulação medida pelo Serviço da Comissão da Carta Geral do Brasil. Esta rede compreendia 18 vértices, tendo da como base o vértice Observatório, situado na Rua Luiz Afonso, *datum* planimétrico da CCGB, que infelizmente não existe mais. A figura 11 apresenta o Observatório da Comissão da Carta Geral do Brasil.

Até 1940, os levantamentos topográficos eram vinculados a esta rede geodésica mas, devido a dificuldades de trabalho e ao reduzido número de marcos existentes, a partir desta data, estas diretrizes não foram mais seguidas. Os diversos órgãos e secretarias passaram, então, a adotar sistemas arbitrários, o que ocasionou uma superposição de trabalhos, sem possibilidade de vinculação por métodos analíticos.

Com base na triangulação então existente foi executado, em 1941, pelo Sindicato Condor, o levantamento aerofotogramétrico de Porto Alegre, um dos pioneiros da América do Sul. A restituição foi realizada na escala 1:1.000, no perímetro urbano, e na escala 1:2.000, nas demais áreas. E, pelo processo de

redução, todo o município foi mapeado na escala 1:10.000 (BRESSAN *et al.*, 2006).



Fig. 11 - Observatório da CCGB
Fonte: ROVEDA (2008).

Em 1956, foi realizado um novo levantamento aerofotogramétrico. A restituição foi feita na escala 1:2.000 e, pelo processo de redução, todo o município foi mapeado na escala 1:5.000. A figura 12 apresenta uma folha da carta gerada por este mapeamento.



Fig. 12 - Folha do Mapeamento de 1956
Fonte: ROVEDA (2008).

Em 1973, houve uma nova cobertura aerofotogramétrica, na escala 1:8.000, que deu origem às ortofotocartas nas escalas 1:2.000 e 1:5.000. Estas ortofotocartas serviram de base para elaboração do plano diretor da época.

Em dezembro de 1981, foi firmado um convênio entre o Município de Porto Alegre e a Fundação Metropolitana de Planejamento, objetivando a implantação de uma Rede de Referência planialtimétrica e a execução do mapa cadastral pelo processo aerofotogramétrico. A Rede de referência do município de Porto alegre consiste de um conjunto de pinos metálicos, monumentalizados ao longo de vias públicas, e que possuem coordenadas referidas ao sistema

geodésico de referências CCGB e coordenadas cartográficas na projeção Gauss-Kruger. Até dezembro de 1984 foram medidos e implantados 1250 pontos, totalizando 240 quilômetros de poligonal. A figura 13 apresenta um marco de concreto situado no morro Teresópolis, que foi utilizado para na amarração da Rede Geodésica de Porto Alegre.



Figura 13: Marco situado no Morro Teresópolis
Fonte: ROVEDA (2008).

Atualmente, a equipe de técnicos da PMPA se preocupa como a manutenção desta rede geodésica e com a implantação de novos pinos e marcos. A localização, as coordenadas e os memoriais descritivos dos pontos da Rede Geodésica podem ser obtidos diretamente na Internet (GEOPINOS/POA – Secretaria do Planejamento Municipal, PMPA).

O último mapeamento sistemático do município de Porto Alegre foi realizado em 1982. O levantamento aerofotogramétrico foi realizado na escala 1:5.000, cobrindo uma área aproximada de 500 km², e a restituição foi executada na escala 1:1.000.

Como resultado deste projeto foram gerados dois conjuntos de 2065 folhas originais, sendo um planimétrico e o outro planialtimétrico. Este mapeamento foi concluído em 1986. O processo de atualização cartográfica não sistemática foi desenvolvido utilizando técnicas topográficas, e não foi suficiente para manter as cartas atualizadas nestes últimos 20 anos.

O sistema Cartográfico Municipal utilizado foi o mesmo da Região metropolitana de Porto Alegre, tendo como *datum* o Observatório da Comissão da Carta Geral do Brasil. A articulação das folhas foi planejada a partir do desmembramento das cartas 1:50.000 do mapeamento sistemático brasileiro.

4.3 Outras Experiências no Estado

Para conhecer um pouco mais da História da Cartografia no Rio Grande do Sul, algumas experiências vivenciadas por outras instituições, além das já descritas neste texto, devem ser apresentadas. Neste contexto, cita-se a contribuição do DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem) na confecção de bases cartográficas para as mais diversas finalidades.

Nas décadas de 60, 70, 80 e 90, o DAER desenvolveu uma cartografia que ia além das necessidades dos projetos de traçados viários. Foram diversos projetos cartográficos executados neste período. De acordo com o Engenheiro João Clovis Rodrigues e o Técnico José Paulo Aratijo, o DAER criou, na década de 60, um Departamento de Aerofotogrametria e compôs uma equipe técnica formada por aproximadamente 45 funcionários, divididos em equipes de campo e de gabinete.

Em 1966, o DAER adquiriu um avião para atividades de recobrimento aerofotogramétrico, modelo CESNA – 402, e uma câmera aerofotogramétrica RC-8. Neste mesmo período, também adquiriu dois restituidores (B-8 e A-8), além de marcador de coordenadas (EK-5), equipamentos de topografia (T2, distâncias, níveis) e outros.

O primeiro projeto de mapeamento desenvolvido pelo DAER foi da região de Santa Izabel, com fotogramas obtidos na escala de 1:8.000, para projetos rodoviários. Alguns mapeamentos de maior envergadura podem ser citados, dentre eles: Aeroporto Salgado Filho, com fotografias aéreas na escala de 1:4.000, no ano de 1970; Pelotas, com fotogramas na escala 1:8.000, compondo 356 fotos, em 1971; Montenegro, para a CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), no ano de 1970, na escala de 1:8.000.

Na década de 70, os maiores trabalhos foram executados para as seguintes prefeituras: Montenegro, Rio Pardo, Esteio, Gravataí, Guaíba, Santo Ângelo, Alegrete, Caxias do Sul, Arroio do Sal, Pelotas, Jaguarão, Ibirubá, São Lourenço do Sul, Piratini, Pinheiro Machado, Santa Maria. Todos estes levantamentos foram executados com fotografias aéreas nas escalas 1:8.000 ou 1:20.000.

Destacam-se, ainda as atividades cartográficas desenvolvidas no Arroio Dilúvio para o IPH – UFRGS, com fotografias na escala 1:5.000, arroio Butui – IRGA, Porto Alegre (Metroplan), Minas do Camaquã – CBC e Pólo Petroquímico de Triunfo.

Por falta de recursos econômicos, diminuição no quadro de funcionários, além do sucateamento de seus equipamentos, o RS, por intermédio do DAER, deixou de produzir seus mapas e passou a contratar empresas privadas para realização destas atividades. O último trabalho executado pelo Departamento de Aerofotogrametria do DAER foi o mapeamento de Estância Velha, no ano de 1992, com aerofotogramas na escala 1:8.000.

5. SÉCULO XXI E A CARTOGRAFIA NO RIO GRANDE DO SUL

Atualmente, a cartografia como processo de produção de modelos cartográficos da superfície terrestre, tem se beneficiado do desenvolvimento tecnológico nas mais diversas áreas. Computação gráfica, bancos de dados digitais, metadados, sistemas de posicionamento por satélites, sistemas de informações geográficas, sistemas de imageamento orbitais, estações totais robotizadas, sistemas fotogramétricos digitais, dentre outros, são ferramentas que auxiliam nas diversas etapas do processo cartográfico. Apesar disto, os desafios cartográficos no RS são inúmeros e envolvem desde o desenvolvimento de políticas cartográficas até a formação de profissionais especializados, tanto em nível técnico como em nível superior.

Dessa forma, o RS busca recuperar o tempo perdido e tenta resgatar sua posição de vanguarda no cenário da cartografia nacional. A UFRGS, dentro de suas atribuições, contribui neste sentido com a criação, em 1998, do Curso de Engenharia Cartográfica.

Em nível estadual, cabe destacar a criação, em 2002, do Conselho Estadual de Cartografia e Geografia. Este conselho, criado pelo governo do estado, possui como atribuição principal a identificação das necessidades cartográficas estaduais e o auxílio na definição de políticas cartográficas. No entanto, o referido Conselho ainda contribui efetivamente para a solução dos problemas cartográficos do RS.

Na esfera municipal, as cidades buscam, cada vez mais, manter a qualidade da sua cartografia e a atualidade do seu cadastro. Neste sentido, destacam-se dois projetos de grande porte que estão iniciando no Município de Porto Alegre. O primeiro tem como objeto principal a determinação dos parâmetros de transformação entre o Sistema Geodésico de Referência da Comissão da Carta Geral do Brasil e o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). E, o segundo projeto consiste na realização de um novo mapeamento do Município, na escala de referência 1:1.000, utilizando técnicas fotogramétricas, e o levantamento cadastral de 100.000 unidades imobiliárias. Estes dois projetos têm o início de sua execução previsto para este ano de 2008, e duração estimada em 30 meses. Cabe salientar que, tanto na determinação dos parâmetros de transformação como no novo mapeamento cartográfico/cadastral de Porto Alegre, a UFRGS se apresenta como parceira da PMPA, com o objetivo principal de valorizar a Engenharia Cartográfica no Estado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente, destaca-se a satisfação dos autores por poder aprofundar os conhecimentos a respeito da História do Rio Grande do Sul. A riqueza da sua cultura, da sua arte e da sua história, é fundamental para o entendimento do Estado no contexto nacional.

Os mapas antigos, verdadeiras obras de arte, realizados com os recursos disponíveis à época, atendem à definição e ao objetivo da Cartografia – atemporal. Cartografar é isso: informar, comunicar através de signos disponíveis, capazes de se sobrepor em ao tempo e às controvérsias das relações humanas, para explicar um pouco mais sobre nós mesmos e nossas capacidades. O grande desafio de representar a superfície física da Terra, da pré-história ao presente - e no futuro, por sua complexidade e dinâmica – envolve processos que demandam metodologias distintas e que não se encerram em si mesmos.

Ao observar a informação contida nos mapas, percebem-se as diferentes formas de ocupação do espaço, as quais refletem o processo histórico vivido. Este trabalho, uma mistura de cartografia e história, afirma a necessidade da formação multidisciplinar do Engenheiro Cartógrafo, voltada não apenas para a solução de problemas de engenharia, mas que também possibilite ao profissional uma visão holística do estado das coisas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos que colaboraram no resgate e na obtenção das informações presentes neste trabalho. Das fotografias e mapas antigos, aos relatos pessoais de quem viveu momentos marcantes da cartografia no Estado do Rio Grande do Sul.

Agradecemos, também, ao Prof. Gervásio Rodrigues Neves e à Historiadora Liana Bach Martins, do Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul; ao Engenheiro João Clovis Rodrigues e ao Técnico José Paulo Araújo, do DAER; aos Engenheiros da Secretaria do Planejamento Municipal de Porto Alegre, Suzete, Antônio Pasquetti Piccoli, Luis Carlos Roveda e Leandro.

REFERÊNCIAS

BRESSAN, I.; THUM, A. B.; VERONEZ, R. M. S.; SOUZA, G. C. **Cartografia no Município de Porto Alegre**. Anais. COBRAC, Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC. Florianópolis, SC. 2006.

CELESTINO, V. S.; ROCHA, R. S.; VELHO, L. F. **Comissão da Carta Geral do Brasil: A Comissão de Levantamentos que se tornou Divisão do Exército e Sistema Geodésico**. Anais. COBRAC, Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC. Florianópolis, SC. 2006.

LAZZAROTTO, D. **História do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS. 3^a. Edição. 1973.

LIMA, R. C. **Pequena história territorial do Brasil. Sesmarias e terras devolutas**. FAC. Símile da 4^a. Edição. São Paulo. 1990.

MARTINS, L. B.; NEVES, G. R. **Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul**. Entrevista pessoal e cessão de textos e de mapas. Porto Alegre, RS. 2008.

MORAES, L. M. **Sobre a organização da Carta Geral da República**. 3^a. Seção do Estado Maior do Exército. 1900.

PICCOLLI, A. P.; BOTTINE, S. G. **A cartografia no município de Porto Alegre**. Revista Brasileira de Cartografia, n. 39, p. 14. Rio de Janeiro, RJ. 1986.

PICCOLLI, A. P.; ROVEDA, L. C. **Departamento de Cartografia**. Secretaria do Planejamento Municipal, Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Entrevista pessoal cessão de textos não publicados. Porto Alegre, RS. 2008.

RODRIGUES, J. C. ; ARAÚJO, J. P. **DAER**, Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Entrevista pessoal e cessão de textos e de mapas. Porto Alegre, RS. 2008.

HISTÓRICO DO DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA DA UFRGS

Iran Carlos Stalliviere Corrêa¹

¹Professor Titular do Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {iran.correa@ufrgs.br}.

RESUMO: O artigo trata da origem do Departamento de Geodésia, sua criação e evolução até os dias atuais. O Departamento de Geodésia teve sua origem a partir da Cátedra de Topografia da Escola de Engenharia e que a partir de 1970, devido a Reforma Universitária, foi incorporada ao recém criado Instituto de Geociências, sendo, o novo Departamento, a partir desta data, responsável por todas as disciplinas ligadas a área de Geodésia, Topografia, Cartografia e Sensoriamento Remoto, ministradas na UFRGS.

Palavras Chaves: Departamento de Geodésia, Geodésia, Topografia, Cartografia, UFRGS.

HISTÓRICO

O Departamento de Geodésia teve como embrião a Escola de Engenharia da então Universidade de Porto Alegre, criada em 10 de agosto de 1896, a partir da criação da cátedra de Topografia que viria a ser ministrada para os futuros engenheiros e arquitetos.

A partir da criação da Escola de Geologia da Universidade do Rio Grande do Sul, criada como Curso de Geólogos por decisão do Conselho Universitário, em 11 de janeiro de 1957 e como Curso de Geologia, pelo Decreto Federal nº 40.783, de 18 de janeiro de 1957, que instituiu a Campanha de Formação de Geólogos (CAGE), segundo o Regimento do Curso de Geologia, foram criados, em 02 de maio de 1962, quatro Departamentos, os quais abrigariam as disciplinas ministradas no referido Curso. Desta maneira, entre os quatro, formou-se o **Primeiro Departamento** ao qual foram incorporadas as disciplinas de Topografia, Aerofotogeologia, Geomorfologia, Desenho Geológico, Geologia Geral, Geologia Estrutural e Inglês.

Foram professores destas disciplinas: Prof. Clóvis Carlos Carraro (Topografia); Prof. Nilo Clemente Eick (Aerofotogeologia e Geomorfologia); Prof. José Carlos Mario Bornamcini (Desenho Geológico); Othon Sá Castanho (Geologia Geral); Eurico Rômulo Machado (Geologia Estrutural) e Nora Ther Thielen (Inglês).

O Primeiro Departamento ainda contou com a colaboração de três professores americanos: Prof. Patrick John Victor Delaney, Alvin F. Holze e Robert Hamilton Morris.

A primeira reunião do Primeiro Departamento foi realizada em 21/05/1962, com a finalidade de eleger o primeiro Chefe do Primeiro Departamento, para o qual foi eleito o Prof. Eurico Rômulo Machado.

Esta estrutura departamental, da então Escola de Geologia, manteve-se até o final da década de 60, quando foi implantada a Reforma Universitária na UFRGS. A partir desta data foi criado o Instituto de Geociências com a estrutura organizacional distribuída em cinco Departamentos: Geografia (GEO01), Geologia (GEO02), Mineralogia e Petrologia (GEO03), Paleontologia e Estratigrafia (GEO04), e **Geodésia (GEO05)**.



Prof. Eurico Rômulo Machado,
Primeiro Chefe do Primeiro Departamento

Com a criação do Departamento de Geodésia, em 16 de abril de 1971, foram incorporadas a este todas

as disciplinas da área de Geodésia, ministradas nas diversas Instituições da UFRGS. Desta maneira faziam parte, inicialmente do Departamento de Geodésia, as disciplinas de Topografia, Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Aerofotogeologia. Estas disciplinas eram ministradas aos Cursos de Engenharia Civil, Engenharia de Minas, Agronomia, Arquitetura, Geografia e Geologia. Com o passar dos anos foram incorporadas novas disciplinas especialmente nas áreas de Sensoriamento Remoto e Foto-interpretação.

O Departamento de Geodésia, então Primeiro Departamento, iniciou suas atividades de ensino e pesquisa junto ao Prédio do *Chateau*, no Campus Central, onde permaneceu até 1967, passando, a partir dessa data, a ocupar as dependências do Prédio da FEBIC, também localizadas no Campus Central da UFRGS.



Vista do Prédio do *Chateau* - Campus Central, onde teve iniciado o Departamento de Geodésia.



Sala de aula teórico-prática de Aerofotogeologia, junto ao Prédio do *Chateau*

O Departamento de Geodésia ocupou também, a parte frontal e lateral direita do terceiro piso do prédio velho da Escola de Engenharia, localizado na esquina das avenidas João Pessoa com Osvaldo Aranha, em frente à praça Argentina. Contava ali com três salas de aula, um gabinete para os professores e uma sala destinada ao depósito dos equipamentos topográficos.

Outra parte do Departamento de Geodésia, juntamente com a secretaria do mesmo e a Chefia, se

encontrava locado nos Prédios da FEBIC, localizados atrás do antigo Instituto Parobé e do prédio novo da Escola de Engenharia, no Campus Central. Ali ficou instalado até julho de 1985 quando o mesmo iniciou sua transferência para o Campus do Vale da Agronomia, juntamente com o Instituto de Geociências, para suas novas instalações, onde atua até hoje.



Laboratório de Fotogrametria e Aerofotogeologia, junto ao Prédio da FEBIC no Campus Central

De 1971 até a transferência do Departamento de Geodésia para o Campus do Vale da Agronomia, o Departamento mantinha uma parte dos equipamentos de topografia sediados junto a Escola de Agronomia devido ser este o único curso da UFRGS que não tinham suas aulas de topografia no Campus Central, sendo as mesmas lecionadas no Campus da Agronomia. Devido a isto o Departamento tinha uma sala para os equipamentos e para os professores, junto a Escola de Agronomia.



Vista do Prédio Velho da Escola de Engenharia, onde se localizava parte do Departamento de Geodésia.



Vista do Prédio da Escola de Agronomia,

onde o Departamento de Geodésia tinha uma sala para os equipamentos e para os professores que lecionavam topografia para o Curso de Agronomia.



Vista do Prédio atual do Departamento de Geodésia, junto ao Campus do Vale da Agronomia.

A partir de 1994 se iniciaram estudos e discussões, junto ao Departamento de Geodésia, para a criação do Curso de Engenharia Cartográfica. Muitas foram as reuniões e as discussões que possibilitaram um consenso geral dos membros do Departamento de Geodésia, na possibilidade da criação do referido Curso.

Três professores do Departamento de Geodésia foram nomeados, pela Congregação do Instituto de Geociências, para comporem a Comissão de Implantação do Curso de Engenharia Cartográfica no Instituto de Geociências da UFRGS. Esta foi composta pelos professores Clóvis Carlos Carraro, Iran Carlos Stalliviere Corrêa e Francisco Humberto Simões Magro.

Estes professores tiveram o árduo trabalho de montar o rol de disciplinas necessárias para o bom desenvolvimento do novo curso bem como, juntamente com a Chefia do Departamento da época, conseguiram, junto aos órgãos competentes da Universidade, o apoio necessário para por em prática o novo Curso.

Em 19 de abril de 1995 a Congregação do Instituto de Geociências, após análise da proposta elaborada pela Comissão de Implantação do Curso de Engenharia Cartográfica, aprova por unanimidade a criação do Curso de Engenharia Cartográfica.

Em março de 1998 teve início as aulas do novo Curso de Engenharia Cartográfica, tendo sido a aula inaugural proferida pelo professor Mauro Pereira de Melo, que desempenhava, na época, a função de Secretário Executivo da Comissão Nacional de Cartografia.

Em 24 de maio de 1996, por iniciativa dos Professores, Iran Carlos Stalliviere Corrêa e Clóvis Carlos Carraro, foi criado junto ao Departamento de Geodésia, conforme consta na Ata nº 234/1996, do Departamento de Geodésia da UFRGS, o Museu de Topografia. O Museu tem o objetivo de contribuir para a formação da consciência social sobre os valores inestimáveis do patrimônio técnico-científico do Departamento. Em 07 de janeiro de 2003, por

solicitação dos idealizadores do Museu, o Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da UFRGS, aprova a sugestão da nova denominação: *Museu de Topografia “Professor Laureano Ibrahim Chaffe”*, conforme consta na Ata da 327º/2003.



Vista da exposição de equipamentos do Museu de Topografia Prof. Laureano Ibrahim Chaffe, do Departamento de Geodésia.

No dia 28 de maio de 2003 o Conselho do Instituto de Geociências acolhe e aprova a nova denominação, em reconhecimento aos inestimáveis serviços prestados pelo Prof. Laureano Ibrahim Chaffe ao Departamento de Geodésia, ao Instituto de Geociências, a própria UFRGS e a comunidade acadêmica, em especial de Engenheiros Civis, que passaram por suas mãos durante seus 28 anos de magistério.

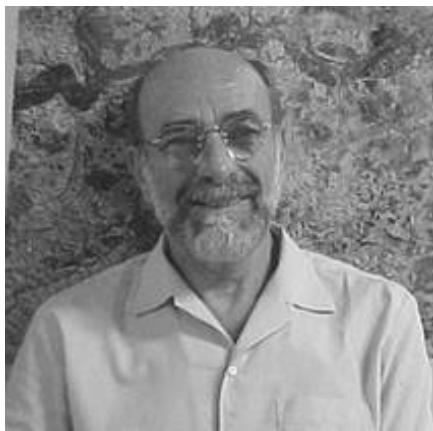
Em 05 de setembro de 2003 o Museu de Topografia é re-inaugurado e recebe a nova denominação de “**Museu de Topografia Professor Laureano Ibrahim Chaffe**” em homenagem aquele que foi um dos grandes professores de Topografia do Departamento de Geodésia.



Prof. Laureano Ibrahim Chaffe

Desde abril de 1971 até o ano de 2008, o Departamento de Geodésia teve em sua chefia quatorze professores sendo que dentre estes alguns desempenharam vários mandatos. Dentre os que mais

participaram da chefia do Departamento estão os Professores: Clovis Carlos Carraro (10 anos); Laureano Ibrahim Chaffe (4 anos); Iran Carlos Stalliviere Corrêa (4 anos); Norberto Dani (4 anos) e Jorge Luis Barbosa da Silva (4 anos).



Prof. Dr. Clovis Carlos Carraro,
Professor que por mais tempo chefiou o
Departamento de Geodésia

O Departamento de Geodésia atende atualmente 14 Cursos ligados a UFRGS, ministrando 65 disciplinas em suas várias áreas de atuação. Seus professores ministram também disciplinas em Programas de Pós-Graduação da UFRGS e desenvolvem vários cursos de extensão, além de desenvolverem vários projetos de pesquisa.

O Departamento conta com um Laboratório de Fotogrametria o qual foi criado com a fundação da Escola de Geologia em 1957, para atender as disciplinas ligadas à área de Fotogrametria, Foto-interpretação e Aerofotogeologia, ministradas pelo Departamento de Geodésia ao Curso de Geologia, Geografia, Agronomia e Arquitetura. Atualmente o Laboratório divide-se em três setores: fotogrametria, foto-interpretação e sensoriamento remoto.



Vista do Laboratório de Fotogrametria do
Departamento de Geodésia

Este Laboratório atende a área de graduação dos Cursos de Geologia, Geografia, Engenharia Cartográfica, Engenharia Civil, Agronomia e Arquitetura.

Para atender a demanda das disciplinas do Curso de Engenharia Cartográfica, Geologia e Geografia foi criado em 1999 o Laboratório de Ensino em Geoprocessamento. Atualmente este Laboratório atende especificamente ao ensino de graduação, podendo, dentro do possível, atender alunos de pós-graduação em Sensoriamento Remoto e de Cursos de Extensão. O laboratório conta atualmente com mais de 20 microcomputadores.



Laboratório de Ensino em Geoprocessamento
do Departamento de Geodésia

Em julho de 2005 foi criado o Laboratório de Pesquisa em Geoprocessamento, com a finalidade de atender a demanda do Departamento de Geodésia na área de pesquisa e extensão relacionadas aos projetos em desenvolvimentos pelos professores e bolsistas de Iniciação Científica. O Laboratório conta, atualmente, com microcomputadores, mesa digitalizadora, scanner e impressoras. Em 2008 o Laboratório passou a ser denominado de Laboratório de Pesquisa em Geodésia (LAGEO).



Laboratório de Pesquisa em Geodésia (LAGEO)
do Departamento de Geodésia

Foi criado em 1986 o Laboratório de Cartografia para atender as necessidades das disciplinas de Cartografia ministradas para os Cursos de Geologia, Geografia e mais tarde para o curso de Engenharia Cartográfica. As novas exigências de tecnologia digital

incrementaram a incorporação deste laboratório ao Laboratório de Ensino em Geoprocessamento.

Este Laboratório foi denominado, em 2001, de Laboratório de Cartografia Prof. Hans Augusto Thofehrn, em homenagem a um dos grandes cartógrafos do Rio Grande do Sul e professor do Departamento de Geodésia por muitos anos.



Prof. Dr. Hans Augusto Thofehrn

O Departamento de Geodésia contou, desde sua criação até ano de 2007, com uma Mapoteca e uma Fototeca, com coleções completas de mapas do Rio Grande do Sul e de outros estados da federação, em escala 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000, bem como de fotografia aéreas do Estado em várias escalas (1:20.000; 1:60.000; 1:110.000). A partir da década de 70, contou com uma coleção completa das imagens de Radar do território brasileiro, as quais haviam sido elaboradas a partir do Projeto RADAM/BRASL. Atualmente a mapoteca e a fototeca foram transferidas para a Biblioteca Setorial do Instituto de Geociências da UFRGS, ficando a cargo desta, a guarda e o empréstimo deste material.

O Departamento de Geodésia conta, desde sua criação, com o Setor de Desenho o qual, por muitos anos atendeu a demanda de trabalhos dos vários Departamentos do Instituto de Geociências, em especial dos trabalhos oriundos dos Mapeamentos Geológicos efetuados pelos estudantes de Geologia.



Desenhista Flávia Boyen
Setor de Desenho



Desenhista Ruth Coitinho Pinto
Setor de Desenho

O Departamento de Geodésia se encontra desde 1986 situado junto ao Campus do Vale da Agronomia, em uma área com mais de 900m².

Atualmente o Departamento de Geodésia encontra-se sob a Chefia do Prof. Gilberto Gagg, e tem como Chefe Substituto o Prof. Iran Carlos Stalliviere Corrêa.

Site do Departamento de Geodésia:

<http://www.geodesia.ufrgs.br>

Site do Curso de Engenharia Cartográfica:

<http://www.ufrgs.br/engcart>

Site do Museu de Topografia Prof. Laureano I. Chaffe:

<http://www.ufrgs.br/museudetopografia>

Site do Laboratório de Pesquisa em Geodésia:

<http://www.ufrgs.br/engcart/lageo>

CONTRIBUIÇÕES DA UFRGS

EFEITOS DA IONOSFERA NAS OBSERVÁVEIS GPS E NO POSICIONAMENTO POR PONTO NA REGIÃO BRASILEIRA: Revisão e Síntese das Investigações Realizadas

Marcelo Tomio Matsuoka¹, Paulo de Oliveira Camargo²

¹ Laboratório de Pesquisas em Geodésia (LAGEO), Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {tomio.matsuoka@ufrgs.br}

² Departamento de Cartografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP. {paulo@fct.unesp.br}

RESUMO: Em especial na região brasileira e em períodos de alta atividade solar a ionosfera é uma das principais fontes de erro no posicionamento com GPS, afetando principalmente os usuários de receptores de uma freqüência. O erro devido à ionosfera nas observáveis GPS é diretamente proporcional ao TEC (*Total Electron Content* – Conteúdo Total de Elétrons) presente na trajetória do sinal entre o satélite e a antena receptora. No Brasil estão presentes altos valores de TEC e alta variação temporal e espacial, o que faz com que o estudo de seu comportamento seja de suma importância para o entendimento de seus efeitos no posicionamento. Além disso, é comum no Brasil a ocorrência de irregularidades ionosféricas que afetam o rastreio dos sinais GPS, podendo causar até perdas do sinal. Diversos estudos nessa linha têm sido realizados pelos autores nos últimos anos. Neste capítulo são apresentadas uma revisão sobre os efeitos da ionosfera e uma síntese dos resultados de pesquisas referentes ao estudo do comportamento do TEC na região brasileira e dos efeitos no posicionamento por ponto em um local de forte influência da ionosfera brasileira.

Palavras chaves: GPS, Ionosfera, Posicionamento.

1. INTRODUÇÃO

No posicionamento com GPS (*Global Positioning System*) diversas fontes de erros estão envolvidas, sendo que uma das principais é a ionosfera. A ionosfera é a camada da atmosfera terrestre compreendida entre 50 km e 1000 km de altitude, aproximadamente, onde existe a presença de elétrons livres em quantidade suficiente para afetar a propagação de ondas de rádios (DAVIES, 1990).

O erro devido à ionosfera nas observáveis GPS é diretamente proporcional ao conteúdo total de elétrons livres (TEC – *Total Electron Content*) presentes ao longo da trajetória percorrida pelo sinal na ionosfera e inversamente proporcional ao quadrado da freqüência do sinal (SEEBER, 2003). O TEC, e consequentemente o erro devido à ionosfera, varia no tempo e no espaço principalmente com relação à variação da radiação solar e do campo magnético da Terra (CAMARGO, 1999). Deve-se enfatizar que o Brasil é uma das regiões do globo terrestre que possuem os maiores valores e variações do TEC (KOMJATHY et al., 2003), e desta forma, a ionosfera é especialmente uma importante fonte de erro no posicionamento com GPS nesta região.

Neste capítulo são apresentados uma revisão

sobre os efeitos da ionosfera nas observáveis GPS e uma síntese dos resultados relacionados aos efeitos no posicionamento por ponto.

2. ERRO DEVIDO À IONOSFERA NAS OBSERVÁVEIS GPS

2.1 Índice de Refração

Devido à natureza dispersiva da ionosfera, a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende de sua freqüência. Os principais efeitos deste meio anisotrópico sobre os sinais GPS são o atraso de grupo na modulação e o avanço na fase da onda portadora.

O índice de refração da fase (n_f) na ionosfera pode ser expressa pela complexa fórmula de Appleton-Hartree (DAVIES, 1990):

$$n_f^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - \frac{Y_r^2}{2(1-X-iZ)} \pm \left[\frac{Y_r^4}{4(1-X-iZ)^2} + Y_L^2 \right]^{1/2}} \quad (1)$$

onde:

$$X = n_e e^2 / \epsilon_0 m \omega^2 = f_n^2 / f^2;$$

$$Y_L = eB_L / m\omega = f_H \cos\theta / f;$$

$$Y_T = eB_T / m\omega = f_H \sin\theta / f;$$

$$Z = v / \omega;$$

$$\omega = 2\pi f;$$

f - freqüência da onda;

f_H - girofreqüência;

f_n - freqüência de plasma;

n_e - densidade de elétrons (el/m^3);

e - carga do elétron = $-1,602 \times 10^{-19}$ Coloumb;

ϵ_0 - permissividade do espaço livre = $8,854 \times 10^{-12}$ Farads/m;

θ - ângulo entre a direção da onda e o campo magnético da Terra;

m - massa do elétron = $9,107 \times 10^{-31}$ kg;

v - freqüência de colisão; e

B - Campo geomagnético;

A equação (1) pode ser simplificada levando-se em conta somente o efeito de primeira ordem da ionosfera. Considerando que a girofreqüência (f_H) tem um valor típico de 1,5 MHz e a freqüência de colisão (v) é da ordem de 10^4 Hz (KLOBUCHAR, 1996), e portanto possuem valores muito menores do que as freqüências dos sinais GPS (ou seja, $f \gg f_H$ e v), os termos Y_T , Y_L e Z da equação (1) podem ser ignorados (FEDRIZZI, 2003). Neste sentido, o índice de refração da fase (n_f) pode ser aproximado por:

$$n_f = \sqrt{1-X} \quad (2)$$

Como visto anteriormente, o termo X pode ser reescrito na forma, $X = n_e e^2 / \epsilon_0 m \omega^2 = f_n^2 / f^2$. Considerando que a freqüência de plasma na ionosfera raramente excede 20 MHz (KLOBUCHAR, 1996) e, portanto, $f \gg f_n$, é possível efetuar a seguinte expansão em série binomial (FEDRIZZI, 2003):

$$n_f = \sqrt{1-X} = 1 - \frac{X}{2} = 1 - \frac{n_e e^2}{2 \epsilon_0 m \omega^2} = 1 - \frac{n_e e^2}{2 \epsilon_0 m (2\pi)^2 f^2} \quad (3)$$

Com a substituição dos valores das constantes “e”, “m” e “ ϵ_0 ” na equação (3), o índice de refração da fase pode ser aproximado por:

$$n_f = 1 - \frac{40,3 n_e}{f^2} \quad (4)$$

Desta forma, pode-se observar que o índice de refração da fase depende principalmente da densidade

de elétrons (n_e) e da freqüência (f) da onda eletromagnética.

Uma expressão correspondente para o índice de refração de grupo (n_g) pode ser derivada a partir da equação de Rayleigh modificada (DAVIES, 1990; LEICK, 1995):

$$n_g = n_f + f \frac{dn_f}{df} = \left(1 - \frac{40,3 n_e}{f^2} \right) + \left(\frac{80,6 f n_e}{f^3} \right) \quad (5)$$

$$n_g = 1 + \frac{40,3 n_e}{f^2} .$$

Pelas equações (4) e (5) pode-se notar que o índice de refração do grupo é sempre maior que o índice de refração da fase. Isto faz com que, na propagação dos sinais GPS, ocorra uma redução na velocidade de grupo e um avanço na fase, provocando um aumento nas distâncias medidas a partir do código e uma diminuição nas distâncias obtidas a partir da fase, de uma mesma quantidade, respectivamente.

2.2 Erro devido à Ionosfera

A distância (S) entre o satélite (s) e a antena receptora (r), considerando apenas o erro devido à ionosfera, é definida por (LEICK, 1995):

$$S = \int_r^s n \, ds, \quad (6)$$

onde n representa, de forma genérica, o índice de refração da fase ou do grupo. A distância medida (S) é influenciada pelo índice de refração da ionosfera, e a integral é estendida ao longo do caminho do sinal. A distância geométrica (ρ) entre o satélite e a antena receptora é obtida quando o índice de refração (n) é unitário, logo:

$$\rho = \int_r^s ds \quad (7)$$

A diferença entre a distância medida (S), com a influência da ionosfera, e a distância geométrica (ρ), entre o satélite e a antena receptora, resulta no erro devido à ionosfera (I_r^s), que é dado por:

$$I_r^s = \int_r^s n \, ds - \int_r^s ds. \quad (8)$$

Substituindo os índices de refração da fase (4) e do grupo (5) na equação (8), obtém-se o erro devido à ionosfera para a distância medida pela fase da portadora ($I_{f_r}^s$) e pelo código ($I_{g_r}^s$), respectivamente. Desta forma, para a fase da portadora tem-se que:

$$I_{f_r}^s = \int_r^s \left(1 - \frac{40,3 n_e}{f^2} \right) ds - \rho, \quad (9)$$

ou

$$I_{f_r}^s = -\frac{40,3}{f^2} \int_r^s n_e ds, \quad (10)$$

e, para o código, tem-se que:

$$I_{g_r}^s = \int_r^s \left(1 + \frac{40,3 n_e}{f^2}\right) ds - \rho \quad (11)$$

ou

$$I_{g_r}^s = \frac{40,3}{f^2} \int_r^s n_e ds, \quad (12)$$

onde a parcela variável ($\int_r^s n_e ds$) caracteriza a quantidade de elétrons ao longo do caminho do sinal, entre o satélite e a antena receptora em uma coluna de 1 m², que por sua vez representa o conteúdo total de elétrons (TEC), ou seja (LEICK, 1995):

$$TEC = \int_r^s n_e ds. \quad (13)$$

Substituindo a equação (13) nas equações (10) e (12), obtém-se o erro devido à ionosfera na distância medida pela fase da portadora e pelo código, em função do TEC e da freqüência:

$$I_{f_r}^s = -\frac{40,3}{f^2} TEC, \quad (14)$$

$$I_{g_r}^s = \frac{40,3}{f^2} TEC. \quad (15)$$

O TEC é dado em elétrons por metro quadrado (el/m²), a freqüência em Hertz (Hz) e a constante 40,3 é dada em Hz²(el/m²)⁻¹m, resultando no erro devido à ionosfera ($I_{f_r}^s$ e $I_{g_r}^s$) expresso em metros (m). O erro devido à ionosfera relacionado com o código ($I_{g_r}^s$) é usualmente denominado de atraso ionosférico ou atraso de grupo. De acordo com as equações (14) e (15), percebe-se que o erro devido à ionosfera, seja ele incidente sobre a fase da portadora ou para o código (pseudodistância), é inversamente proporcional ao quadrado da freqüência e diretamente proporcional ao TEC. Logo, as freqüências mais altas são menos afetadas pela ionosfera e quanto maior o valor de TEC maior será o erro devido à ionosfera.

Devido à aproximação efetuada no índice de refração, a correção do erro devido à ionosfera, calculada pelas expressões (14) e (15), representa somente o efeito de 1º ordem da ionosfera, o qual pode ser modelado com dados obtidos com receptores GPS de dupla freqüência. O erro remanescente representa poucos centímetros (SEEBER, 2003). Aos interessados em verificar uma descrição dos efeitos de segunda e

terceira ordem da ionosfera, podem consultar Marques (2008).

A tabela 1 apresenta o erro máximo, na direção vertical, que pode ser esperado para as medidas de distâncias advindas das portadoras L₁, L₂ (do GPS) e para a combinação linear *ion-free* (L₀), considerando os efeitos de 1º, 2º e 3º ordem da ionosfera (SEEBER, 2003). Para direções inclinadas, ou seja, para medidas advindas de satélites deslocando-se do zênite para o horizonte, o erro devido à ionosfera aumentará em até 3 vezes, aproximadamente.

TABELA 1 – MÁXIMO ERRO DEVIDO À IONOSFERA QUE PODE SER ESPERADO PARA MEDIDAS DE DISTÂNCIAS NA DIREÇÃO VERTICAL.

Freqüência	1ª ordem	2ª ordem	3ª ordem
L ₁	32,5 m	0,036 m	0,002 m
L ₂	53,5 m	0,076 m	0,007 m
L ₀	0,0 m	0,026 m	0,006 m

Fonte: Seeber (2003).

Considerando as estimativas presentes na tabela 1, pode-se verificar que a soma dos erros devido à ionosfera de 2º e 3º ordem representa apenas 0,12% e 0,15% do erro de 1º ordem para L₁ e L₂, respectivamente, e para combinação linear L₀ o erro remanescente representa 3,2 cm.

Como foi verificado nas equações (14) e (15) o erro devido à ionosfera nas observáveis GPS depende diretamente do TEC. Desta forma é de suma importância o entendimento do comportamento do TEC na região de interesse. Este assunto será tratado na próxima seção com especial atenção à região brasileira.

3. COMPORTAMENTO DO TEC

As variações temporais regulares do TEC compreendem as variações diurnas, sazonais e ciclos de longos períodos. A variação diurna ocorre principalmente devido à iluminação do Sol, ou seja, a radiação solar. Ao longo do dia, a densidade de elétrons depende da hora local, sendo que seu valor máximo ocorre entre as 12:00 e 16:00 horas local (WEBSTER, 1993). Na região equatorial de latitudes baixas um segundo pico ocorre nas horas que precedem a meia noite, principalmente, em períodos próximos aos equinócios e verão e em períodos de alta atividade solar. A figura 1 exemplifica a variação do VTEC (Vertical TEC) em Cachoeira Paulista (CP) (22 °S; 45°W) e São Luiz (SL) (3°S; 44°W), que estão localizadas nas regiões geográficas da ionosfera de latitude baixa e equatorial, respectivamente (MATSUOKA, 2007). A unidade é TECU (TEC Unit), sendo 1 TECU = 10¹⁶ el/m² = 0,16 m de erro nas observáveis em L1.

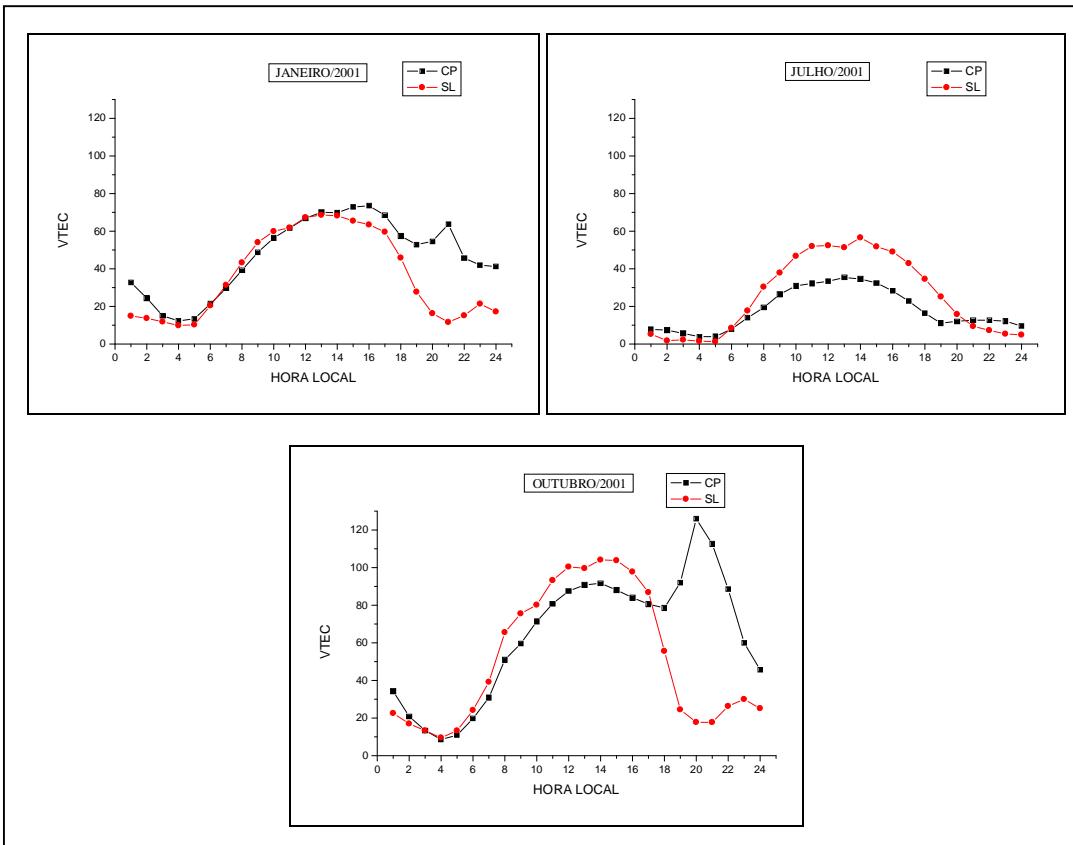


Fig. 1 – Exemplos da variação diária e sazonal do TEC na região brasileira (Cachoeira Paulista (CP) e São Luiz (SL)) em período de alta atividade solar. Fonte: Matsuoka (2007)

Pode-se observar na figura 1 a variação diária do TEC em CP e SL, com máximo no período da tarde, e um segundo máximo ocorrendo em CP no período após algumas horas do pôr do Sol (aproximadamente, às 21 Horas Local) observado nos gráficos dos meses de janeiro e outubro (Solstício de Verão e Equinócio). Esse segundo máximo corresponde ao período da formação da Anomalia Equatorial de Ionização (AEI) noturna (seção 4) sobre o território brasileiro, estando CP localizada dentro da região de altos valores de TEC dessa AEI.

As estações do ano também influenciam na variação da densidade de elétrons, devido à mudança do ângulo zenital do Sol, da intensidade do fluxo de ionização e do vento termosférico neutro, caracterizando as variações sazonais do TEC. Nos equinócios (principalmente) e solstício de verão, os valores TEC são maiores, enquanto que, no solstício de inverno, são menores (ver fig. 1). Um exemplo da variação sazonal e diária do TEC na região brasileira em período de alta atividade solar pode ser verificado em detalhes nos resultados de Matsuoka (2007, p. 136-159) e Matsuoka e Camargo (2004).

As variações de ciclos de longos períodos, com ciclos de aproximadamente 11 anos, são associadas às ocorrências de manchas solares, e o aumento de

ionização, ou seja, o aumento do TEC é proporcional ao número de manchas. A figura 2 mostra os valores dos números de manchas solares desde 1750 até os dias atuais.

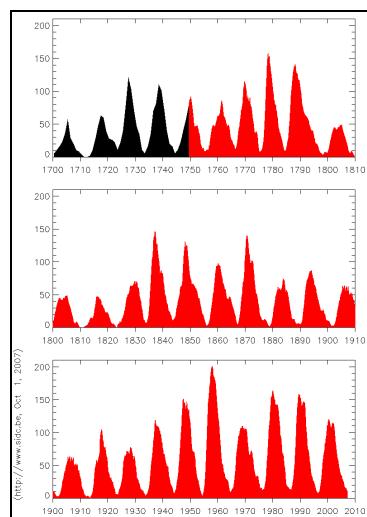


Fig. 2 – Número de manchas solares – Ciclos solares
Fonte : <http://sidc.oma.be/html/wolfaml.html> - acesso em 10/2007

Atualmente, o Sol está em um período de mínima ocorrência de manchas solares, e o último período de máxima compreendeu os anos de 2000 e 2001, durante os quais ocorreu um aumento do número de manchas solares e, consequentemente, do número de elétrons presentes na camada ionosférica. A figura 3 mostra o número de manchas solares dos últimos anos.

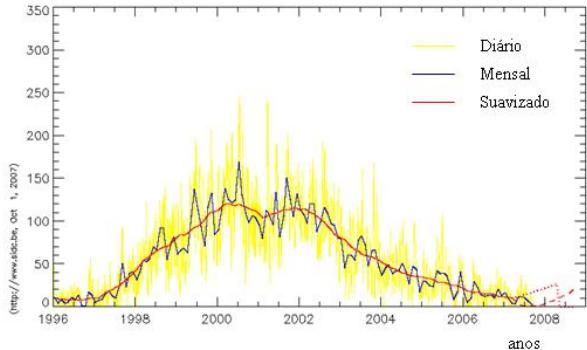


Fig. 3 – Número de manchas solares – ciclo 23

Segundo previsão de NCAR (2006) o próximo pico de ocorrência de manchas solares será de 30 a 50% maior do que o último pico. Este máximo solar deve ocorrer por volta de 2012.

Para se ter uma idéia da dependência do TEC com relação ao ciclo de manchas solares, a figura 4 apresenta uma série temporal de valores de VTEC (Vertical TEC – TEC na direção vertical) médio global fornecidos pelo CODE (*Center for Orbit Determination in Europe*).

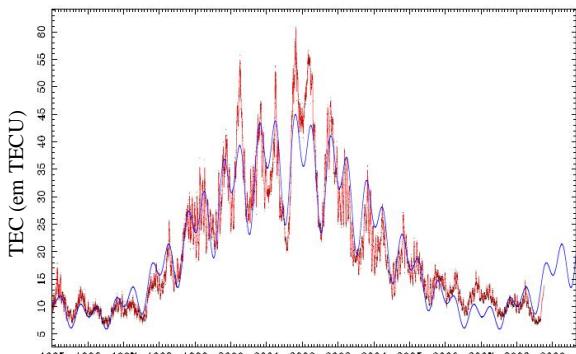


Fig. 4 – Série temporal de valores globais médios de VTEC. fonte:

<http://aiuws.unibe.ch/ionosphere/meantec.pdf>

Como exemplo na região brasileira a figura 4 apresenta um estudo realizado por Aguiar et al. (2007) onde se determinou os valores de VTEC para a estação UEPP/PPTE da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) localizada em Presidente Prudente, SP, para os anos 2000 e 2001 (alta atividade solar) e 2005 e 2006 (baixa atividade solar). Pode-se observar a redução do VTEC nos anos de 2005 e 2006, em concordância com o ciclo de manchas solares.

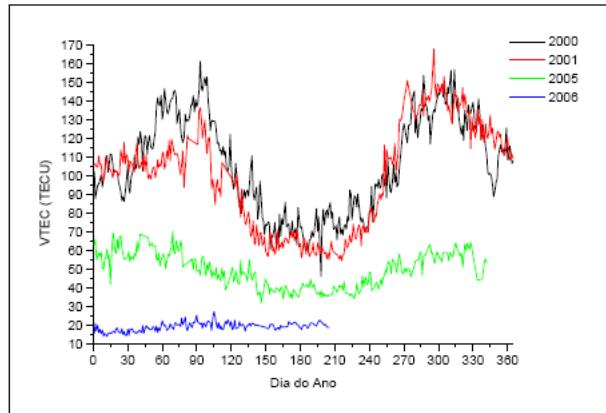


Fig. 5 – Valores de VTEC – Estação UEPP/PPTE

Fonte: Aguiar et al. (2007).

A localização geográfica também influencia na variação da densidade de elétrons na ionosfera, pois a estrutura global da ionosfera não é homogênea. Ela muda com a latitude, devido à variação do ângulo zenital do Sol, que influencia, diretamente, no nível de radiação, que altera, por sua vez, a densidade de elétrons na ionosfera. As regiões equatoriais e de latitudes baixas (que abrange o Brasil) são caracterizadas por um alto nível de densidade de elétrons, bem como, apresentam uma alta variação espacial. Já as regiões de latitudes médias são consideradas relativamente livres das anomalias ionosféricas, apresentando um comportamento mais regular, próximo ao descrito por modelos teóricos. A ionosfera sobre os pólos sul e norte, alternativamente, denominadas de ionosfera polar ou de altas latitudes, é extremamente instável (McNAMARA, 1991).

Mais detalhes sobre as variações regulares do TEC pode ser obtido, por exemplo, em McNamara (1991), Davies (1990), Camargo (1999) e Matsuoka (2007).

4. ANOMALIA EQUATORIAL

O principal fenômeno da ionosfera equatorial e de latitudes baixas é a Anomalia Equatorial de Ionização, também conhecida por Anomalia de Appleton (APPLETON, 1946).

Antes de descrever a anomalia equatorial, torna-se necessário definir o efeito fonte, pois este dá origem a anomalia equatorial. Devido à alta radiação solar na região equatorial e aos campos magnético e elétrico da Terra, a densidade de elétrons na ionosfera nesta região sofre sensíveis consequências, sendo uma delas denominada de efeito fonte, cuja origem é motivada pela movimentação dos elétrons ao longo das linhas de força horizontais do campo geomagnético para longe do equador.

Os campos elétricos do dínamo atmosférico que são gerados na região E são transmitidos ao longo das linhas de campo geomagnético para a região F, devido à alta condutividade paralela (BATISTA, 2003). Durante o dia o campo elétrico (E) é direcionado para

leste. Na região F equatorial, um campo elétrico para leste, na presença do campo magnético (B) que é dirigido para norte causa uma deriva eletromagnética para cima, dada por ExB/B^2 (BATISTA, 2003). Após a subida do plasma até elevadas altitudes na região equatorial, o plasma inicia um movimento de descida ao longo das linhas de campo geomagnético. Este movimento ocorre devido à ação da gravidade (\vec{g}) e gradiente de pressão (∇p). Este movimento de elevação do plasma na região equatorial e posterior descida ao longo das linhas de campo geomagnético até latitudes baixas é conhecido como Efeito Fonte (RODRIGUES, 2003). Este nome foi dado devido à similaridade com o movimento de uma fonte (chafariz) de água. Um esquema das forças agindo no plasma é mostrado na figura 6.

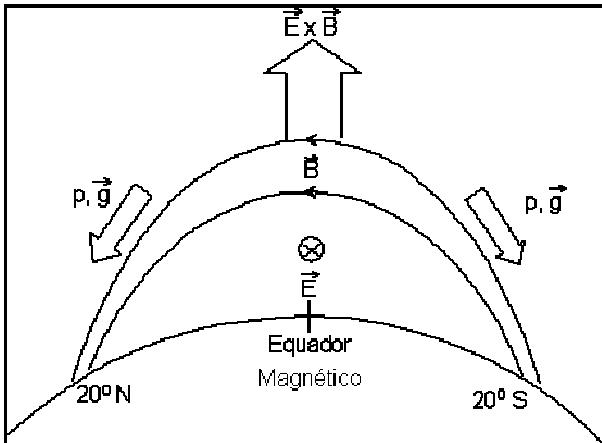


Fig. 6 – Esquema das forças agindo no plasma - efeito fonte. Fonte: Kelley (1989) apud Rodrigues (2003)

Uma consequência da combinação dos movimentos de subida e subsequente descida do plasma é que duas regiões de picos de densidade de elétrons são formadas nas regiões subtropicais ao norte e ao sul do equador geomagnético, entre 10° e 20° de latitude geomagnética. Nas regiões próximas ao equador geomagnético a densidade de elétrons fica menos intensa (BATISTA, 2003), resultando em altos gradientes de TEC na direção norte-sul. Tal distribuição latitudinal é denominada de anomalia equatorial ou anomalia de Appleton (APPLETON, 1946). Como resultado para o posicionamento com GPS é que altos valores de TEC estão presentes nas regiões de latitudes baixas, e altos gradientes de TEC podem ocorrer na direção norte-sul, afetando a qualidade tanto do posicionamento por ponto quanto do relativo e DGPS (MATSUOKA, 2007).

A figura 7 apresenta um mapa de VTEC para outubro de 2001 no qual se pode verificar a formação da anomalia equatorial no Brasil.

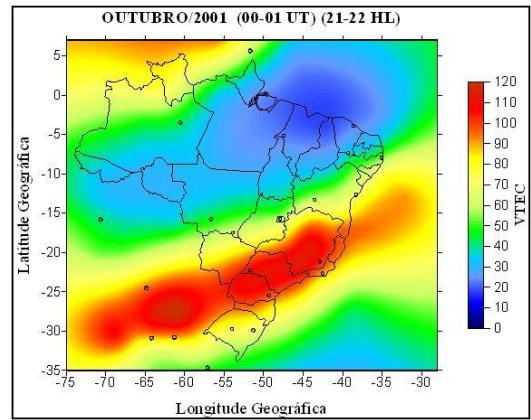


Fig. 6 – Mapa de VTEC (outubro/2001) – Anomalia Equatorial. Fonte: Matsuoka (2007).

A anomalia equatorial varia ao longo do dia, passando por um primeiro máximo na densidade de elétrons por volta das 14 horas local, e por um segundo máximo, geralmente maior que o primeiro, nas horas que precedem a meia noite, normalmente próximo das 21 horas local. Este segundo máximo, em geral, não ocorre durante períodos de baixa atividade solar (BATISTA, 2003).

No primeiro pico da anomalia equatorial que ocorre durante o período da tarde, a variação latitudinal do VTEC é menor do que no horário noturno, pois, embora o efeito fonte desloque elétrons das regiões próximas ao equador para as regiões das cristas norte e sul da anomalia equatorial, devido à presença da radiação solar, elétrons livres continuam sendo produzidos na região equatorial pelo processo de fotoionização. Já no segundo pico da anomalia equatorial, a variação latitudinal do VTEC é bem mais destacada, pois, com o pôr do Sol é cessado a fotoionização, e então, devido ao efeito fonte, observam-se baixos valores de VTEC próximos ao equador geomagnético e altos valores nas regiões de crista da anomalia (região de latitudes baixas). Ou seja, a região equatorial perde elétrons pelo efeito fonte e não há mais produção de elétrons por fotoionização; em contrapartida a região de crista da anomalia equatorial recebe os elétrons devido ao efeito fonte, gerando alta variação latitudinal do VTEC (fig. 6).

Este comportamento da anomalia equatorial é um reflexo da variação do campo elétrico zonal e da deriva vertical do plasma produzida por ele. Como já citado, durante o dia, na região equatorial, o campo elétrico para leste na presença de um campo geomagnético para norte provoca uma deriva para cima, elevando o plasma e produzindo o efeito fonte. A deriva vertical passa por um máximo antes do meio dia local, continuando positiva (para cima) até pouco antes do entardecer. À noite o campo elétrico é dirigido para oeste e, consequentemente, a deriva se inverte para baixo (negativa), cessando o efeito fonte (BATISTA, 2003).

Porém, antes da deriva vertical se inverter, nos horários próximos ao pôr do Sol, ela se intensifica devido ao desenvolvimento de campos elétricos do

dínamo da região F, provocando assim uma intensificação do efeito fonte e da anomalia equatorial, gerando o segundo pico na densidade de elétrons nas regiões das cristas da anomalia. Este comportamento da deriva vertical equatorial do plasma ionosférico pode ser verificada na figura 8, que mostra a variação média da deriva vertical medida com o radar de espalhamento incoerente de Jicamarca, no Peru, durante várias estações do ano, para condições geomagnéticas calmas e durante anos de atividade solar alta e baixa.

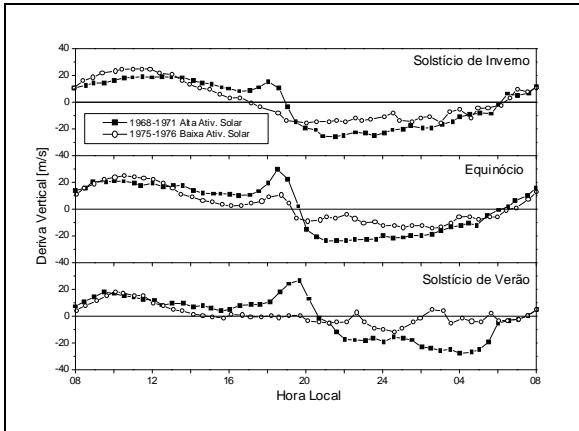


Fig. 8 - Variação sazonal da deriva vertical do plasma ionosférico medida em Jicamarca (derivas positivas indica elevação do plasma) durante períodos de alta (1968-1971) e baixa (1975-1976) atividade solar. Fonte: adaptada de Fejer et al. (1979).

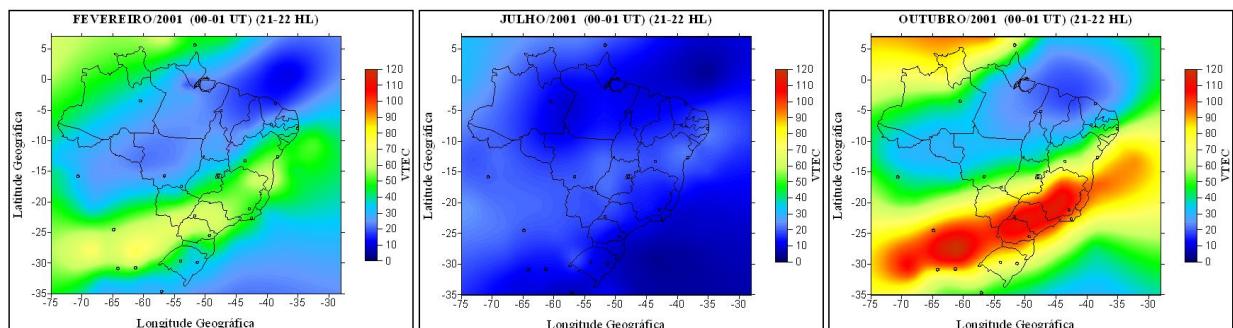


Fig. 9 – Mapas de VTEC – Fevereiro, Julho e Outubro de 2001 – 21-22 HL. Fonte: Matsuoka (2007)

5. IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS

As irregularidades ionosféricas são perturbações na densidade do plasma ionosférico e se originam através de processos de instabilidades do plasma que ocorrem na ionosfera equatorial. A instabilidade dá origem às irregularidades na camada F da ionosfera com um amplo espectro de escalas de tamanho, variando desde alguns centímetros até centenas de quilômetros (RODRIGUES, 2003).

Irregularidades na ionosfera podem produzir variações de curtos períodos nos sinais trans-ionosféricos, provocadas por rápidas flutuações na fase e amplitude, devidas aos efeitos da difração e refração, que causam um enfraquecimento e variações da fase no sinal recebido pelos receptores GPS, fazendo com que

O pico que ocorre na deriva vertical próximo ao pôr do Sol, conhecido como pico pré-inversão, é fortemente dependente da atividade solar (BATISTA, 2003). Pode-se verificar na figura 8, referente ao estudo feito em Jicamarca no Peru, que durante períodos de atividade solar máxima o pico ocorre em todas as estações do ano, sendo maior no equinócio e menor no solstício de inverno. Já durante atividade solar baixa o pico pré-inversão só ocorre no equinócio, ainda tendo amplitude menor do que para alta atividade solar (FEJER et al., 1979). É importante salientar, que estudos realizados na região brasileira mostraram que o pico pré-inversão é um pouco maior nos meses próximos ao solstício de verão do que nos de equinócios, e menor nos próximos ao solstício de inverno (BATISTA et al., 1996).

A variação latitudinal do VTEC na região brasileira durante o segundo pico da anomalia equatorial é maior nos meses próximos ao equinócio (principalmente) e menores nos próximos ao solstício de inverno. A figura 9 mostra mapas de VTEC para outubro, fevereiro e julho de 2001 as 21-22 Horas Local (HL), mostrando as diferenças entre os meses do ano em relação à anomalia equatorial noturna. O ano de 2001 corresponde a um período de alta atividade solar. Em períodos de baixa atividade solar praticamente não se verifica a variação latitudinal noturna (pode-se, por exemplo, consultar resultados apresentados por Salomoni, 2008).

ocorra, em muitos casos, a perda do sinal. Essas rápidas flutuações em fase e amplitude do sinal são chamadas de cintilações (WEBSTER, 1993). Períodos de cintilação estão associados, geralmente, com a existência de regiões de irregularidades de pequena escala na densidade de elétrons na camada ionosférica (EL GIZAWY, 2003).

Cintilação ionosférica também pode ocorrer em regiões caracterizadas por depleções do plasma de larga escala, geralmente conhecidos como bolhas de plasma ou bolhas ionosféricas. Essas irregularidades de larga escala aumentam a ocorrência de cintilações ionosféricas, resultando em degradação nos sinais de comunicação trans-ionosféricos e nos sinais GPS (SAHAI, et al., 2000).

As regiões de maior intensidade das cintilações correspondem às regiões de próximos ao pico (norte e sul) da anomalia equatorial, localizadas a aproximadamente 15° N e 15° S de latitude geomagnética, e desta forma um maior número de perdas de sinal é esperado para receptores próximos a estes locais. Na região equatorial e de latitudes baixas, o horário de maior ocorrência de cintilação ionosférica é no período de poucas horas após o pôr do Sol, até aproximadamente a meia noite local (as vezes até algumas horas da madrugada), principalmente nos meses de setembro a março. Além disso, com relação ao ciclo solar de 11 anos, a ocorrência é maior em períodos de alta atividade solar do que em baixa (SKONE, et al., 2001).

Cintilação ionosférica também pode ocorrer em regiões caracterizadas por depleções do plasma de larga escala, geralmente conhecidos como bolhas de plasma ou bolhas ionosféricas. Essas irregularidades de larga escala aumentam a ocorrência de cintilações ionosféricas, resultando em degradação nos sinais de comunicação trans-ionosféricos e nos sinais GPS (SAHAI, et al., 2000).

6. IONOSFERA E O POSICIONAMENTO POR PONTO

Utilizando receptor de dupla freqüência pode-se eliminar os efeitos de primeira ordem da ionosfera, melhorando os resultados do posicionamento. Neste tópico será discutido apenas o posicionamento por ponto com dados GPS da portadora L1.

Resultados têm mostrado que no posicionamento por ponto o erro devido à ionosfera nas observáveis GPS afeta principalmente a determinação em altitude geométrica. Desta forma, o comportamento da variação do erro cometido no posicionamento por ponto em altitude geométrica é altamente correlacionado com o comportamento do TEC na região. A figura 10 mostra valores mensais médios diários do EMQ (Erro Médio Quadrático) em altitude geométrica da estação UEPP da RBMC para o ano de 2001 (alta atividade solar), obtidos a partir da comparação entre a altitude geométrica conhecida e a estimada pelo posicionamento por ponto (somente utilizou-se como observável as pseudodistâncias-código C/A). Para fins de comparação, a figura 11 apresenta valores mensais médios diários de VTEC para a localidade da estação UEPP. Esses valores foram extraídos de mapas médios mensais de VTEC produzidos por Matsuoka (2007). É importante frisar que o posicionamento por ponto realizado utilizou efemérides precisas e correções precisas dos relógios dos satélites, modelo de Hopfield para o erro troposférico, e apenas foram consideradas determinações com GDOP maior do que 7.

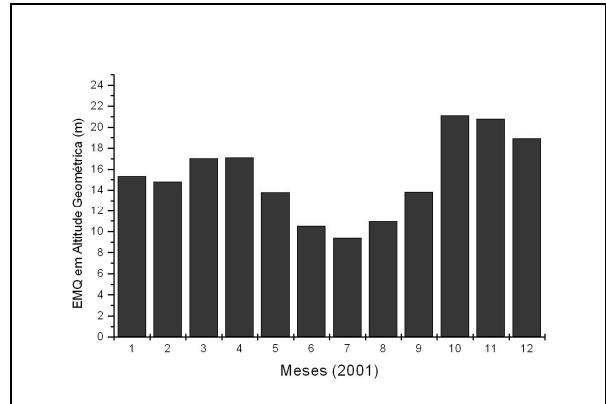


Fig. 10 – Médias mensais dos valores diários do EMQ em altitude geométrica – Posicionamento por ponto – 2001 - Estação UEPP.

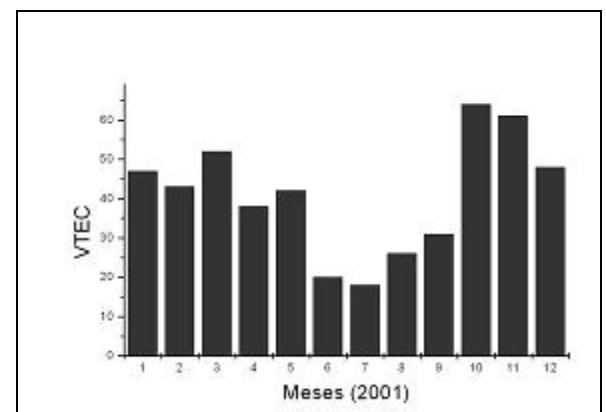


Fig. 11 – Médias mensais dos valores de VTEC para a posição da estação UEPP – ano 2001.

Menores valores de EMQ em altitude geométrica são observados nos meses de inverno, e maiores nos próximos aos equinócios e solstício de verão. A variação do EMQ em altitude geométrica mostra-se correlacionada ao comportamento do VTEC.

A figura 12 mostra os valores mensais médios do EMQ em planimetria com base nos resultados do posicionamento por ponto da estação UEPP com dados de 2001.

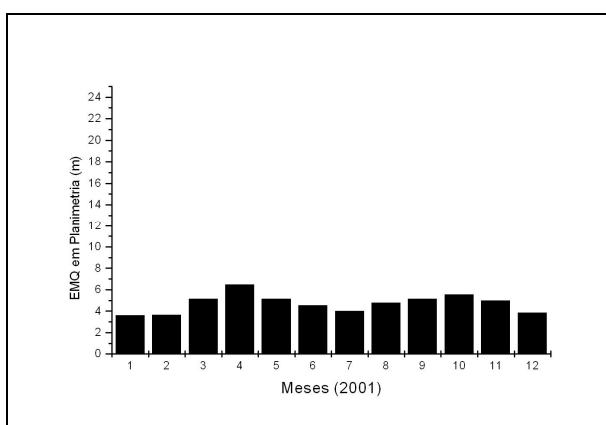


Fig. 13 – Médias mensais dos valores diários do EMQ em planimetria – Posicionamento por ponto – 2001 - Estação UEPP.

Pode-se verificar que o EMQ em planimetria apresenta valores bem menores do que para o EMQ em altitude geométrica, além de se mostrar menos correlacionado com o comportamento do VTEC. Isso se explica pelo fato de que a geometria dos satélites favorece a compensação no plano horizontal do erro devido à ionosfera que contaminam as observáveis, estando, portanto a posição planimétrica compensada de parte dos erros devido à ionosfera.

As investigações realizadas também mostraram que o posicionamento por ponto na região brasileira de latitudes baixas é muito afetado no período de ocorrência da anomalia equatorial noturna (MATSUOKA, 2007; MATSUOKA e CAMARGO, 2007). Inclusive, também se tem verificado que modelos da ionosfera aplicados na correção das observáveis GPS possuem limitações principalmente no período da anomalia equatorial noturna. Exemplificando, a figura 14 apresenta o comportamento diário para outubro de 2001 do erro em altitude geométrica para a estação UEPP (posicionamento por ponto – pseudodistância-C/A), onde dois tipos de estratégias de processamentos foram considerados: o primeiro usando dados sem correção do erro devido à ionosfera (**SCI**); e no segundo com dados aplicados a priori a correção da ionosfera utilizando o Modelo Global da Ionosfera do IGS (*International GNSS Service*) (**CCI**).

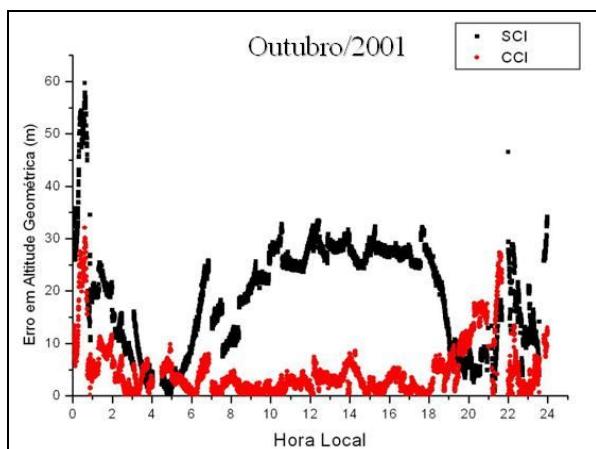


Figura 14 – Erro em altitude geométrica – Outubro/2001
Estação UEPP.

Pode-se verificar na figura 14 que o modelo da ionosfera tem uma maior eficiência durante o período do dia, quando a ionosfera se comporta de maneira mais regular, e pode-se perceber uma deficiência na correção no período após as 21 horas local, aproximadamente, persistindo até algumas horas da madrugada. Nesse mês sabe-se que nesse horário tem-se a presença da anomalia equatorial de ionização e a possível a ocorrência de cintilação ionosférica.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ionosfera é uma das principais fontes de erro sistemático no posicionamento GPS, e o seu estudo é de extrema importância principalmente na região brasileira, que se encontra na região equatorial da ionosfera, onde altos valores e variações na densidade de elétrons livres são encontrados.

Neste capítulo apresentou-se uma revisão geral sobre os efeitos da ionosfera nas observáveis GPS e no posicionamento por ponto na região brasileira. Os resultados apresentados nesta oportunidade são advindos de dados coletados durante o último período de alta atividade solar, e com dias classificados como calmos, em termos de atividade geomagnética. Como destaque das análises efetuadas, evidenciou-se que um dos principais fatores limitantes no posicionamento é a Anomalia Equatorial de Ionização, principalmente em seu pico noturno, onde até mesmo a eficiência de modelos da ionosfera fica bastante limitada.

Outros estudos já foram realizados, quer seja com a participação de ambos, quer seja com a de pelo menos um dos atores desse capítulo. Citam-se, por exemplo: os efeitos de tempestades geomagnéticas e de explosões solares no posicionamento por ponto (MATSUOKA et al., 2006; MATSUOKA et al., 2008); estudo da melhora do posicionamento por ponto no período de baixa atividade solar (MATSUOKA e CAMARGO, 2007b); efeitos da ionosfera no posicionamento relativo (DAL POZ e CAMARGO, 2006; DAL POZ et al., 2008).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, C.R.; CAMARGO, P.O.; DAL POZ, W.R.. Comportamento do TEC na Região Brasileira de Baixa Latitude Usando Observaveis GPS. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente. *Anais...*, 2007. v. 1. p. 635-639.
- APPLETON, E.V.. Two anomalies in the ionosphere. *Nature*, 157, 691, 1946.
- BATISTA, I.S.. *Introdução à ionosfera e a propagação de ondas*. Notas de curso ministrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente/SP, 2003.
- BATISTA, I. S.; MEDEIROS, R.T.; ABDU, M.A.; SOUZA, J.R.; BAILEY, G.J.; PAULA, E.R.. Equatorial ionospheric vertical plasma drift model over the Brazilian region, *Journal of Geophysical Research*, v.101, NO.A5, p.10,887-10,892, May, 1996.
- CAMARGO, P.O.. 1999. *Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores de uma freqüência*. 191p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- DAL POZ, W. R. ; CAMARGO, P. O. . Conseqüências de uma Tempestade Geomagnética no Posicionamento Relativo com Receptores GPS de Simples Freqüência. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 12, p. 275-294, 2006.
- DAL POZ, W.R.; CAMARGO, P.O.; AGUIAR, C.R.. Período de mínima atividade solar: melhora no desempenho do posicionamento relativo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, p. 35-54, 2008.
- DAVIES, K.. **Ionospheric Radio**. London: Peter Peregrinus Ltd., 580p., 1990.
- EL GIZAWY, M.L.. 2003. **Development of an ionosphere monitoring technique using GPS measurements for high latitude GPS users**. 161p. Msc thesis – Department of Geomatics Engineering, UCGE Report nº 20171, The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.
- FEDRIZZI, M.. **Estudo do efeito das tempestades magnéticas sobre a ionosfera utilizando dados do GPS**. 2003. 223p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- FEJER, B.G.; FARLEY, D.T.; WOODMAN, R.F.; CALDERON, C.. Dependence of Equatorial F Region Vertical Drifts on Season and Solar Cycle. **Journal of Geophysical Research**, v.84, n.A10, oct. 1979.
- KLOBUCHAR, J.A.. Ionospheric Effects on GPS (Chapter 12). In: Parkinson, B. W.; Spilker, J. J.. ed. **Global Positioning System: theory and applications**. Washington: AIAA, v.1, 1996. (Progress in Astronautics and Aeronautics, 163).
- KOMJATHY, A.; SPARKS, L.; MANNUCCI, A.J.; XIAOQING, P.. An assessment of the current WAAS ionospheric correction algorithm in the south american region. **Journal of the Institute of Navigation**, v.50, n.3, p.193-218, 2003.
- LEICK, A.. **GPS satellite surveying**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 560p. 1995.
- MARQUES, H. A. **Influência da Ionosfera no Posicionamento GPS: Estimativa dos Resíduos no Contexto de Duplas Diferenças e Eliminação dos Efeitos de 2^a e 3^a Ordem**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- MATSUOKA, M.T.; CAMARGO, P.O.. Cálculo do TEC usando dados de receptores GPS de dupla freqüência para a produção de mapas da ionosfera para a região brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.56/01, p.14-27, 2004.
- MATSUOKA, M.T.; CAMARGO, P.O.; BATISTA, I.S.. Impacto de explosões solares no comportamento da ionosfera e no posicionamento com GPS na região brasileira: Estudo de caso para o dia 28 de outubro de 2003. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.12, n.2, p.315-334, 2006.
- MATSUOKA, M.T.. 2007. **Influência de diferentes condições da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS: Avaliação na região brasileira**. 263p. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente/SP.
- MATSUOKA, M.T.; CAMARGO, P.O.. Correção Ionosférica Utilizando os Mapas Globais do TEC do IGS: Avaliação no posicionamento por ponto na região brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 13, p. 253-270, 2007.
- MATSUOKA, M.T.; CAMARGO, P.O.. Ciclo de Manchas Solares e o Posicionamento por Ponto com GPS. In: Souza, S.F.; Matsuoka, M.T.. (Org.). **Série em Geomática**: II Seminário Anual de Pesquisas em Geodésia na UFRGS. 1 ed. Porto Alegre/RS: Instituto de Geociências-UFRGS, v. 1, p. 01-08, 2007b.
- MATSUOKA, M T ; CAMARGO, P. O. ; BATISTA, Inez Staciariini . Posicionamento por GPS na região brasileira durante a intensa tempestade geomagnética de 29 de outubro de 2003. **Pesquisas em Geociências** (UFRGS), 2008 (no prelo).
- McNAMARA, L.F.. **The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding**. Florida: Krieger Publishing Company, 237p., 1991.
- NCAR (National Center for Atmospheric Research) – on line – endereço eletrônico: <http://www.ucar.edu/news/releases/2006/sunspot.shtml>, acesso em outubro de 2006.
- RODRIGUES, F.S.R.. **Estudo das irregularidades ionosféricas equatoriais utilizando sinais GPS**. 2003. 151p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- SAHAI, Y.; FAGUNDES, P.R.; BITTENCOURT, J.A. Transequatorial F-region ionospheric plasma bubbles: solar cycle effects. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 62, n. 15, 1337-1383, Oct. 2000.
- SEEBER, Gunter.. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin-New York: Walter de Gruyter, 589p., 2003.
- SKONE, S.; KNUDSEN, K.; DE JONG, M.. Limitations in GPS receiver tracking performance under ionospheric scintillation conditions. **Phys. Chem. Earth (A)**, v. 26, n. 6-8, p. 613-621, 2001.
- WEBSTER, I.. 1993. **A Regional Model for Prediction of Ionospheric Delay for Single Frequency Users of the Global Positioning System**. M.Sc.E Thesis – Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, New Brunswick, Canada.

POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO COM RECEPTOR GPS DE NAVEGAÇÃO

Daniel Mottin Soares¹, Marcelo Tomio Matsuoka², Sérgio Florêncio de Souza²

¹ Curso de Engenharia Cartográfica, Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {dmsoares@yahoo.com}

² Laboratório de Pesquisas em Geodésia (LAGEO), Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {tomio.matsuoka@ufrgs.br ; sergio.florencio@ufrgs.br }

RESUMO: O uso convencional de um receptor GPS de navegação possibilita obter normalmente posições com precisão métrica, no qual o receptor faz uso da pseudodistância (C/A) para realizar o posicionamento por ponto (absoluto) simples. O receptor não armazena as informações provenientes de pseudodistância e fase da onda portadora em L1, impossibilitando um pós-processamento utilizando métodos mais precisos de posicionamento, como é o caso do posicionamento relativo. Este trabalho apresenta um protótipo capaz de coletar e armazenar as observações de pseudodistância e fase da onda portadora recebidas por um receptor GPS de navegação. O protótipo é uma alternativa de baixo custo para o posicionamento por GPS devido a maneira que é concebido. Após a coleta em campo, um aplicativo computacional livre específico é utilizado para extrair as informações advindas dos sinais dos satélites GPS e armazená-las em um arquivo digital. A seguir, este arquivo é transformado com o uso de outro programa livre para o formato RINEX, possibilitando realizar o processamento dos dados utilizando o método de posicionamento relativo. Os resultados obtidos do posicionamento relativo estático com linhas-base curtas utilizando os dados do protótipo desenvolvido conseguiram, na maioria dos casos, obterem qualidade decimétrica e centimétrica, quando comparados aos resultados advindos de um receptor Topográfico. Como ponto base do posicionamento relativo foi utilizada a estação POAL da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), cujos dados são disponíveis gratuitamente pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Palavras chaves: GPS, receptor de navegação, posicionamento relativo.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de receptores de navegação do Sistema de Posicionamento Global (GPS – *Global Positioning System*) nos dias de hoje está muito difundida nos mais variados segmentos da sociedade. Um dos motivos que contribuiu para este fato foi a desativação pelo Governo Norte-Americano em Maio de 2000 da técnica proposital de deterioração da acurácia do GPS chamada *Selective Availability* (SA). Quando ela estava ativada, a acurácia instantânea proporcionada pelos receptores de navegação era em torno de 100 e 140 m para a posição horizontal e vertical, respectivamente, com 95% de nível de confiança (MONICO, 2007). Atualmente, com a desativação da SA, a acurácia média global da posição instantânea obtida pelos receptores de navegação é menor do que 13 m e 22 m, respectivamente para posicionamento horizontal e vertical com 95% de probabilidade (SEEBER, 2003).

Os receptores de navegação usam o posicionamento por ponto (absoluto) simples em tempo real para fornecer a sua posição instantaneamente. No entanto, eles não são capazes de armazenar as observáveis de pseudodistância e/ou fase da onda

portadora (também chamados popularmente de “dados brutos”) transmitidas pelos satélites GPS, impossibilitando o seu uso em outra gama de atividades de posicionamento que exige maior precisão e acurácia.

Após a divulgação pelo fabricante de receptores GARMIN, do protocolo de entrada e saída de dados de alguns modelos de seus receptores de navegação GPS, foram desenvolvidos programas de computador capazes de obter os dados brutos advindos dos receptores desta marca. Estes programas possibilitam extrair as informações necessárias para a geração de um arquivo de dados brutos de receptores de navegação possibilitando realizar o pós-processamento, e portanto, técnicas mais adequadas de posicionamento, como o posicionamento relativo.

A motivação principal deste trabalho é mostrar a possibilidade de se adquirir, com baixo custo, coordenadas com níveis de acurácia melhores que os convencionalmente obtidos dispondo de receptores de navegação.

Neste trabalho, os experimentos realizados tiveram como objetivo realizar o posicionamento relativo estático com linhas-base curtas, utilizando os dados GPS adquiridos pelo protótipo desenvolvido, tendo como ponto base a estação POAL da RBMC

(Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) cujos dados são disponíveis gratuitamente pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Os mesmos pontos foram ocupados também por um receptor GPS Topográfico, equipamento normalmente utilizado para realizar o posicionamento relativo em linha-base curta. Os resultados de ambos, com o protótipo desenvolvido com receptor de navegação e com o uso do receptor Topográfico, foram comparados.

É importante salientar que este trabalho não tem a pretensão de sugerir a substituição dos receptores Topográficos por equipamentos de navegação, muito menos fazer a divulgação ou propaganda da marca GARMIN. A qualidade posicional gerada pelos receptores Topográficos acredita-se ser sempre superior às originadas pelos receptores de navegação. Além disso, em diversas atividades de cunho oficial, existem Normas Técnicas que devem ser seguidas e respeitadas, e desta forma, não se tem a mínima pretensão de sugerir o uso imediato deste protótipo contrapondo qualquer Norma Técnica Oficial vigente.

2. REVISÃO: TRABALHOS DESENVOLVIDOS SOBRE O TEMA

Vários trabalhos nacionais e internacionais já foram desenvolvidos sobre o tema, e serão citados na seqüência.

O autor dos programas ASYNC e GAR2RNX usados neste trabalho, Professor Antonio Tabernero Galán (GALÁN, 2002), produziu alguns experimentos utilizando seus programas para a geração de arquivos de observação GPS de receptores de navegação. Seus experimentos foram de dois tipos. O autor usou um protótipo contendo um notebook conectado a um receptor GARMIN GPS 12 e seu software ASYNC instalado, o qual coleta as informações de fase da onda portadora e pseudodistância (código C/A) e os armazena num arquivo binário no computador portátil. Após a coleta é usado o outro software (GAR2RNX) para converter esse arquivo binário em um arquivo RINEX para o pós-processamento. No primeiro experimento foram realizadas coletas em 7 dias, sendo 8 seções em cada dia. O autor usou o processamento relativo estático usando três soluções que o software de processamento utilizado fornece e comparou os resultados. O outro experimento realizado simulou uma pequena rede usando dois protótipos ocupando dois pontos, e montando três linhas-base, uma entre os dois protótipos e as outras duas usando uma estação permanente ligando cada um dos protótipos. Os resultados mostraram precisão planimétrica decimétrica. O autor fez ressalvas quanto aos cuidados de multicaminho, além de outras precauções, pois em alguns casos atingiu-se acurácia em torno do metro.

Um trabalho argentino sobre o tema foi desenvolvido por Gende et. al. (2006). A investigação mostrou exatidão planimétrica de 0,3 m para linhas de base menores que 30 km e na ordem de metro para linhas de base entre 30 km e 300 km. As variações de

ocupação variam de 30 min para as linhas de base de até 30 km e maiores que 60 min para as linhas de base maiores que 30 km. Ressalta-se aqui que os resultados foram efetivados retirando-se os problemas de ruídos e trechos de observações que pudessem piorar a qualidade dos resultados.

O pioneiro brasileiro no estudo do tema é o Grupo de Estudo em Geodésia Espacial (GEGE) da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista (FCT/UNESP) (Guimarães e Camargo, 2007; Camargo et al., 2005; Florentino et al., 2005; Florentino e Camargo, 2005; Camargo et al., 2003). Citando um dos últimos trabalhos, Guimarães e Camargo (2007) avaliaram o protótipo desenvolvido com o receptor de navegação e antena externa na utilização em trabalhos de georreferenciamento de imóveis rurais, relativo à Lei nº 10.267. Vários pontos foram coletados com tempos de observações de 30 min variando-se as linhas de base de 20 m até 20 km. Após o processamento dos dados que exigiu uma certa experiência, pois alguns dados tinham muitos ruídos, todos os pontos ficaram com precisão e acurácia abaixo de 50 cm e não mostraram correlação com os tamanhos das linhas de base. Os autores recomendam a continuidade nos estudos sobre esta tecnologia que, além do baixo custo, apresenta muitas possibilidades no que diz respeito a precisões decimétricas.

Nessa mesma linha de pesquisa tem-se o trabalho de Kruger e Tranches (2006). Os resultados do posicionamento relativo estático obtidos com o protótipo desenvolvido foram comparados com as coordenadas de alguns marcos geodésicos de redes geodésicas de instituições públicas do Paraná. As acuráncias planimétricas foram inferiores a 26,2 cm e os erros relativos bidimensionais (desvios) nas coordenadas (latitude e longitude) para um nível de confiança de 67% variaram de 2,4 cm para uma linha de base em torno de 10 km até 22,46 cm para uma linha de base em torno de 125 km.

3. APlicativos COMPUTACIONAIS: ASYNC E GAR2RNX

ASYNC e GAR2RNX são aplicativos livres desenvolvidos na Escola Politécnica de Madri pelo professor Antonio Tabernero Galán (GALÁN, 2002). Com o documento publicado pela empresa Garmin (1999) tornou-se possível interpretar os dados transmitidos pela saída serial do receptor de navegação no instante de funcionamento. Estes dados transmitidos, na literatura também denotados por dados brutos, são fundamentais para a realização do pós-processamento.

Os aplicativos computacionais desenvolvidos por Galán (2002) estão escritos na linguagem C e são disponibilizados na internet juntamente com seus códigos fonte. Esses programas são usados na captura dos dados brutos e na conversão destes dados em formato RINEX. O aplicativo ASYNC gera um arquivo binário com as informações necessárias para a criação do arquivo RINEX. O programa GAR2RNX converte o

arquivo binário gerado pelo ASYNC em um arquivo no formato RINEX. Ao final, tem-se um arquivo de observação no formato RINEX contendo as observáveis de pseudodistância (C/A) e fase da onda portadora em L1 advindos de receptor de navegação.

Os aplicativos podem ser adquiridos no endereço:(<http://artico.lma.fi.upm.es/numerico/miembro/s/antonio/async/>). Conectado o receptor de navegação a um computador (notebook, handheld,), pode-se proceder a aquisição das observáveis GPS com o aplicativo ASYNC. Os aplicativos tem versões para os sistemas DOS e LINUX, sendo utilizado neste trabalho a versão DOS. A partir, por exemplo, do comando:

“ASYNC -P COM4 -A -R -RINEX -T 3600”,

se busca na porta serial COM4 do computador as informações transmitidas pelos satélites GPS (os dados brutos recebidos). A opção, “-A” armazena em hexadecimal as informações binárias recebidas. Na seqüência, a opção “-R” padroniza a requisição no tipo hexadecimal especificado pela opção anterior. A opção “-RINEX” filtra somente as informações essenciais para a geração do arquivo RINEX. O parâmetro que define o tempo de coleta do levantamento, é “-T ttt” (onde ttt é o tempo em segundos, no caso do exemplo, 1 hora de coleta).

O nome do arquivo gerado é o valor do segundo da semana GPS no instante em que o programa ASYNC é acionado, com a extensão .G12. Com os arquivos brutos gerados é possível sua conversão para arquivos de navegação e de observação no formato RINEX através dos seguintes comandos:

“GAR2RNX nomearq.G12 -NAV -F”
“GAR2RNX nomearq.G12 -RINEX -ETREX -F”,

O primeiro comando gera o arquivo de navegação (efemérides transmitidas) e o segundo gera o arquivo de observação. A opção -ETREX, obviamente, significa que o receptor GARMIN de navegação utilizado é um modelo conhecido como eTrex.

4. PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

O protótipo desenvolvido, denominado aqui por SISTEMA DE COLETA DE DADOS DE RECEPTOR DE NAVEGAÇÃO (**SCDRNav**), é composto por um notebook, um receptor GPS de navegação modelo eTrex Summit da marca GARMIN, cabos de conexão entre receptor e computador e o software ASYNC. Procurou-se aqui desenvolver o protótipo pela maneira mais simples, ou seja, o presente trabalho buscou montar um protótipo de baixo custo financeiro. Conseqüentemente este protótipo possui algumas limitações devido à adaptabilidade dos equipamentos utilizados na sua montagem. Um exemplo é a baixa autonomia do protótipo, que depende da bateria do Notebook utilizado, que possui capacidade de funcionamento de aproximadamente 2 horas. Outra

limitação é quanto à antena, uma vez que não se utiliza nenhuma antena externa. Para este trabalho a idéia era justamente avaliar um protótipo da forma mais simples, com o mais baixo custo.

A figura 1 apresenta o protótipo desenvolvido em coleta de dados.



Fig. 1 – SCDRNav em coleta de dados

O sistema é utilizado para coleta de dados GPS advindos de receptor de navegação. O programa ASYNC, previamente instalado no notebook, recebe os dados provenientes do receptor através da saída serial. O programa ASYNC os interpreta e armazena em um arquivo binário no computador portátil. Os dados brutos recebidos são as pseudodistâncias sobre o código C/A e as fases da onda portadora L1, porém em formato binário. Estes arquivos binários são convertidos posteriormente para o formato RINEX com o uso do programa GAR2RNX. Na tabela 1 é apresentado o custo aproximado do protótipo desenvolvido.

TABELA 1 - CUSTO APROXIMADO DO SCDRNav

Equipamento	Custo aproximado (em R\$)
Notebook (configuração básica)	1.600,00
Receptor GPS GARMIN eTrex Summit	600,00
Cabos de conexão	100,00
Total	2.300,00

5. EXPERIMENTO, RESULTADOS E ANÁLISES

O experimento realizado teve como objetivo comparar os resultados do posicionamento relativo estático em uma linha-base curta utilizando como rover o protótipo desenvolvido (SCDRNav) e um receptor Topográfico. Como estação base foi utilizada a estação

POAL da RBMC. O receptor Topográfico utilizado é da marca Thales Navigation/Ashtech, modelo PROMARK II. Desta forma, o objetivo foi analisar as discrepância entre os resultados do SCDRNav com relação aos obtidos com um receptor (Topográfico) que convencionalmente é utilizado em posicionamento relativo de base curta.

Foram ocupados 22 pontos com ambos os receptores, o SCDRNav e o Topográfico, com tempo de coleta de 1 hora para cada ponto. A tabela 2 apresenta as coordenadas geodésicas dos pontos e o comprimento da linha-base formada com relação à estação POAL.

TABELA 2 – PONTOS OCUPADOS (Coordenadas obtidas com a ocupação do receptor Topográfico)

Pontos	Latitude (S)	Longitude (W)	Linha-base (m)
1	30° 04' 02,1650"	51° 07' 16,4278"	764,309
2	30° 04' 27,3093"	51° 07' 10,7992"	25,158
3	30° 04' 23,4742"	51° 07' 11,2963"	94,867
4	30° 04' 23,3456"	51° 07' 11,1973"	98,755
5	30° 04' 23,4127"	51° 07' 11,2377"	96,710
6	30° 04' 23,4516"	51° 07' 11,1879"	95,523
7	30° 01' 58,0320"	51° 11' 46,3609"	8675,478
8	30° 04' 26,8559"	51° 07' 11,0246"	13,503
9	30° 02' 11,5079"	51° 11' 13,7162"	7714,497
10	30° 03' 22,7519"	51° 13' 53,5584"	10955,930
11	30° 04' 03,5819"	51° 07' 10,2553"	707,934
12	30° 02' 43,4801"	51° 14' 00,9889"	11427,342
13	30° 02' 08,7210"	51° 11' 13,5508"	7757,334
14	30° 01' 58,6338"	51° 11' 46,2022"	8662,329
15	30° 04' 02,6134"	51° 07' 16,7670"	752,512
16	30° 02' 11,4517"	51° 11' 13,6311"	7713,444
17	30° 02' 05,4312"	51° 14' 29,9309"	12531,486
18	30° 04' 03,7660"	51° 07' 10,4012"	702,204
19	30° 04' 19,2368"	51° 13' 39,2843"	10397,561
20	30° 04' 23,4742"	51° 07' 11,2963"	93,401
21	30° 04' 24,9387"	51° 07' 15,9091"	134,504
22	30° 04' 19,9342"	51° 13' 40,3478"	10427,984

Após a coleta dos dados, realizou-se o processamento das linhas-base utilizando o software GPSurvey versão 2.35a. No processamento foram utilizadas as efemérides transmitidas. Foram adotadas as coordenadas da base POAL referenciadas ao SIRGAS2000. As coordenadas obtidas de cada ponto, com o SCDRNav e com o receptor Topográfico, foram comparadas.

A tabela 3 apresenta as diferenças entre as coordenadas estimadas pelo SCDRNav e pelo receptor topográfico, considerando a linha de base formada com a estação POAL (linha-base curta). Os resultados são apresentados em termos de diferenças de coordenadas UTM (ΔE , ΔN) e altitude geométrica (Δh), bem como a resultante das diferenças planimétricas ($\Delta P = (\Delta E^2 + \Delta N^2)^{1/2}$). O ordenamento da tabela se dá em ordem crescente do erro planimétrico.

TABELA 3 – DIFERENÇAS ENTRE OS RESULTADOS DE SCDRNav E RECEPTOR TOPOGRÁFICO – POSICIONAMENTO RELATIVO (BASE: POAL)

Pontos	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔP (m)	Δh (m)
1	-0,011	-0,003	0,011	-0,038
2	-0,002	-0,013	0,013	2,008
3	-0,01	-0,009	0,013	0,09
4	0,015	0,002	0,015	0,121
5	0,012	-0,015	0,019	0,088
6	0,026	0,001	0,026	0,058
7	-0,027	-0,005	0,027	1,076
8	0,026	0,014	0,03	2,036
9	0,027	0,023	0,035	0,024
10	0,037	0,004	0,037	1,054
11	0,043	0,009	0,044	-0,048
12	0,054	-0,036	0,065	0,054
13	0,065	0,016	0,067	0,024
14	0,075	0,016	0,077	-0,019
15	0,235	-0,019	0,236	0,392
16	0,266	0,036	0,268	0,409
17	0,256	0,111	0,279	0,058
18	0,321	-0,025	0,322	-0,797
19	0,282	-0,182	0,336	0,118
20	-0,447	0,064	0,452	2,407
21	-0,506	-0,009	0,506	2,071
22	-0,478	-0,502	0,693	-2,012

Analizando os valores da tabela 3, com relação às diferenças planimétricas das coordenadas estimadas por ambos receptores, verificam-se a variação no intervalo de 0,011 m até 0,693 m.

Calculando com base nos resultados de todos os pontos o Erro Médio Quadrático (EMQ), tem-se para a planimetria um EMQ de 0,251 m, e para a altitude geométrica de 1,079 m.

Em outra análise efetuada sobre os valores da tabela 3 pode-se concluir que:

- 90% dos pontos comparados atingiram diferenças abaixo de 0,452 m em planimetria e 2,036 m em altimetria;
- 80% dos pontos apresentaram diferenças abaixo de 0,322 m em planimetria e 2,008 m em altimetria;
- 70% dos pontos ficaram abaixo de 0,236 m em planimetria e 0,797 m em altimetria;
- 60% ficaram abaixo de 0,067 m em planimetria e 0,392 m altimetria e;
- 50% das amostras apresentaram diferenças planimétricas abaixo de 0,044 m e diferenças altimétricas abaixo de 0,118 m.

Desta forma, considerando uma linha-base curta, os resultados mostram que de uma forma geral

obteve-se para a posição horizontal diferenças decimétricas, e em, aproximadamente, 60% dos casos até centimétrica, quando se compara os resultados advindos do protótipo desenvolvido com o receptor de navegação (SCDRNav) com o do receptor Topográfico. Para a altitude geométrica, como já era esperado, as diferenças são maiores, ficando na ordem do decímetro até poucos metros.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A possibilidade de encontrar receptores comerciais de baixo custo que atinjam precisões decimétricas é inexistente no mercado atual. As possibilidades se restringem aos receptores de navegação que apresentam qualidade posicional de vários metros e os receptores Topográficos com qualidade de poucos centímetros. Sem considerar ainda os equipamentos de dupla freqüência (geodésicos) que atingem qualidade posicional superior.

Neste artigo foi apresentado um protótipo desenvolvido para a obtenção das observações GPS de receptor de navegação. O protótipo é composto de um *notebook*, um receptor de navegação modelo eTrex Summit da marca GARMIN, conectado por cabos. Com o uso dos aplicativos computacionais ASYNC e GAR2RNX (desenvolvidos por GALAN, 2002) podem-se obter ao final os arquivos de observação no formato RINEX do receptor de navegação, possibilitando realizar o processamento do posicionamento relativo.

O experimento realizado neste trabalho, consistiu em analisar e comparar os resultados do posicionamento relativo estático de linha-base curta advindos do protótipo desenvolvido (que recebeu o nome de SCDRNav) e de um receptor Topográfico. A estação base foi a POAL da RBMC.

Os resultados mostram que de uma forma geral obteve-se para a posição horizontal diferenças decimétricas, e em, aproximadamente, 60% dos casos até centimétrica. Para a altitude geométrica, as diferenças foram maiores, ficando na ordem do decímetro até poucos metros.

É importante ressaltar que o protótipo desenvolvido não utiliza antena externa, havendo, desta forma, limitações da qualidade, principalmente devido à efeitos de multicaminho e centragem e nivelamento da antena interna do receptor de navegação nos pontos. Porém, para este trabalho o que se procurou testar era a montagem de um protótipo da maneira mais simples e com o menor custo possível. Em trabalhos futuros pretende-se utilizar um tripé e desenvolver uma base nivelante para o receptor de navegação para poder fazer a centragem e o nivelamento, bem como, se afastar do solo.

Também, pretende-se em outros experimentos avaliar linhas-base maiores e realizar ocupação em pontos com coordenadas conhecidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, P.O.; FLORENTINO, C.; GUIMARÃES, G.N.. Georreferenciamento de imóveis rurais com receptores GPS de navegação. XVII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005, Macaé. *Anais*. 2005.
- CAMARGO, P.O.; REDIVO, I.A.C.; FLORENTINO, C.. Posicionamento com Receptores GPS de Navegação. XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2003, Belo Horizonte. *Anais*. 2003.
- FLORENTINO, C.; CAMARGO, P.O.. Avaliação da qualidade do posicionamento relativo estático com receptor GPS de navegação. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2005, Curitiba. *Anais*. 2005.
- FLORENTINO, C.; CAMARGO, P.O.; PEREIRA, A.A.; GUIMARÃES, G.N.. Cálculo de áreas a partir de coordenadas obtidas do posicionamento relativo com receptor GPS de navegação. XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005, Macaé. *Anais*. 2005.
- GALÁN, A . T.. *Obtaining Raw Data Form Some Garmin Units* – Disponível on-line: <http://artico.lma.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/async/> - acesso em maio de 2008.
- GENDE, M.; MACKERN, M.V.; BRUNINI, C.. Posicionamiento diferencial mediante el uso de navegadores satelitales. *GEOACTA*, v.31, p.51-56, 2006.
- GUIMARÃES, G.N.; CAMARGO, P. O.. Avaliação da Potencialidade do Posicionamento com Receptores GPS de Navegação em Atendimento ao Georreferenciamento de Imóveis Rurais. II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente. *Anais*. p. 592-597. 2007
- KRUEGER, C.P.; TRANCHES, S.. Verificação da Possibilidade em se realizar Georreferenciamento de Imóveis Rurais através de Observações da Onda Portadora L1 coletadas por Meio de Receptores GPS de Navegação. COBRAC 2006 – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinaliátrio, Florianópolis. *Anais*. 2006.
- MONICO, J.F.G.. *Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: Editora Unesp, 2007. 476 p.
- SEEBER, G.. *Satellite Geodesy*. 2.ed. Berlin-New York: Walter de Gruyter, 2003, 589p.

APLICAÇÕES DO TESTE DE FILLIBEN PARA AVALIAÇÃO DA NORMALIDADE DE AMOSTRAS

Gilberto Gagg¹

¹ Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {gilberto.gagg@ufrgs.br}

RESUMO: Na modelagem estocástica de muitos fenômenos, um dos grandes desafios está em se assumir a hipótese de que os dados amostrais seguem uma distribuição normal. Os chamados testes de aderência são instrumentos da estatística matemática que servem como auxílio na tomada de decisões no que se refere à melhor adequação de um modelo distributivo para uma dada amostra. Há vários testes de aderência apresentados na literatura específica, entre eles o teste de Filliben, que se baseia no coeficiente de correlação linear do gráfico de probabilidades normal. O teste de Filliben é usado na avaliação da normalidade de amostras, com resultados satisfatórios para pequenas amostras. Consiste em calcular o coeficiente de correlação linear de Pearson e compará-lo com valores tabelados segundo o número de pontos das amostras e níveis de confiança distintos. Quanto mais próximo da unidade, mais evidente a hipótese de normalidade ser confirmada no teste de hipótese. Neste trabalho são apresentadas algumas aplicações do teste de Filliben, com ênfase no estudo de algumas amostras testadas para avaliação da ocorrência de subsidência na região da Barragem Bento Munhoz da Rocha-PR, a partir de dados gravimétricos obtidos antes e após o enchimento da barragem. Também são apresentados os princípios teóricos simplificados do método.

Palavras chaves: Normalidade, Filliben.

1. INTRODUÇÃO

Muitas análises estatísticas são feitas pressupondo-se que as populações que originaram as amostras são normalmente distribuídas. Quando se aplica, por exemplo o emparelhamento de dados (caso de populações correlacionadas) e a Análise da Variância, considera-se que as populações são normalmente distribuídas. No entanto, nem sempre essa condição de normalidade é checada previamente, o que permite que testes estatísticos sejam conduzidos a partir de pressupostos falsos. Quanto menor a amostra ($n < 20$), a avaliação da normalidade torna-se mais importante.

Historicamente, entre os primeiros testes estatísticos aplicados para avaliação da normalidade, eram utilizados testes denominados 3º. momento padrão e 4º. momento padrão, o teste estatístico de Filliben (FILLIBEN, 1975) que impõe um esquema linear ponderado nas observações ordenadas, e outros. O teste χ^2 também é empregado, não sendo entretanto um teste geral, havendo restrições para seu uso. Para amostras pequenas, experimentos demonstraram que o teste χ^2 não apresenta resultados satisfatórios ou contundentes na verificação da distribuição amostral a um modelo teórico. Já para amostras com mais de 50 elementos, tem-se observado na prática que o teste de aderência do χ^2 fornece resultados satisfatórios. (CARVALHO & VIEIRA, 2004).

O teste estatístico r combina dois conceitos fundamentalmente simples: um gráfico de probabilidade e o coeficiente de correlação. Pode ser empregado tanto

para amostras pequenas, como para grandes. Filliben, efetuou estudos para checar o poder do teste e constatou que sua comparação é favorável com outros sete testes estatísticos normais (VOGEL, R.M., 1986).

2. APLICAÇÕES DIVERSAS

O teste estatístico de Filliben é uma opção para avaliação da adequação de modelos geoestatísticos e valores empíricos obtidos no processo de amostragem.

Um exemplo da aplicação do teste pode ser encontrado em (FARACO et al, 2008), no qual são estudados modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. Recorre a dados amostrados em locais previamente escolhidos, que são modelados em um semivariograma experimental. É feita uma estimativa da semivariância empírica para ajuste a um modelo teórico. Para escolha do modelo teórico de correlação espacial, são empregados métodos de validação que comparam valores teóricos do modelo geoestatístico escolhido e os valores da amostra, sendo o critério de Filliben um deles. São adotadas estimativas por krigagem e testados se os resíduos ortonormais seguem distribuição normal. No trabalho em questão, a hipótese de que os dados seguem uma distribuição normal não foi rejeitada para um nível de significância $\alpha=1\%$.

Para o estudo de previsões hidrológicas de sistemas de alerta de bacias hidrográficas, foram analisados os gráficos de probabilidade normal de séries

de erros horários de previsão de vazões no caso Ponte Nova, Bacia do Rio Doce, aplicando-se o teste de Filliben. O teste conduziu a não aceitação da hipótese de normalidade (QUIEROGA et al, 2005).

Em trabalhos que visam analisar a qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD (LEAL & DALMOLIN, 2001), recorre-se a testes estatísticos tanto na avaliação dos erros cometidos, como na validação da qualidade posicional e classificação das bases cartográficas. Neste caso específico, foi feito o estudo e análise das discrepâncias obtidas entre as coordenadas de pontos de controle coletadas com receptores geodésicos GPS, e suas homólogas obtidas a partir de uma carta gráfica. Recorreu-se à distribuição t de Student na análise da acurácia, indicada no caso de amostras pequenas. A normalidade da amostra foi checada através do teste de Filliben, que confirmou a mesma.

Aplicações semelhantes propõem metodologias para atualização de áreas de ocupações irregulares em bases cadastrais de pequenos municípios através do uso de imagens de satélite de alta resolução espacial, no caso Quickbird (BEPPLER & ANTUNES, 2008). A avaliação da metodologia é feita comparando-a com métodos de atualização convencionais, no caso o GPS-RTK. Nas etapas da análise, calculou-se as discrepâncias entre as coordenadas (DE, DN) dos dois métodos, e a partir das mesmas o erro planimétrico resultante, posteriormente ordenado em ordem crescente, premissa para aplicação do teste de Filliben. Após o cálculo do coeficiente de correlação e a análise da normalidade, foi gerado o gráfico Q-Q. O conjunto amostral envolveu as coordenadas coletadas de pontos aleatórios a partir do GPS-RTK e os correspondentes vetorizados na imagem (BEPPLER & ANTUNES, 2008).

Com o objetivo de validar modelos geoestatísticos usados na agroclimatologia, o teste de normalidade de Filliben foi aplicado em resíduos ortonormais com dados de precipitação média anual para o estado de São Paulo (CARVALHO & VIEIRA, 2004). Foram utilizadas 49 observações de precipitação, empregando semivariogramas que representam o nível de dependência entre duas variáveis aleatórias regionalizadas locais, sendo pré-requisito para métodos de interpolação de krigagem muito aplicados nestes casos (CARVALHO & VIEIRA, 2004). Os estudos confirmaram que o teste de Filliben demonstrou-se uma ferramenta eficiente no diagnóstico da validade dos modelos geoestatísticos estimados.

Outra aplicação do teste pode ser encontrada na avaliação da qualidade de pontos gerados por fototriangulação apoiada com pontos LIDAR (Light Detection and Ranging), em que são utilizadas as diferenças entre as coordenadas planialtimétricas de pontos obtidos em campo (GPS) e as calculadas no processo de fototriangulação. O projeto visa à extração semi-automática de pontos de apoio para fototriangulação de blocos fotogramétricos. A normalidade das amostras compostas por estas

discrepâncias é investigada aplicando-se o teste de Filliben. É feita a análise dos gráficos Q-Q plots das componentes planimétrica e altimétrica, sendo que em ambos os casos, a normalidade é constatada tanto gráfica quanto analiticamente (SANHUEZA, J.A.F, 2007).

No Projeto de Auscultação Geodésica (Nivelamento Geométrico) e Gravimétrica na UFPR desenvolvido na região da Barragem bento Munhoz da Rocha-PR, antes e após o enchimento do reservatório, tinha-se como propósito detectar variações verticais da crosta terrestre nas imediações da barragem, ao longo de circuitos que totalizaram 126,5km. Na análise qualitativa dos resultados gravimétricos ficaram confirmados os indícios de subsidência constatados anteriormente na etapa de nivelamento geométrico (GAGG, 1997). Na implementação da avaliação gravimétrica, recorreu-se a testes estatísticos para interpretação dos resultados, uma vez que a variação de g foi da mesma ordem de grandeza dos erros observacionais. O teste de Filliben foi aplicado para checagem da normalidade das amostras compostas pelas discrepâncias dos valores de g medidos nos pontos de altimetria conhecida, antes e após o enchimento da barragem, e em seguida foram feitos os testes de hipótese (GAGG, 2007).

Mais detalhes são apresentados na sequência deste trabalho.

3. PRINCÍPIOS TEÓRICOS

No teste estatístico r são analisadas as observações x_j para se averiguar se as mesmas procedem de uma população normal. Baseando-se nas propriedades das distribuições normais, sabe-se que todas as combinações lineares de variáveis normais são normais (JOHNSON & WICHERN). A investigação da normalidade concentrar-se-á no comportamento das observações em uma ou mais dimensões (por ex: distribuições marginais e gráficos de dispersão) (JOHNSON & WEICHERN). A avaliação da normalidade pode ser feita para distribuições marginais univariadas e bivariadas.

O uso de diagramas de ponto e histogramas para $n > 25$ auxiliam a identificar situações onde uma das caudas é mais longa que a outra no caso de uma distribuição univariada. Sabe-se que a curva normal é simétrica e qualquer desvio mais acentuado pode revelar a não normalidade.

Consideremos x_1, x_2, \dots, x_n as n observações que compõe uma amostra. Os passos para se testar a normalidade são os seguintes:

a) ordenar em ordem crescente as observações x_j e definir as probabilidades correspondentes $p(j)$ que, para uma distribuição normal padronizada z é definida pela relação:

$$P(z \leq q_j) = \int_{-\infty}^{q_j} \left(1/(2\pi)^{1/2}\right) e^{-z^2/2} dz = p(j) = \left(\frac{j-1/2}{n}\right) \quad (1)$$

onde o valor $1/2$ é dito correção de continuidade (JOHNSON & WICHERN). Sendo assim, teremos as observações ordenadas (x_1, x_2, \dots, x_n) e seus valores de probabilidade correspondentes $(1-(1/2))/n$, $(2-(1/2))/n$, ..., $(n-(1/2))/n$. O valor da posição da discrepância é dado pela letra j .

b) determinar o valor de $z = \phi^{-1}((j-1/2)/n)$, que são as quantidades normais padronizadas.

c) calcular o coeficiente de correlação por:

$$r = \text{correl}(z_j, x_j) = \frac{n \sum x_j z_j - (\sum x_j)(\sum z_j)}{\left[n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2\right] \left[n \sum z_j^2 - (\sum z_j)^2\right]}^{1/2} \quad (2)$$

Na equação acima, temos que:

r – coeficiente de correlação entre x_i e z_i .

x_j – valores que compõem a amostra (discrepâncias entre os valores de g).

z – função de distribuição normal.

d) efetuar o teste: se o coeficiente de correlação calculado for maior que o tabelado para certo nível de significância α , aceita-se a normalidade. Deve-se ter então $r_{\text{calc}} > r_{\text{tab}}$.

Filliben desenvolveu uma tabela de r para amostras de vários tamanhos a vários níveis de significância para se avaliar o coeficiente de correlação r (FILLIBEN, 1975 e STENDIGER et al, 1993).

O valor do coeficiente de correlação deve situar-se entre -1 e $+1$.

e) elaborar um gráfico (Q-Q plot) com os pares de observações (z_j e x_j) e examinar sua distribuição.

4. GRÁFICOS Q-Q

Filliben denomina estes gráficos de Q-Q, os quais são bastante utilizados na avaliação da normalidade. Consiste em elaborar um gráfico de dispersão em que a abcissa é composta pelos valores de z_j e a ordenada pelas observações amostrais em cada variável (JOHNSON & WICHERN).

Se os pares de observações posicionam-se dispostos ao longo de uma linha reta, a normalidade é constatada. A normalidade é comprometida se os pontos desviam-se de uma linha reta, sendo importante checar os pontos extremos do gráfico. Segundo JOHNSON & WICHERN, o padrão dos desvios pode proporcionar indícios acerca da natureza da não normalidade. Descobrindo-se as razões da não normalidade, torna-se possível o uso de ações corretivas.

A linearidade da reta obtida num gráfico Q-Q é avaliada calculando-se o coeficiente de correlação dos pontos no gráfico.

Os gráficos Q-Q são particularmente informativos no caso de amostras pequenas. Pode-se encontrar trechos de variabilidade na “reta” inferida no gráfico Q-Q, mesmo que as observações sejam conhecidas como oriundas de uma população normal.

5. TESTES REALIZADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foi efetuada a avaliação da normalidade para amostras compostas de observações gravimétricas feitas na região da Barragem Bento Munhoz da Rocha, antes e após o enchimento do reservatório. Visando-se a interpretação dos dados gravimétricos para checagem da ocorrência de subsídencia na região, optou-se pela adoção do emparelhamento de dados, que pressupõe amostras oriundas de populações normais (GAGG, 1997). A normalidade foi checada para as amostras das linhas Faxinal do Céu, Bituruna e Cruz Machado, para alguns irradiamentos, e para amostras compostas por pontos situados conforme uma proximidade pré-definida em relação ao reservatório (2,5km e 10km).

Quando se constatou a normalidade, o emparelhamento de dados pode ser utilizado; caso contrário, foi necessário optar-se por um teste não paramétrico. Foi elaborado um programa para checagem da normalidade (Normal.exe), através do coeficiente de correlação, e também gráficos com os pares de observação (z_j, x_j), gerados no Excell. Os resultados são apresentados na tabela 1. A letra S (Sim) evidencia a normalidade, e N (Não), caso contrário. O tamanho da amostra é dado por n . Foram empregados os níveis de significância de 1% e 5%.

TABELA 1 – AVALIAÇÃO DE NORMALIDADE

Amostra (Linhas)	Coeficiente de Correlação r			n	Normalidade	
	calc.	tab 1%	tab 5%		$\alpha=1\%$	$\alpha=5\%$
Fax. Céu	0,9428	0,876	0,917	10	S	S
Bituruna	0,9360	0,939	0,959	26	N	N
C. Mach	0,9301	0,919	0,945	18	S	N
10 km	0,9842	0,859	0,905	8	S	S
2,5 km	0,9164	0,925	0,950	20	N	N
Irrad. 14	0,9389	0,847	0,899	7	S	S
Irrad. 19	0,9507	0,822	0,879	5	S	S

Na tabela acima, nota-se que a amostra da linha Bituruna quase teve sua normalidade aceita para $\alpha=1\%$. Já a amostra de pontos com proximidade de 2,5km de fato não confirmou sua normalidade. A amostra Cruz Machado tem sua normalidade confirmada dependendo do nível de significância a ser adotado. Sempre que a normalidade foi aceita, verificou-se $r_{\text{calc}} > r_{\text{tab}}$, ou seja, o valor de r calculado maior que o valor tabelado por Filliben, fato este verificado nas amostras da linha Faxinal do Céu, Proximidade de 10km e irradiamentos 14 e 19.

A seguir são apresentados os gráficos Q-Q de seis das amostras que foram analisadas.

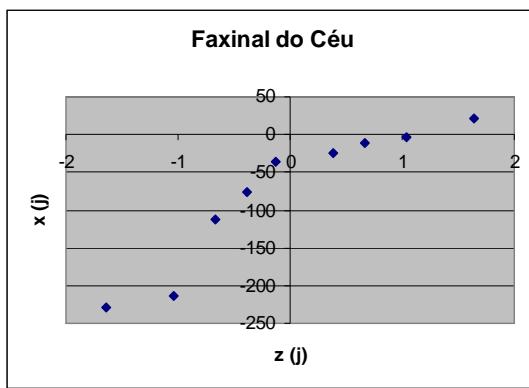


Fig. 1 – Gráfico Linha Faxinal do Céu

O gráfico referente à linha Faxinal do Céu apresenta os pontos mais dispersos. É uma amostra pequena, cujo gráfico sugere a normalidade da amostra, que foi comprovada analiticamente.

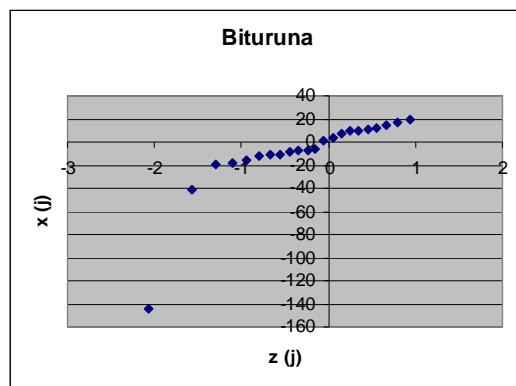


Fig. 2 – Gráfico Linha Bituruna

Para o gráfico referente à linha Bituruna, confirma-se a não normalidade constatada analiticamente. Apresenta um ponto extremo afastado dos demais, podendo ser indicativo de erro pontual.

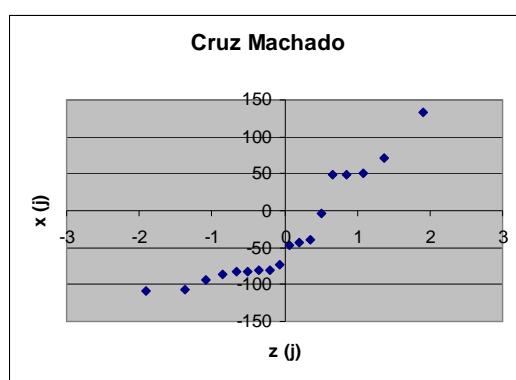


Fig. 3 – Gráfico Linha Cruz Machado

O gráfico para a linha Cruz Machado é de interpretação complexa, fato confirmado analiticamente, uma vez que a normalidade só é verificada dependendo do nível de significância adotado.

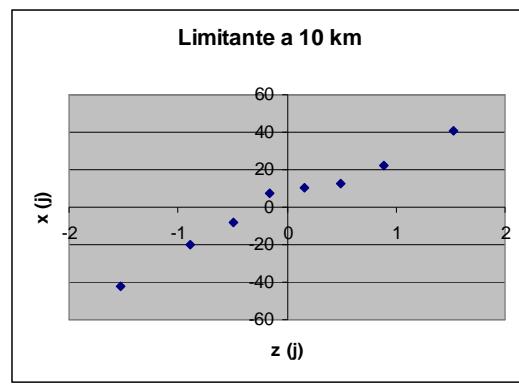


Fig. 4 – Gráfico Limitante a 10Km

Já o gráfico referente à amostra Limitante a 10Km confirma a normalidade obtida pela análise do coeficiente de correlação, uma vez que os pontos estão distribuídos bem próximos à linearidade.

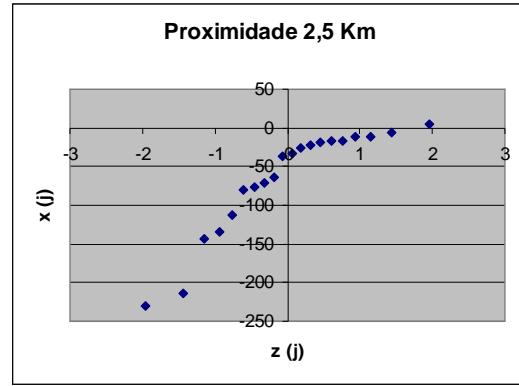


Fig.5 – Gráfico Proximidade de 2,5Km

Para a amostra de pontos com proximidade de 2,5Km, o gráfico apresenta os mesmos não distribuídos próximos de uma reta, descaracterizando a normalidade.

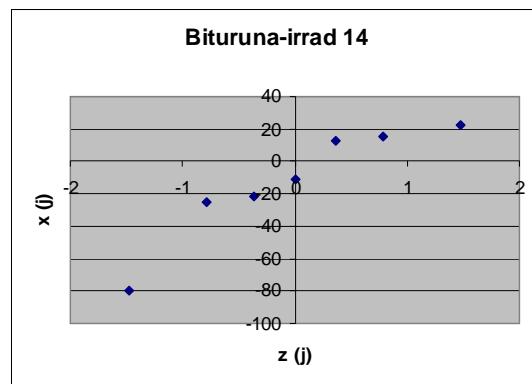


Fig. 6 – Gráfico Irrad.14 -Linha Bituruna

No caso do gráfico do irradiamento 14, há certa dificuldade em se confirmar a normalidade pela análise gráfica, embora a mesma tenha sido confirmada analiticamente. Na visualização e interpretação da linha reta do gráfico "Q-Q plot", deve-se enfatizar os valores

centrais do gráfico, e não os extremos (DRUMOND, 1996).

6. CONCLUSÃO

A conceituação do método de Filliben é simples, e os gráficos são um bom demonstrativo da situação da amostra, permitindo uma interpretação visual da disposição dos dados. Tem a vantagem de não apresentar limitações quanto ao número de pontos da amostra, sendo um teste adequado e confiável no caso de amostras pequenas. Sua aplicação é recomendada para averiguação da normalidade de amostras de dados de diversas áreas e fenômenos, antes do emprego de distribuições estatísticas que tenham a normalidade da amostra como prerrogativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEPPLER, M. & ANTUNES, A.F.B., Atualização de Bases cadastrais, em Áreas de Ocupações irregulares a partir de Imagens de alta resolução espacial, **Geodésia online**, 1/2008, Disponível em <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/2008/01.1/MBAA-2008.htm>> Acesso: 15 setembro 2008

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. 1977. 264p.

CARVALHO, J. R. P. & VIEIRA, S.R., **Validação de Modelos Geoestatísticos usando Teste de Filliben: Aplicação em Agroclimatologia**, Journal of Hydrology, v.158,p.319-332,2004 Disponível em <<http://www.cnptia.embrapa.br/modules/tinycontent3/content/2004/comtec60.pdf>> Acesso: 25 agosto 2008.

DALMOLIN, Q. & LEAL, E. M. Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD, **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.7, n.1, p. 21-40, 2001.

DRUMOND, F.B.; WERKWMA, M.C.C.; AGUIAR, S. **Análise de Variância: Comparação de Várias Situações**, FCO/EEUFMG, Belo Horizonte, 1996. 276p.

FILLIBEN, J.J. The probability Plot Correlation Coefficient Test for Normality , **Technometrics**, v.17, n.1, p. 111-117, 1975.

GAGG, G. Auscultação Gravimétrica na Região da Barragem Bento Munhoz da Rocha, **Dissertação de Mestrado**, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 1997, 89p.

GAGG, G. Aplicação da Gravimetria na Detecção de Subsistência na Região de Barragens. In: II Seminário de Pesquisas em Geodésia na UFGRS, Porto Alegre, **Série em Geomática**, v.1, p. 32-36, 2007.

JOHNSON, R.A & WICHERN, D.W. **Assessing the Assumption of Normality**, Applied Multivariate Statistical Analysis pp. 146-151.

QUIEROGA, Y. G. & OLIVEIRA E SILVA, F.E. **Utilização da assimilação de erros nas previsões hidrológicas do sistema de alerta da bacia do Rio Doce - o caso de Ponte Nova**, Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/bh/Queiroga%20&%20Silva.pdf>>. Acesso: 26 de agosto 2008.

SANHUEZA, J.A.F., Extração Semi-automática de feições planas e cálculo de entidades pontuais a partir de dados LIDAR para o apoio fotogramétrico, **Dissertação de Mestrado**, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 2007, 84p.

STENDIGER, J.R., VOGEL, R.M. & FOUFOULAGEORGIOV, E. Frequency Analysis of Extreme Events, in: **Handbook of Hydrology**. Ed. By Maidment, DR, ed. McGraw-Hill, pp.18.1-18.66, 1993. Disponível em <<http://ase.tufts.edu/cee/faculty/vogel/frequencyAnalysis.pdf>> Acesso: 02 setembro 2008.

VOGEL, R. M., The Probability Plot Correlation Coefficient Test for the Normal, Lognormal and Gumbel Distributional Hypotheses, **Water Resources Research**, v. 22, n.4, p. 587-590, 1986.

RELATO DAS PESQUISAS REALIZADAS NO CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA/UFRGS COM DADOS DOS PROGRAMAS CBERS (SATÉLITE SINO-BRASILEIRO DE RECURSOS TERRESTRES)

Silvia Beatriz Alves Rolim¹, Rafael Pereira Zanard², Sérgio Florêncio de Souza¹

¹ Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS – Brasil {silvia.rolim@ufrgs.br}; {sergio.florencio@ufrgs.br}

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEPSRM, Porto Alegre, RS - Brasil

²Petrobrás – Petróleo Brasileiro, {rafael_zanardi@yahoo.com.br}

RESUMO: A utilização do Sensoriamento Remoto em diferentes campos do conhecimento cresce dia a dia graças ao desenvolvimento de pesquisas nas áreas de Sistemas de Informações Geográficas, Cartografia, Processamento Digital de Imagens, entre outras. A extração de informações geométricas de imagens espaciais, tais como, distâncias, orientações de direções, avaliação de superfícies, requer o conhecimento das relações matemáticas entre os espaços imagem e objeto. A extração de feições em imagens digitais para a geração ou atualização de mapas pode ser feita quando a localização dos detalhes presentes na imagem é determinada em algum sistema de referência selecionado. O programa CBERS é um projeto conjunto entre o Brasil e a China para a construção de uma Família de satélites de sensoriamento remoto. Iniciado em 1988, trata-se de modelo de cooperação e intercâmbio tecnológico entre países em desenvolvimento. Atualmente, está em operação o CBERS-2B, e está previsto o lançamento do CBERS-3 para 2010 e do CBERS-4 para 2011. As imagens obtidas desses satélites estão sujeitas a uma série de distorções espaciais não possuindo, portanto, precisão cartográfica. Nesse artigo serão relatadas algumas experiências de pesquisas realizadas pelo curso de engenharia cartográfica da UFRGS com dados provenientes dos satélites CBERS, visando avaliar e modelar essas distorções.

Palavras chaves: CBERS, CCD, Engenharia Cartográfica.

1. O PROGRAMA CBERS

Notáveis avanços em sensoriamento remoto marcaram a última década do Século XX. Sensores de alto desempenho foram desenvolvidos e lançados com diferentes resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal. Estes novos sensores permitiram a observação diferenciada de feições de superfície, bem como o mapeamento de recursos naturais, em escalas regional e de detalhe.

No Brasil, a necessidade comum de aquisição eficiente de dados e de autonomia no monitoramento de recursos naturais, aliada ao consagrado conhecimento científico na área espacial, fomentou a criação de uma parceria entre as agências espaciais brasileiras e chinesas, num investimento superior a US\$ 300 milhões num sistema de responsabilidades divididas (30% brasileiro e 70% chinês). A experiência chinesa na construção de satélites e foguetes lançadores tornou-se a grande aliada estratégica para o governo brasileiro. Em contrapartida, o Brasil trazia em sua bagagem a familiaridade com a alta tecnologia e um parque industrial mais moderno que o existente no parceiro. O objetivo principal deste projeto foi o domínio total da tecnologia espacial para monitoramento de grandes

áreas despovoadas, de recursos naturais, além dos grandes potenciais agrícolas e ambientais de ambos os países.

Formado em 1988, o programa de cooperação sino-brasileiro denominado CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) lançou seu primeiro satélite CBERS-1, em outubro de 1999 e, posteriormente, o CBERS-2, em outubro de 2003. Os satélites CBERS-1 e 2 são idênticos em termos de estrutura técnica, missão espacial e carga útil. Em setembro de 2007 foi lançado com êxito o CBERS-2B como uma substituição para CBERS-2, inicialmente fornecendo dados experimentais em 2008. Atualmente, estão programadas duas outras plataformas, com amplas melhorias nos sistemas de imageamento - CBERS-3 em 2009 e CBERS-4 em 2011. Projetados para cobertura global, os satélites CBERS-1 e 2 possuem órbita heliosíncrona a uma altitude de 778 km e inclinação de 98,504° em relação ao Equador, cruzando o Equador às 10:30 É (horário solar local) e completando 14 revoluções por dia.

2. CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES CBERS-1 E 2

O primeiro satélite desenvolvido, CBERS-1, foi lançado pelo foguete chinês Longa Marcha 4B, do Centro de Lançamento de Taiyuan em 14 de outubro de 1999. O CBERS-2, tecnicamente idêntico ao primeiro, foi lançado no dia 21 de outubro de 2003. São compostos por dois módulos:

- “Carga útil”, onde são acomodadas as três câmeras (HR CCD – *High Resolution Charge Coupled Device*, IRMSS – *Infrared Multi Spectral Scanner* e WFI – *Wide Field Imager*) e o Repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais.

- “Serviço”, que contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias.

Os 1100W de potência elétrica necessária para o funcionamento dos equipamentos de bordo são obtidos através de painéis solares que se mantêm orientados na direção do sol por controle automático. O satélite dispõe ainda de um sistema de controle de altitude, complementado por um conjunto de propulsores a hidrazina que também auxilia nas eventuais manobras de correção da sua órbita nominal (Figura 1).

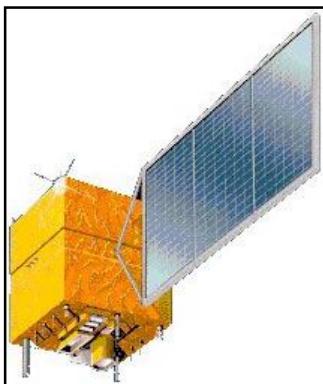


Figura 1 - Protótipo dos satélites CBERS 1 e 2.
Fonte:INPE 2008.

2.1 AS CÂMERAS DOS SATÉLITES CBERS-1 E 2

Uma característica dos satélites CBERS é a diversidade de câmeras com diferentes resoluções espaciais e temporais para observações ópticas de todo o globo terrestre (Figura 2), além de um sistema de coleta de dados ambientais.

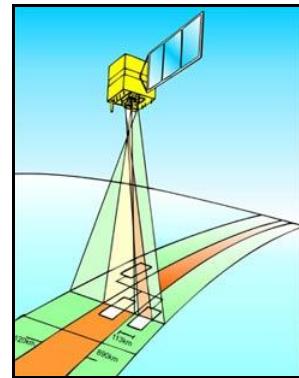


Figura 2 - Faixas de imageamento das câmeras dos satélites CBERS. Fonte:INPE 2008.

2.2 IMAGEADOR DE AMPLIO CAMPO DE VISADA (WFI)

O WFI produz imagens de uma faixa de 890 km de largura, permitindo a obtenção de cartas-imagem com resolução espacial de 260 m (Tabela 1). No período aproximado de cinco dias, obtém-se uma cobertura completa do globo.

Tabela 1 - Características do Imageador WFI.

Bandas espectrais	0,63-0,69 µm (Verm) 0,77 - 0,89 µm (IVP)
Campo de Visada	60°
Resolução espacial	260 x 260 m
Largura da faixa imageada	890 km
Resolução temporal	5 dias
Freqüência da portadora de RF	8203,35 MHz
Taxa de dados da imagem	1,1 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	31,8 dBm

Entre suas aplicações, podem ser mencionadas:

- Geração de mosaicos nacionais ou estaduais;
- Geração de índices de vegetação para fins de monitoramento;
- Monitoramento de fenômenos dinâmicos; como safras agrícolas, queimadas persistentes;
- Sistema de alerta, em que a imagem WFI serve como indicativo para a aquisição de imagens de mais alta resolução da CCD ou do IRMSS;
- Acoplamento a outros sistemas mundiais de coleta de dados de baixa a média resolução.

2.3 CÂMERA IMAGEADORA DE ALTA RESOLUÇÃO (HR CCD)

A câmera CCD fornece imagens de uma faixa de 113 km de largura, com uma resolução de 20 m. Esta câmera tem capacidade de orientar seu campo de visada dentro de $\pm 32^\circ$, possibilitando a obtenção de imagens estereoscópicas (Figura 3). Além disso, qualquer fenômeno detectado pelo WFI pode ser

registrado pela Câmera CCD, para estudos mais detalhados, no máximo, a cada três dias.

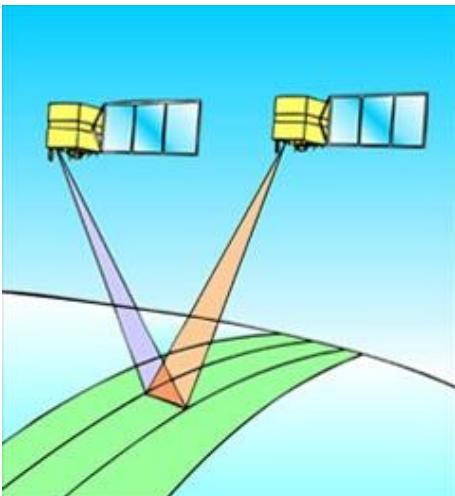


Figura 3 - Esquema representativo da obtenção de pares estereoscópicos através da visada lateral.

Fonte:INPE 2008.

A Câmera CCD opera em 5 faixas espectrais incluindo uma faixa pancromática de 0,51 a 0,73 µm (Tabela 2). As duas faixas espectrais do WFI são também empregadas na câmera CCD para permitir a combinação dos dados obtidos pelas duas câmeras. São necessários 26 dias para uma cobertura completa da Terra.

Tabela 2: Características da Câmera CCD

Bandas espectrais	0,51 - 0,73 µm (pan)
	0,45 - 0,52 µm (azul)
	0,52 - 0,59 µm (verde)
	0,63 - 0,69 µm (verm)
	0,77 - 0,89 µm (IVP)
Campo de Visada	8,3°
Resolução espacial	20 x 20 m
Largura da faixa imageada	113 km
Capacidade de apontamento do espelho	±32°
Resolução temporal	26 dias com visada vertical
	(3 dias com visada lateral)
Freqüência da portadora de RF	8103 MHz e 8321 MHz
Taxa de dados da imagem	2 x 53 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	43 dBm

Destacam-se como aplicações potenciais da CCD:

- Vegetação: identificação de áreas de florestas, alterações florestais em parques, reservas,

florestas nativas ou implantadas, quantificações de áreas, sinais de queimadas recentes;

- Agricultura: identificação de campos agrícolas, quantificação de áreas, monitoramento do desenvolvimento e da expansão agrícola, quantificação de pivôs centrais, auxílio em previsão de safras, fiscalizações diversas;

- Meio ambiente: identificação de anomalias antrópicas ao longo de cursos d'água, reservatórios, florestas, cercanias urbanas, estradas; análise de eventos episódicos naturais compatíveis com a resolução da Câmera, mapeamento de uso do solo, expansões urbanas;

- Água: identificação de limites continente-água, estudos e gerenciamento costeiros, monitoramento de reservatórios;

- Cartografia: dada a sua característica de permitir visadas laterais de até 32°, possibilita a obtenção de pares estereoscópicos e a consequente análise cartográfica altimétrica;

- Geologia e solos: apoio a levantamentos de solos e geológicos;

- Educação: geração de material de apoio a atividades educacionais em geografia, meio ambiente, e outras disciplinas.

2.4 IMAGEADOR POR VARREDURA DE MÉDIA RESOLUÇÃO (IRMSS)

A câmera de varredura IRMSS tem 4 faixas espectrais e estende o espectro de observação do CBERS até o infravermelho termal (Tabela 3). O IRMSS produz imagens de uma faixa de 120 km de largura com uma resolução de 80 m (160 m no canal termal). Em 26 dias obtém-se uma cobertura completa da Terra que pode ser correlacionada com aquela obtida através da câmera CCD.

Tabela 3 - Características do Imageador IRMSS

Bandas espectrais	0,50 - 1,10 µm (pancromática)
	1,55 - 1,75 µm (IV médio)
	2,08 - 2,35 µm (IV médio)
	10,40 - 12,50 µm (IV termal)
Campo de Visada	8,8°
Resolução espacial	80 x 80 m (160 x 160 m IV termal)
Largura da faixa imageada	120 km
Resolução temporal	26 dias
Freqüência da portadora de RF	8216,84 MHz
Taxa de dados da imagem	6,13 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	39,2 dBm

Suas aplicações são as mesmas do sensor CCD, com as devidas adaptações. Outras aplicações são:

- Análise de fenômenos de alterações na temperatura da superfície;
- Geração de mosaicos estaduais;
- Geração de carta-imagens.

2.5 SISTEMA BRASILEIRO DE COLETA DE DADOS AMBIENTAIS

Os satélites CBERS-1 e CBERS-2 fazem parte do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais que, baseado na utilização de satélites e mais de 600 Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) distribuídas pelo território nacional, objetiva fornecer ao país dados ambientais diários coletados nas diferentes regiões do território nacional. Esses dados são utilizados em diversas aplicações, tais como a previsão de tempo do CPTEC, estudos sobre correntes oceânicas, marés, química da atmosfera, planejamento agrícola, entre outras.

3. PESQUISA COM IMAGENS CBERS NO DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA DA UFRGS

A partir de 2000, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibilizou imagens do CBERS-1, incentivando a comunidade científica a realizar pesquisa de avaliação dos produtos gerados pelos sensores a bordo, nas suas diversas aplicações. Nesta época, o Curso de Engenharia Cartográfica iniciava seu terceiro ano de existência, com previsão de formar a primeira turma de profissionais em 2002.

Neste contexto, a pesquisa envolvendo os produtos do Programa CBERS iniciou em 2001 na UFRGS, com o Grupo de Pesquisa coordenado pela Geóloga Silvia Beatriz Alves Rolim, professora do Departamento de Geodésia. Dentro da Linha de Pesquisa “Desempenho de Sensores”, o primeiro projeto de pesquisa desenvolvido intitulou-se: Análise do processamento e georreferenciamento em imagens do satélite CBERS. Este trabalho foi desenvolvido pelos alunos Rafael Pereira Zanardi, Cláudio Bielenki Júnior e Carlos Aluísio Mesquita de Almeida, como o Trabalho Final de Conclusão de Curso de Graduação da primeira turma de Engenharia Cartográfica da UFRGS, sob a orientação da Professora Silvia Rolim (Almeida et al 2002).

Neste trabalho, foi analisada a qualidade das informações do satélite CBERS-1 na busca de parâmetros quantitativos que definissem a precisão do seu georreferenciamento. Em termos gerais, realizou-se um levantamento topográfico com GPS diferencial para a aquisição de pontos de controle espacialmente bem distribuídos por toda a área de estudo, a região metropolitana de Porto Alegre, RS. Foram efetuados testes com diferentes quantidades de pontos amostrais e diversos métodos de transformação geométrica e reamostragem durante o georreferenciamento. Esses resultados foram estatisticamente analisados para se

determinar o melhor método para georreferenciar as imagens do CBERS-1. Os autores verificaram que a transformação polinomial de primeiro grau com reamostragem por vizinho mais próximo apresentou os melhores resultados, chegando a uma precisão de 18,52 metros (Zanardi et al 2005 e Zanardi et al 2007).

Posteriormente, a pesquisa evoluiu para a extração de informações altimétricas de um par estereoscópico adquirido pela câmera de alta resolução CCD (Charge Coupled Device) do CBERS-2, segundo satélite do Programa CBERS, através de técnicas fotogramétricas digitais. A câmera CCD, além de fornecer imagens com 113 km de largura e 20 m de resolução espacial, possui uma capacidade de apontamento fora do nadir de ± 32 graus, possibilitando a aquisição de imagens estereoscópicas. Adicionalmente, foi avaliada a precisão quantitativa e analisada a acurácia da informação altimétrica. Testes mostraram um valor de Erro Médio Quadrático (EMQ) de 38 metros no Modelo Digital de Terreno (MDT) computado em contraste com pontos-teste extraídos de dados de MDT existentes. A correção deste bias decresceu o valor de EMQ para 27 m. Considerando o Padrão de Exatidão Cartográfica Brasileiro (Brasil, 1984), esta informação altimétrica pode ser utilizada para documentos cartográficos de classe A em escalas até 1:250000. Este trabalho foi resultado da Dissertação de Mestrado de Rafael Pereira Zanardi, em continuidade ao seu Trabalho Final de Conclusão de Curso de Graduação da primeira turma de Engenharia Cartográfica da UFRGS, também sob a orientação dos professores Silvia Rolim e Sérgio Florêncio de Sousa (Zanardi, 2006). Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR) do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da UFRGS.

Recentemente, foi desenvolvido o trabalho “Ortorretificação de Imagens CBERS-2 Através da Transformação DLT e do Modelo APM” pela ex aluna Paula Debiasi, do Curso de Engenharia Cartográfica (Turma de 2007). O projeto é fruto de sua dissertação de mestrado, orientada pelo Professor Sérgio Florêncio de Souza, do Departamento de Geodésia da UFRGS. Debiasi (2007) avaliou a potencialidade da geração de ortoimagens do sensor CCD do CBERS-2 produzidas através de um modelo matemático generalizado - Transformação Linear Direta (DLT), implementado na linguagem Delphi 4.0 por alunos de pós-graduação da Universidade Federal do Paraná (UFPR), sendo gerado um utilitário para adaptar a leitura do Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) no programa computacional. A área utilizada como teste é uma região de relevo variando de plano a accidentado (até 700m de altura), localizada no Centro Oriental Paranaense e abrangendo o cânion do Guartelá. Para a geração das ortoimagens utilizou-se de duas fontes de informação altimétrica, um MDE gerado pela missão SRTM e outro MDE gerado por curvas de nível e pontos contados de cartas topográficas na escala 1:50.000.

Foi realizado o processo de ortorretificação de um recorte da cena CBERS utilizando os diferentes MDE's, sendo as ortoimagens analisadas por testes estatísticos e classificadas pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) com o uso de pontos de verificação. Para a avaliação da necessidade de ortorretificação da cena CCD CBERS 2 o mesmo recorte foi também corrigido geometricamente por um polinômio de 2°. Os resíduos planimétricos gerados pela simples correção através do polinômio de 2° demonstram que há necessidade do processo de ortorretificação, ou seja, correção de erros devido à topografia do relevo nesta cena. A comparação entre as ortoimagens geradas pelos diferentes MDE's demonstrou que é satisfatória a utilização do MDE do SRTM na ortorretificação de imagens advindas do sensor CCD do CBERS-2.

4. PANORAMA ATUAL

Não há dúvidas sobre a importância do desenvolvimento de programas de satélites orbitais no Brasil, cuja extensão territorial demanda estudos e monitoramentos constantes para tomadas de decisões estratégicas de um país emergente. A comunidade científica nacional está ciente de sua responsabilidade social e vem prestado um serviço imprescindível, avaliando o desempenho dos produtos gerados pelo Programa CBERS. Neste aspecto, a UFRGS, representada pelos pesquisadores docentes e discentes do Departamento de Geodésia, certamente vem desenvolvendo papel relevante neste avanço científico, desenvolvendo pesquisa na área de sensoriamento remoto e formando profissionais de alto nível.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C.M.A., BIELENKI JÚNIOR, ZANARDI, R.P. 2002. Análise do Processamento e Georreferenciamento em Imagens do Satélite CBERS. **Trabalho de conclusão de curso de graduação de Engenharia Cartográfica**, Depto de Geodésia, UFRGS.

BRASIL. 1884. DECRETO LEI 89.817 - Padrão de Exatidão Cartográfica.

DEBIASI, P. 2007. Ortorectificação de Imagens CBERS-2 Através da Transformação DLT e do Modelo APM. **Dissertação de Mestrado**, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Porto Alegre, RS.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), O Programa CBERS. Disponível online em: <http://www.cbers.inpe.br> (acesso em 17/05/2008).

ZANARDI, R.P., ROLIM, S.B.A., BIELENKI JÚNIOR, C., ALMEIDA, C.A. 2005 Avaliação de Desempenho no Georreferenciamento de Imagens do

Sensor HR CCD (*High Resolution Charge-Coupled Device*) do Satélite CBERS-1. **Rev.. Pesquisas Em Geociências**: 32(2):81-87.

ZANARDI, R.P., 2006, Geração de modelo digital de terreno a partir de par estereoscópico do sensor CCD do satélite CBERS-2 e controle de qualidade das informações altimétricas. **Dissertação de Mestrado**, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Porto Alegre, RS. 94p.

ZANARDI, R.P., ROLIM, S.B.A., SOUZA, S.F.; SOUSA FILHO, C.R. 2008. DTM Generation from a Stereo Pair acquired by the China-Brazilian Earth Resources Satellite (CBERS-2) & Quality Control of the Altimetric Information. **International Journal of Remote Sensing**. No prelo.

O POTENCIAL DA FOTOGRAFETRIA NA UFRGS

Mário Luiz Lopes Reiss

Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {mario.reiss@ufrgs.br;m2lreiss@hotmail.com}

RESUMO: Este artigo aborda três exemplos de trabalhos desenvolvidos na área da Fotogrametria com o objetivo de mostrar as potencialidades de aplicação desta ciência no processo de medição de objetos por meio de fotografias. Estes três trabalhos foram desenvolvidos na UNESP, Departamento de Cartografia, com a participação do autor deste artigo, durante seus trabalhos de graduação, mestrado e doutorado, respectivamente. O primeiro deles trata da construção de um sistema móvel de mapeamento terrestre (SMMT) destinado ao mapeamento de rodovias e cidades. Neste sistema foi criada uma metodologia que permite o mapeamento topográfico pela integração de câmeras de vídeo, sistema de navegação GPS e uma unidade de processamento, todos embarcados em um veículo automotor. Com essa integração de equipamentos e uma metodologia de fototriangulação foi possível a construção do mapa topográfico de uma área teste sem a necessidade de pontos de apoio no terreno, e com todo o processamento de dados realizado em escritório. O segundo projeto de pesquisa, desenvolvido durante o mestrado, trata de um sistema fotogramétrico para a medição de superfícies planas com a vantagem de não precisar de pontos de apoio no espaço objeto, necessários na Fotogrametria convencional. Neste desenvolvimento foi criada uma metodologia nova que se utiliza das linhas verticais e horizontais para orientar as imagens em relação às rotações, e um telêmetro a laser acoplado à câmera para medir a distância câmara-objeto, e possibilitar a determinação da escala da fotografia. A aplicação inicial pretendida para este sistema foi a medição de áreas de anúncio de placas de propaganda (*outdoors*), entretanto, foi verificada a possibilidade de outras aplicações, como a medição de fachadas de edificações e outras superfícies planas que contenham linhas verticais e horizontais. A terceira pesquisa foi o desenvolvimento de um sistema fotogramétrico para a reconstrução 3D de objetos a curta distância por luz estruturada. O sistema foi baseado em uma câmera e um projetor de padrões de luz estruturada, rigidamente fixado à câmera, de forma a estabelecer uma geometria que permitisse a reconstrução da nuvem de pontos de luz estruturada projetada. Por fim, serão apresentados os resultados destes trabalhos anteriores e as perspectivas trabalhos futuros na área de Fotogrametria na UFRGS.

Palavras chaves: Fotogrametria, Mapeamento Móvel, Restituição Sem Pontos de Apoio, Luz Estruturada.

1. INTRODUÇÃO

Uma das tecnologias bastante consolidada para a medição de objetos com fins de mapeamento é a Fotogrametria. Ela propicia a obtenção de medidas tridimensionais de objetos por meio da utilização de fotografias tiradas destes objetos, e já possui uma história destacada como ferramenta para levantamentos com fins de mapeamento. Dentre as técnicas cartográficas utilizadas para a obtenção de dados e medidas, a Fotogrametria é a que mais se destaca, pois tem a vantagem de possibilitar a aquisição de um grande volume de feições da cena por meio das fotografias. É por isso que é a técnica mais utilizada no mapeamento sistemático. Outra grande vantagem é a possibilidade da medição de qualquer feição da fotografia a qualquer momento sem a necessidade de retorno ao local do levantamento, o que com outra técnica não é possível.

Apesar de sua principal aplicação ter sido historicamente o mapeamento, os conceitos envolvidos na Fotogrametria permitem que qualquer tipo de objeto possa ser medido por meio de fotografias. Com isso, outras áreas de conhecimento passaram a utilizar esses conceitos para seus propósitos, criando interfaces entre a Fotogrametria áreas, como a Visão Computacional e a

Computação de Imagens. Por outro lado, a Fotogrametria também evoluiu com a utilização de conceitos destas áreas, que permitiram, dentre outras coisas, a automação dos procedimentos fotogramétricos. Neste artigo serão apresentados três exemplos de trabalhos desenvolvidos em aplicações distintas com a finalidade de dar uma pequena dimensão das potencialidades da Fotogrametria em procedimentos de medição de objetos. O primeiro deles é o desenvolvimento de um Sistema Móvel de Mapeamento Terrestre, com a finalidade de construir mapas a partir de imagens geo-referenciadas tomadas com câmeras de vídeo posicionadas em um veículo automotor. Este tipo de sistema está em ascensão atualmente, principalmente na obtenção de mapas para os sistemas de navegação GPS (*Global Position System*) para uso em automóveis, aparelhos celulares, e outras aplicações de urbano e rodovias.

O segundo trabalho a ser apresentado é um sistema de restituição inicialmente projetado para a medição da área de anúncio de placas de propaganda, mas que, no decorrer do seu desenvolvimento, mostrou potencialidades de emprego na medição de outros tipos de objeto, como fachadas de edificações. Este sistema, denominado de RESPA (REstituição Sem Pontos de

Apoio), se baseou nas linhas verticais e horizontais, presentes nas fotografias para a determinação das rotações da câmara no instante da tomada da foto, e um telêmetro a LASER para a medição da posição da câmara em relação ao plano do objeto fotografado. O terceiro trabalho trata de outro emprego dos conceitos fotogramétricos em uma aplicação bastante diferente da de um mapeamento, a medição de objetos a curtíssimas distâncias, como peças industriais e partes do corpo humano. Ele é baseado na recuperação das coordenadas de pontos que são projetados na forma de um padrão de luz com um formato específico sobre os objetos. Cada ponto projetado forma uma coluna de luz que se estende desde a fonte, no centro de projeção, até a superfície do objeto. O projetor dos padrões é acoplado rigidamente à câmara e em relação a ela a fonte de luz é deslocada, formando uma geometria que permite o cálculo das coordenadas 3D ponto projetado por meio de intersecção de raios. Os resultados obtidos mostraram que este sistema é promissor como uma alternativa barata para a reconstrução de objetos, entretanto, alguns problemas foram detectados, necessitando melhorias no sistema. Com isso, uma proposta de continuidade deste sistema está em desenvolvimento na UFRGS, com apoio do CNPq.

A seguir será feita uma revisão dos principais fundamentos da envolvidos na Fotogrametria, antes de apresentar os detalhes destes três exemplos de emprego de sistemas fotogramétricos no processo de medição. Na seqüência, serão apresentadas também as possibilidades futuras de desenvolvimento de novos projetos ou de continuidade dos anteriores.

2. ALGUNS DOS FUNDAMENTOS BÁSICOS DA FOTOGRAFETRIA

2.1 Orientação das Imagens

Na realização de trabalhos Fotogramétricos, cuja finalidade é a extração de medidas precisas dos objetos contidos na cena por meio da utilização de fotografias, duas etapas de orientação são necessárias: a Orientação Interior (OI) e a Orientação Exterior (OE) (ANDRADE, 1998; MIKHAIL; et al 2001).

A OI em Fotogrametria é definida como a recuperação da geometria interna da câmara no instante da sua exposição para a tomada da fotografia (ANDRADE, 1998). Quando se está utilizando câmeras fotogramétricas convencionais a OI analítica é realizada, inicialmente, por meio de uma transformação geométrica das coordenadas do sistema de medição adotado (sistema do comparador) para sistema fiducial.. Ao se tratar de uma câmera digital, os parâmetros dessa transformação são conhecidos a priori, pois o conjunto sensor é considerado rígido, e livre de deformações (GALO, 1993). Assim, basta realizar uma transformação do sistema imagem para o sistema fotogramétrico, com uma translação dos eixos para o ponto principal, uma reflexão das coordenadas Y em torno do eixo X e a aplicação de um fator de escala às

coordenadas da imagem, correspondente ao tamanho do elemento sensor (GALO, 1993; REISS, 2002). Na seqüência, é feita a correção dos efeitos sistemáticos de formação da fotografia, com a correção das distorções das lentes. Na Fotogrametria terrestre, os efeitos de refração fotogramétrica e de curvatura terrestre, são desprezados por eles não serem considerados significativos uma vez que a distância câmara objeto é curta. Maiores detalhes sobre a OI podem ser encontrados em: BROWN (1971); GALO (1993); ANDRADE (1998); MIKHAIL, et al (2001). Na OE são determinadas as posições e as rotações (atitudes) da câmara, referenciadas ao sistema de coordenadas do espaço objeto. Neste processo, são determinados seis parâmetros para cada estação da câmara, ou seja, para cada foto: três translações do centro perspectivo (CP) (X_{CP} , Y_{CP} e Z_{CP}), e três rotações ou ângulos de Euler (ANDRADE, 1998), representados pelas letras gregas κ (kapa), φ (phi) e ω (omega).

A OE, na Fotogrametria convencional, pode ser determinada indiretamente por meio de um procedimento de fototriangulação de um conjunto de fotos (bloco ou modelo) ou pelo processo de ressecção espacial com cada foto de forma isolada. Estes procedimentos utilizam o modelo de colinearidade (1), que relaciona o ponto medido na imagem com o ponto no espaço objeto (ANDRADE, 1998) (Fig. 1).

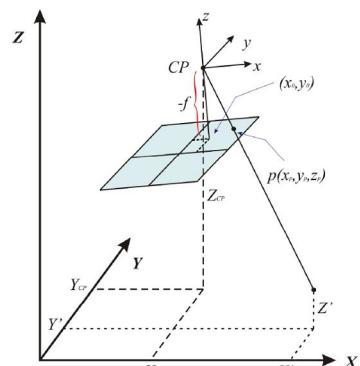


Fig. 1 - Geometria da Fotografia Positiva

$$\begin{aligned} x_p &= -f \cdot \frac{r_{11}(X - X_{CP}) + r_{13}(Z - Z_{CP})}{r_{31}(X - X_{CP}) + r_{32}(Y - Y_{CP}) + r_{33}(Z - Z_{CP})} \\ y_p &= -f \cdot \frac{r_{21}(X - X_{CP}) + r_{22}(Y - Y_{CP}) + r_{23}(Z - Z_{CP})}{r_{31}(X - X_{CP}) + r_{32}(Y - Y_{CP}) + r_{33}(Z - Z_{CP})} \end{aligned} \quad (1)$$

sendo: x_p e y_p as coordenadas do ponto imagem no sistema fotogramétrico;

x' e y' coordenadas do ponto imagem no sistema fiducial PP;

x_0 e y_0 coordenadas do ponto principal;

X , Y e Z as coordenadas de pontos no sistema de referência do espaço objeto;

X_{CP} , Y_{CP} e Z_{CP} as coordenadas do CP, no sistema de referência do espaço objeto;

f é a focal calibrada da câmara;

R a matriz de rotação entre os sistemas referenciais, aqui definida pela seqüência $R_Z(\kappa) \cdot R_Y(\varphi) \cdot R_X(\omega)$.

Se a finalidade é gerar modelos no referencial do espaço objeto, então os pontos de apoio precisam ser medidos para se determinar as orientações das imagens no referencial do espaço objeto (ANDRADE, 1998). Se o que se deseja são apenas modelos em escala, não importando o referencial adotado, então podem ser usadas alternativas. Uma delas é fixar a base entre duas fotos e orientar uma fotografia em relação à outra, gerando-se um modelo proporcional. Caso a base tenha sido arbitrada, pode-se depois medir uma distância no espaço objeto e sua homóloga no espaço do modelo para determinar o fator de escala entre o objeto e o modelo; ou ainda, medir uma distância câmara-objeto para se determinar o fator de escala.

No processo de Ressecção Espacial os parâmetros de OE são estimados indiretamente por meio do Método dos Mínimos Quadrados (GEMAEL, 1994), sendo: o conjunto de parâmetros $[\kappa, \varphi, \omega, X_{CP}, Y_{CP}, Z_{CP}]$ as incógnitas; $[x_p, y_p]$ foto-coordenadas observações; $[X, Y, Z]$ coordenadas no espaço-objeto conhecidas; e a distância focal f é considerada como constante. A condição mínima necessária para determinar indiretamente a OE de uma foto isolada por ressecção espacial é a medição de 3 pontos de apoio no referencial do objeto, obtendo-se solução única. Na prática, são medidos mais de 4 pontos para que haja superabundância e seja possível detectar eventuais erros grosseiros ocorridos na medição.

Outra equação de condição bastante utilizada na Fotogrametria é a coplanaridade (REISS, 2007). Existem vários outros modelos matemáticos que permitem a estimativa da OI e da OE de uma imagem usando linhas retas. Na literatura são citadas várias vantagens da utilização de linhas ao invés de pontos. A mais proeminente delas é o alto potencial de automação do processo de extração e medição de linhas em imagens digitais (TOMMASELLI e LUGNANI, 1988; LIU e HUANG, 1988a e 1988b; HARALICK, 1989; TOMMASELLI e TOZZI, 1996; HEUVEL, 1997; TOMMASELLI e REISS, 2005; TELLES e TOMMASELLI, 2005; MEDEIROS e TOMMASELLI, 2006).

2.2 Calibração de Câmaras

Outro processo bastante conhecido na área de Fotogrametria é a calibração de câmaras. Ela consiste em determinar, especificamente os parâmetros de orientação interna da câmara e os efeitos sistemáticos que distorcem a formação da imagem e degradam a qualidade das medidas se não forem corrigidos. Um dos métodos freqüentemente adotado para isso é o da Fototriangulação com parâmetros adicionais, por meio da equação de colinearidade, também denominado de

calibração on job (GALO, 1993). Neste método, são tomadas fotografias de um campo de calibração e é processada uma Fototriangulação usando as equações de colinearidade acrescidas dos efeitos sistemáticos de formação da imagem (deslocamento do ponto principal, distorções das lentes e parâmetros de afinidade). Outro parâmetro de OI que é determinado é a focal da câmara. Para a solução do sistema de equações, considerando 10 parâmetros de OI (GALO, 1993) são necessários, no mínimo, a tomada de duas fotografias com pontos de vistas diferentes e que sejam medidos, no mínimo, 6 pontos homólogos nas fotos, obtendo-se 2 graus de liberdade. Entretanto, para evitar singularidade no sistema de equações, além disso, é necessário que as imagens sejam todas com variação da distância câmara-objeto e a variação de rotação entre as imagens para eliminar a correlação entre os parâmetros. Quando o campo de testes é plano, pode-se utilizar tomadas convergentes para eliminar as correlações sendo este método denominado de “câmeras convergentes” (ANDRADE, 1998; MIKHAIL et al, 2001).

2.3 Restituição

Depois que cada uma das fotografias está orientada, tomado-se um por de fotos e seus respectivos parâmetros de OE, é executado o procedimento de restituição fotogramétrica. Ele consiste em que, com um mínimo de duas tomadas de um mesmo objeto, com pontos de vista diferentes, é possível se obter coordenadas tridimensionais medindo-se pontos homólogos nas duas fotos e aplicando um procedimento de interseção de raios (Fig. 2).

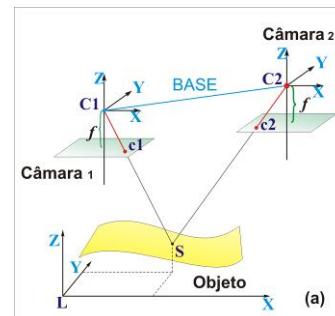


Fig. 2 – Geometria de reconstrução no sistema fotogramétrico.

Se a superfície de um objeto for plana e se a fotografia deste objeto estiver orientada, então não haverá a necessidade de duas fotografias para se extrair medidas do objeto, sendo possível a restituição monoscópica, ou seja, apenas uma fotografia (ANDRADE, 1998; MIKHAIL; et al 2001).

Estes são alguns dos procedimentos básicos do processo fotogramétrico de medição, que podem ser mais bem detalhados nas bibliografias citadas. Algumas variações nestes métodos são no sentido de que acrescentar melhorias aos processos de correspondência, orientação das imagens e extração de feições, visando automação. Estes fundamentos apresentados dão base teórica para

entendimento dos exemplos de projetos desenvolvimentos na área de Fotogrametria que serão apresentados a seguir.

3. SISTEMA MÓVEL DE MAPEAMENTO TERRESTRE

A técnica fotogramétrica de imageamento eletrônico utilizada nos Sistemas Móveis de Mapeamento Digital, surgida no início dos anos 90, fora e continuam sendo testadas e empregadas em vários protótipos em âmbito mundial (NOVAK, 1992; BOSSLER et al, 1994; HE, 1996).

O Centro de Mapeamento da OSU (Ohio States University, Columbus, Ohio – USA) desenvolveu dois dos primeiros protótipos de sistemas de mapeamento móvel, o GPSVan e o MapCam. O GPSVan coleta dados e mapeia automaticamente estradas e seus arredores próximos na velocidade permitida pelas rodovias. Toda informação coletada pelo veículo é monitorada diretamente através de uma estação de trabalho (Workstation) com uma base de dados SIG (BOSSLER et al, 1994). O sistema de imageamento aéreo digital MapCam consiste de uma câmara CCD (Charge Coupled Device) digital destinado para mapeamento métrico ou de um sistema de câmara multi-espectral para aplicações de sensoriamento remoto. Os dados dos dois sistemas podem ser combinados para ampliar a extensão do mapeamento desde a apresentação de detalhes até o mapeamento básico de baixa altitude (GUARDIA et al 1999; OLIVERIA e SILVA, 1999).

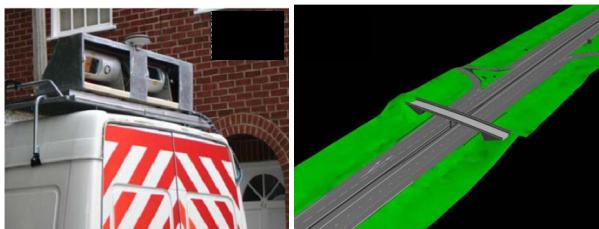


Fig. 3 – (a) Sistema StreetMapper com 2 escâneres a laser instalados; (b) Um modelo 3D adquirido com o sistema. Fonte: REDSTALL (2006)

Basicamente, todos os sistemas possuem configurações similares: uma integração de receptores GPS ou de métodos de posicionamento, câmeras de vídeo analógicas e/ou digitais e sistema de navegação inercial (INS) para a compensação das posições do veículo no caso de perda do sinal GPS. Os sistemas mais recentes contam também com escâneres a LASER, que, integrados com os sensores de navegação, fazem a obtenção do modelo digital de terreno em tempo real (REDSTALL, 2006).

A oportunidade de trabalhar no desenvolvimento de um sistema móvel de mapeamento terrestre (SMMT) se deu em 1999, durante a execução de um dos trabalhos de conclusão de curso na condição de graduando em Engenharia Cartográfica da UNESP. Naquele curso de graduação, os trabalhos de conclusão foram realizados

dentro do período de 12 meses, iniciando-se no último ano do curso. A equipe de trabalho foi formada por 3 estudantes graduandos e 2 professores do Curso (um orientador e outro co-orientador) e fez a primeira implementação do SMMT do Brasil (GUARDIA et al, 1999). Anterior a isso, em 1997 e 1998 realizaram-se dois trabalhos sendo um como tese de livre-docência (SILVA, 1997) e outro como trabalho de graduação (BATISTA et al., 1998), nos quais foram testadas as metodologias de caminhamento fotogramétricas através de um levantamento topográfico de áreas pilotos por simulação de um SMMT, mostrando a viabilidade desta metodologia. O caminhamento fotogramétrico é um método de levantamento baseado em estereopares de fotografias terrestres obtidas com a base perpendicular ao eixo do levantamento. A orientação exterior pode ser determinada por triangulação dos feixes de raios, sendo que as escalas das fotos diferem significativamente. A solução dos parâmetros pode ser simultânea ou seqüencial (SILVA, 1997).

O desenvolvido do SMMT teve fomento da FAPESP, sendo construída de uma unidade de captura e metodologias de processamento. A unidade de captura foi batizada de UMMMD (Unidade Móvel de Mapeamento Digital), e ela foi constituída na época por um veículo Kombi, um par de câmeras de vídeo digital, dois receptores GPS, um notebook e um sistema de sincronização sonora dos quadros de imagem (Fig. 4).



Fig. 4 – Composição UMMMD desenvolvida na UNESP. Fonte: GUARDIA et al (1999).

Uma parede foi sinalizada com pontos de apoio determinados por topografia para a calibração das câmeras e da relação entre elas e o receptor GPS posicionados no teto da UMMMD (Fig. 5).

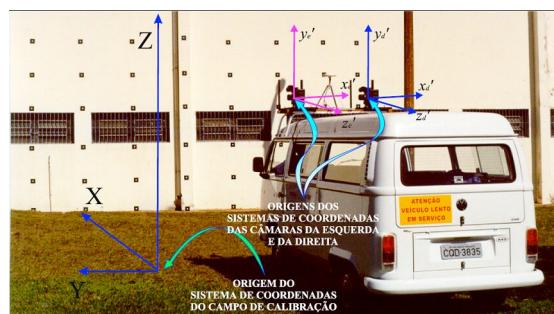


Fig. 5 – Parede de calibração de câmeras montada para o sistema. Fonte: GUARDIA et al (1999).

A metodologia de processamento foi composta por um conjunto de programas computacionais que processavam as informações capturadas com os

elementos sensores e as convertia em mapas. Alguns procedimentos como, o processamento dos dados GPS, a transferência, seleção e conversão das imagens digitais e edição dos mapas, foram feitas por programas comerciais ou livres. Outros programas foram construídos em C++ para sistematizar alguns dos procedimentos, como, a medição de fotocoordenadas nas imagens, o cálculo das coordenadas dos centros perspectivos (CP), e a integração dos dados oriundos da fototriangulação com as fotocoordenadas de feições medidas e o cálculo das coordenadas no terreno por interseção fotogramétrica (REISS et al, 2000) (Fig. 6).

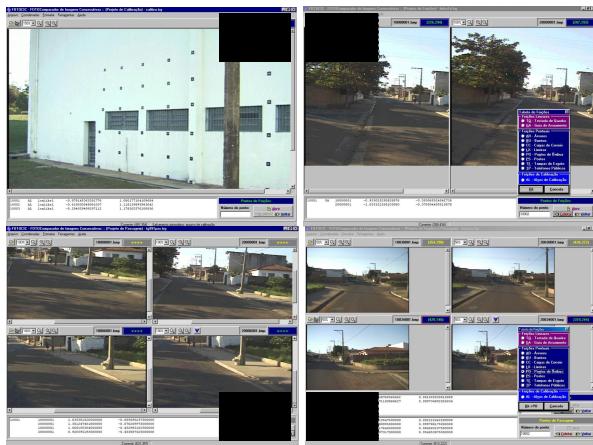


Fig. 6 – Interfaces dos programa FOTOCIC desenvolvido para a medição de fotocoordenadas nas imagens. (a) calibração de câmaras; (b) intersecção fotogramétrica; (c) fotriangulação; (d) operações (b) e (c) simultâneas. Fonte: REISS et al. (2000).

Várias metodologias foram desenvolvidas na implementação deste SMMT que podem ser encontradas com detalhes em GUARDIA et al (1999) e REISS (1999 e 2000). Após implementação do SMMT foi escolhida uma área teste dentro do município de Presidente Prudente-SP, no Bairro Jardim Maracanã, e executado o levantamento topográfico da região (Fig. 7), sendo mapeadas várias feições, como: postes, guias das calçadas, a frente dos lotes, lixeiras, árvores, curvas de nível, e outras.

Foi executado um teste de qualidade final que mostraram que o mapa obtido tinha classe C do PEC, para a escala 1/2.000. Este resultado mostrou a viabilidade do sistema que, com algumas melhorias, poderia ser possível obter mapas para finalidades cadastrais. A grande vantagem deste sistema em relação aos similares da época, é que os equipamentos utilizados não eram de grande qualidade métrica, mas com a vantagem de ser de baixo custo. Vários avanços subsequentes foram desenvolvidos a partir destes realizados em GUARDIA et al (1999), acrescentando melhorias ao SMMT atual. O projeto recebeu um Prêmio de Melhor Pôster da Comissão II no Congresso da Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto realizado em Amsterdam, Holanda, em 2000. Outras informações adicionais sobre

o projeto podem ser encontradas no sitio <http://www4.fct.unesp.br/labs/lmm/>.

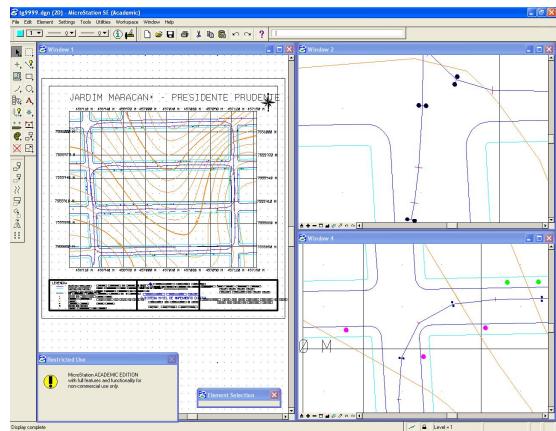


Fig. 7 – Mapa obtido com teste do SMMT desenvolvido: Fonte: GUARDIA et al (1999).

4. SISTEMA RESPA

O RESPA (REstituição Sem Pontos de Apoio) foi um sistema desenvolvido como trabalho de mestrado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da UNESP, entre 2000 e 2002, como consequência de resultados de trabalhos de iniciação científica desenvolvidos pelos mesmos autores desde 1998. Neste trabalho (REISS, 2002; REISS e TOMMASELLI, 2003; TOMMASELLI e REISS, 2005) foi criado um sistema para atender a demanda inicial de uma prefeitura da região de Presidente Prudente que queria uma metodologia para a medição da área de anúncio de placas de propaganda (*outdoors*). A solução deveria ser prática, rápida, e ao mesmo tempo precisa (com certa de 1% de erro em relação à área real), e que pudesse ser operada por um técnico não muito especializado.

Considerando-se as vantagens da utilização da Fotogrametria no processo de aquisição e medição de objetos decidiu-se por uma solução fotogramétrica utilizando-se de câmeras digitais. O fato de serem planas as placas de propaganda facilitou a decisão por uma solução monoscópica, uma vez que a utilização de várias imagens ocasionaria custo ao procedimento.

Com base nas restrições do cliente foi desenvolvida uma abordagem não convencional para o problema, que separa a determinação das rotações da determinação da posição da imagem, e elimina a necessidade de pontos de apoio no espaço objeto. O método de LIU e HUANG (1988a e 1988b) faz esta separação em duas etapas distintas, sendo esta característica a principal vantagem de seu método; as rotações são calculadas no primeiro estágio e as translações no segundo. Tratando apenas da determinação das rotações, no método de Liu e Huang, é essencial a existência de equivalência entre retas no espaço objeto e suas correspondentes no espaço imagem (Fig. 8).

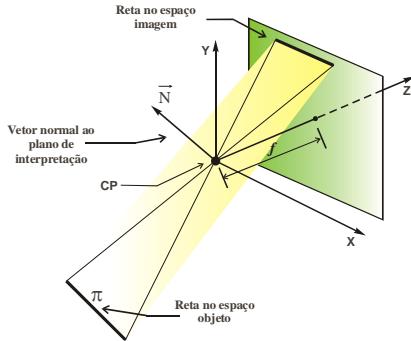


Fig. 8 – Representação da equivalência entre as retas no espaço imagem e no espaço objeto. Fonte: REISS (2002).

Na representação da Fig. 8, \vec{n} é o vetor das direções da reta no espaço objeto e \vec{N} é o vetor normal ao plano projetado do espaço imagem. Sendo \vec{N} ortogonal à linha reta no espaço objeto rotacionado, então:

$$\vec{n}^T \cdot \mathbf{R}^T \cdot \vec{N} = 0 \quad (2)$$

\mathbf{R} é a matriz de rotação da imagem em relação ao espaço objeto (REISS e TOMMASELLI, 2003).

A partir de um vetor normal ao plano π (que contém a reta no espaço imagem, o CP da câmara e a reta homóloga no espaço objeto (Fig. 8)), foram realizadas particularizações do modelo de Liu e Huang para as rotações (2) (REISS e TOMMASELLI, 2003), obtendo-se um modelo formado por duas equações: uma para retas verticais e uma para as retas horizontais no espaço objeto:

$$\begin{aligned} F_H &: f \cdot \cos \theta \cdot r_{11} + f \cdot \sin \theta \cdot r_{21} - \rho \cdot r_{31} = 0 \\ F_V &: f \cdot \cos \theta \cdot r_{12} + f \cdot \sin \theta \cdot r_{22} - \rho \cdot r_{32} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

onde: F_H é a equação para a reta horizontal;
 F_V é a equação para a reta vertical;
 f é a distância focal calibrada da câmara;
 θ e ρ são os parâmetros de representação das retas na sua forma normal, no espaço imagem;
 r_{ij} são os elementos da matriz de rotação \mathbf{R} , que poderá ser dada pela seqüência $\mathbf{R}_Z(\kappa) \cdot \mathbf{R}_Y(\varphi) \cdot \mathbf{R}_X(\omega)$.

São necessárias no mínimo 3 equações para estimar κ , φ , e ω , com pelo menos uma delas não paralela às demais. Observando que o modelo (3) é não linear e do tipo implícito, o método de ajustamento utilizado para estimar as incógnitas é o Combinado com iterações.

O segundo estágio da modelagem matemática desenvolvida por Liu e Huang, que trata da determinação das translações do referencial da imagem em relação ao referencial do objeto, foi substituído por um processo de medição direta. Assim, as translações do CP são determinadas usando a medida de distância entre a câmara e uma superfície plana do objeto fotografado que contenha as retas utilizadas na

determinação das rotações. Esta distância é obtida por um telêmetro a LASER acoplado à câmara (Fig. 9).



Fig. 9– CamDigTel: Integração Câmara Digital – Telêmetro

O cálculo das coordenadas do CP baseia-se nas relações entre dois sistemas referenciais: o do telêmetro e o do espaço objeto, que são dadas, genericamente, pela transformação de corpo rígido, que particularizada para o sistema RESPA, pode ser escrita como (REISS, 2002):

$$\begin{bmatrix} X_{CP} \\ Y_{CP} \\ Z_{CP} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{31} \cdot d \\ r_{32} \cdot d \\ r_{33} \cdot d \end{bmatrix} \quad (4)$$

onde: $d = -z$ é a distância medida com o telêmetro, livre do efeito da excentricidade;

X_{CP} , Y_{CP} e Z_{CP} são as coordenadas do CP da câmara em relação ao referencial do objeto;

r_{ij} são os elementos da matriz de rotação determinados usando o modelo (3).

A distância medida pelo telêmetro LASER, no instante da tomada da imagem não corresponde a real distância entre o CP da câmara e o objeto fotografado, que é definida sobre o eixo óptico da câmara. Isto ocorre pelo fato de o CP da câmara e o centro de fase (CF) de medida do telêmetro não serem coincidentes fisicamente, existindo entre eles uma excentricidade e rotações entre os eixos. Considerando o eixo óptico da câmara paralelo com o eixo do raio laser, o que na prática é possível de ser feito na construção da integração entre os sensores, então esta excentricidade pode ser modelada pela seguinte equação:

$$Z_{CP} = d \cdot r_{33} - (r_{13} \cdot \Delta x + r_{23} \cdot \Delta y + r_{33} \cdot \Delta z) \quad (5)$$

onde: Δx , Δy e Δz são as translações entre o CP da câmara e o CF do telêmetro.

As coordenadas X_{CP} e Y_{CP} não exercem influência sobre as medidas de áreas e distâncias que podem ser calculadas no espaço objeto a partir da imagem. No entanto, a posição Z_{CP} tem influência como um fator de escala.

Alguns programas de computador foram implementados com estas metodologias, os dois principais são para: (a) a determinação da excentricidade entre o telêmetro a

LASER e a câmara; e (b) a restituição com a metodologia da orientação por linhas verticais e horizontais (Fig. 10 a e b).

Foram realizados testes controlados com o sistema para verificar a sua funcionalidade e a exatidão de seus resultados. Os erros obtidos em relação à medidas reais foram inferiores a 1% para medidas de áreas, e 0,5% para medidas de distâncias.



Fig. 10 – Medição com o sistema RESPA: (a) Programa RESPA em medição monoscópica; (b) RESPA em medição estéreo; (c) fachada do Museu Municipal de Presidente Prudente; (d) fachada medida com o programa RESPA.

Uma metodologia para a medição de fachadas tridimensionais foi criada com este sistema (Fig. 10 b), e se baseia na utilização de um plano de referência pra as medidas e orientação e na tomada de duas imagens em pontos de vista diferentes do objeto que contém esse plano. Assim, as imagens foram orientadas em relação a esse plano e um ponto homólogo nas duas imagens foi tomado como as coordenadas X e Y nas duas imagens. Depois das imagens terem sido orientadas, foram medidos pontos homólogos em ambas as imagens e por intersecção fotogramétrica foram determinadas as coordenadas 3D de pontos que definem algumas feições da fachada do Museu. Os pontos 3D restituídos foram introduzidos em um programa CAD (*Computer Aided Design*), sendo ligados por linhas para dar forma ao desenho das feições restituídas (Fig. 10 d). Com estes procedimentos foram verificadas as potencialidades do sistema RESPA em medições de fachadas de edificações tanto quanto para placas de propaganda. Estes resultados podem ser encontrados em detalhes em REISS (2002) ou em TOMMASELLI e REISS (2005).

Uma versão deste sistema está em desenvolvimento na Universidade de Vigo para aplicações no setor de construção civil (ARIAS et al, 2008), mostrando a potencialidade da metodologia desenvolvida para o RESPA.

5. SISTEMA Scan3DSL

O outro desenvolvimento na área de Fotogrametria que será apresentado trata de um sistema de reconstrução 3D

de objetos a curta distância por meio de luz estruturada, elaborado como trabalho de doutorado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da UNESP, entre 2002 e 2007, como consequência de outros trabalhos precedentes (TOMMASELLI, 1998a e 1998b). Este trabalho (REISS, 2007; REISS, TOMMASELLI e KOKUBUM, 2005) se baseou em padrões que são projetados sobre a superfície do objeto e um instrumento sensor captura a imagem dos padrões que acompanham o relevo da superfície de projeção (Fig. 11).

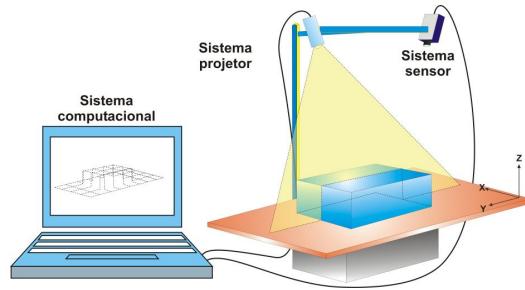


Fig. 11 – Sistema de reconstrução por luz estruturada.

Dos trabalhos apresentados até o momento, este foi o que mais envolveu complexidade no seu desenvolvimento, pois envolveu várias áreas do saber, como: a Fotogrametria, a Visão Computacional, Computação Gráfica, Processamento Digital de Imagens, e outras. Nesses sistemas de reconstrução, um projetor é fixado a certa distância do instrumento sensor (câmera), possibilitando a determinação da orientação relativa entre eles, semelhante ao uso de duas câmeras. Sendo o projetor fixado à câmera cria-se uma geometria que possibilita determinar a coordenada do ponto na superfície por meio de um processo de intersecção. De acordo com alguns autores (ROCCHINI et al, 2001; ZHANG e WEI, 2002; SALVI et al, 2004), os sistemas baseados em luz estruturada são fundamentados em três problemas principais: (a) Codificação dos padrões; (b) Calibração do sistema; e, (c) Unidade de captura.



Fig. 12 – Sistema de reconstrução por luz estruturada: (a) Unidade de captura; (b) Codificação de Padrões; (c) Matriz de padrões codificados; (d) Placa de Calibração de Câmaras e do Projetor. Fonte: REISS (2007).

A codificação dos padrões organiza os padrões de luz estruturada projetados sobre a imagem para a sua posterior decodificação; ou seja, para que depois seja possível determinar cada ponto de luz estruturada dentre os demais e atribuir a eles os parâmetros geométricos que permitem a reconstrução do ponto tridimensionalmente. A calibração visa determinar os parâmetros da geometria de projeção do ponto de luz estruturada indexado. O terceiro aspecto, a unidade de captura, diz respeito à ferramenta física de projeção e imageamento dos padrões de luz estruturada, e é construído de acordo com as características do tipo de padrão a ser projetado. A metodologia desenvolvida, denominada Scan3DSL (Scanner 3D by Structured Light) abrange estes três aspectos; ou seja, a construção de uma unidade de captura (Fig. 12 a), um método de calibração e um esquema de codificação de padrões.

Foi desenvolvida uma codificação de padrões baseada em um conjunto de elementos pontuais em uma grade ou matriz com cada forma tendo características distintas. As formas utilizadas continhas quinas objetivando aumentar o número de pontos, além dos centros de massa. Foram consideradas então 5 formas (padrões) (Fig. 12 b e 12 c), e para cada uma delas, podem ser associadas letras que correspondem à classe que cada forma pertence.

Foram utilizadas técnicas de processamento digital de imagens para segmentar os padrões capturados e foram criados métodos de análise de vizinhança para o reconhecimento automático de cada padrão (REISS e TOMMASELLI, 2007). Um detector de quina também foi utilizado para medir as quinas dos padrões capturados, aumentando assim a densidade de pontos na reconstrução.

Uma das contribuições deste trabalho de REISS (2007) foi o desenvolvimento de um método de calibração do sistema câmara-projetor de forma rápida, fácil, com a possibilidade de tomada de planos convergentes. O procedimento se resume a tomar imagens convergentes de uma placa de calibração, especialmente desenvolvida para sistema (Fig. 12 d) e processar um programa calibração contendo a modelagem de calibração também especialmente desenvolvida. Outra contribuição importante foi o desenvolvimento de uma metodologia de reorientação relativa entre o projetor e a câmara, para corrigir mudanças possíveis com o manuseio do equipamento (REISS, 2007). A Fig 13 apresenta alguns objetos reconstruídos com o sistema.

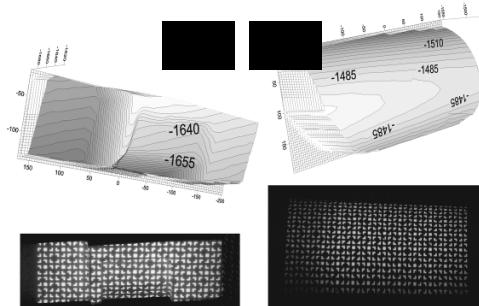


Fig. 13 – Objetos reconstruídos: (a) relevo irregular; (b) parte de um cilindro. Fonte: REISS (2007).

Dos resultados obtidos com testes deste sistema foram observadas precisões melhores que 0,2mm para a reconstrução em Z de um objeto de aproximadamente 1m² à uma distância câmara-objeto de aproximadamente 2m. Com os resultados obtidos constatou-se a potencialidade deste sistema vir a se tornar um produto alternativo e barato para a reconstrução 3D de objetos para fim industriais e biomédicos. Isto levou à elaboração de um projeto CNPq – Edital Universal 2007, em colaboração com a Universidade Estadual Paulista, Departamento de Cartografia, e a Universidade de Calgary, Departamento de Engenharia Geomática, Grupo de Pesquisa em Fotogrametria Digital.

Neste projeto será desenvolvida uma abordagem usando duas câmaras e uma codificação de padrão baseada em uma grade de pontos e linhas verticais. A ferramenta terá como vantagens ser mais barata e mais prática em relação a alguns similares desenvolvidos e utilizados no mercado, buscando uma precisão da ordem de 0,01 mm. Os padrões projetados não serão usados apenas como textura para gerar a correspondência entre as câmaras. Eles terão seus parâmetros diretores calibrados, de forma a permitir a reconstrução apenas com a relação entre uma câmara e o projetor, para o caso em que o padrão não apareça com homólogos nas duas imagens. Quando o padrão aparecer nas duas imagens, a reconstrução poderá ser realizada considerando o trio formado entre as duas câmaras e o projetor, dando maior precisão ao ponto reconstruído. Isto dará também maior robustez aos métodos de reconhecimento dos padrões projetados, principalmente em regiões de oclusão.

Vislumbram-se alguns interesses comerciais para o sistema, como por exemplo, o de pequenas empresas produtoras de moldes da região de Sorocaba-SP e do Rio Grande do Sul.

6 CONCLUSÕES

Um dos objetivos da apresentação destes projetos de pesquisa foi criar no leitor o interesse pela Fotogrametria. Para isso foi dada uma amostra da versatilidade da Fotogrametria no processo de medição de objetos, desde sua aplicação original, o mapeamento topográfico em uma aplicação terrestre, até a medição de objetos industriais, fazendo interfaces com outras áreas do saber.

Além das aplicações da Fotogrametria para o mapeamento e as mostradas neste artigo, há também várias outras, dentre as quais vale destacar:

- A restituição fachadas e de monumentos históricos e de sítios arqueológicos com fins de registro, restauração, e análise arquitetônica;
- Levantamentos para controle de qualidade de edificações e outras obras de engenharia, pela comparação entre os elementos contidos nos projetos e os efetivamente realizados (no inglês, *as built*);

- Restituição de superfícies anatômicas com finalidades médicas;
- Controle de qualidade de peças em linhas de produção industriais;
- Aplicações em robótica para a localização e visão de máquina;
- Medição de rochas para aplicações geológicas;

6.1 Perspectivas Futuras

Há perspectivas de a Fotogrametria vir a ter um grande desenvolvimento dentro da UFRGS nos próximos anos. Um dos motivos é o desenvolvimento deste primeiro projeto Universal do CNPq, para a continuidade do desenvolvimento de um sistema de reconstrução 3D por luz estruturada, com o qual já se conseguiu recursos suficientes para a montagem de um Laboratório de Pesquisas em Fotogrametria, ainda inexistente na Universidade. Como consequência deste projeto, e para apoiá-lo, foram conseguidas duas bolsas de iniciação científica, uma da BIC-FAPERGS e outra BIC-UFRGS. Outro motivo é a realização, por parte da Prefeitura Municipal, de um levantamento Aerofotogramétrico para mapeamento cadastral do Município de Porto Alegre. Neste levantamento, que ocorrerá entre 2008 a 2011, haverá a participação da UFRGS em um convênio com a Prefeitura local, no qual será feito o estabelecimento de critérios para o controle de qualidade do aerolevantamento, e será executada a fiscalização de uma empresa que será contratada para a fazer do controle de qualidade dos produtos gerados. Com esse convênio também haverá o envolvimento de alunos bolsistas nos procedimentos da fiscalização e a aquisição de equipamentos, que se somarão aos já adquiridos, tornando a área de Fotogrametria na UFRGS mais consistente.

Como consequência destas perspectivas e para apoiar o desenvolvimento científico foi criado o primeiro Grupo de Pesquisa em Fotogrametria no Estado do Rio Grande do Sul com registro no CNPq e autenticação da UFRGS. Acredita-se que esta variedade de aplicações e perspectivas futuras possa ser motivadora para o desenvolvimento e expansão da Fotogrametria na UFRGS, onde há um Curso de Engenharia Cartográfica, que completa 10 anos de existência, e que se utiliza de suas técnicas como um dos troncos de sua formação profissional.

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer aos professores: Dr. João Fernando Custódio da Silva, do Departamento de Cartografia da UNESP, pela oportunidade de fazer parte de sua equipe no desenvolvimento de seu projeto do SMMT, no trabalho de graduação; Dr. Antônio Maria Garcia Tommaselli, pela orientação e apoio no desenvolvimento dos trabalhos de mestrado e doutorado do PPGCC.

Agradecimentos também ao apoio:

- Da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) por: (a) a concessão recursos em forma de projeto de pesquisa para o professor João Fernando Custódio da Silva, para o trabalho do SMMT; (b) a concessão de bolsa de mestrado e doutorado, para o desenvolvimento dos projetos RESPA e Scan3DSL, respectivamente.
- Do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo concessão de um Projeto Universal para o desenvolvimento de um sistema de reconstrução 3D por luz estruturada;
- Da FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul), BIC-UFRGS, pela concessão de bolsas de iniciação científica para apoiar o mesmo projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J.B. **Fotogrametria**. 1. ed. Curitiba: SBEE, 1998.
- ARIAS, P., LORENZO, H., ORDÓÑEZ, C., Armesto, J. Calibration of a Photogrammetric System for Semiautomatic Measurement: CaM-DisT®, **Key Engineering Materials**, Trans Tech Publications, Switzerland Vols. 364-366 (2008) pp. 259-264.
- BATISTA, J. C., OLIVEIRA, R. A e SILVA, A. R.. **Levantamento Topográfico por Caminhamento Fotogramétrico**. Trabalho de Graduação do Curso de Engenharia Cartográfica. Presidente Prudente, 1998. 80p.
- BOSSLER, J. D. et al. Digital mapping on the ground and from the air. **GEO INFO SYSTEMS**, January, p. 44-48, 1994.
- BROWN, D. Close-Range Camera Calibration, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 37, n. 8, p. 855-866, 1971.
- GALO, M. **Calibração e Aplicação de Câmaras Digitais**. 1993. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- GEMAEL, C., **Introdução ao Ajustamento de Observações**: Aplicações Geodésicas, Curitiba: Editora UFPR, 1994.
- GUARDIA, M.C., REISS, M.L.L. e SILVA, R.A.C.. **Levantamento Topográfico Usando o Sistema Móvel de Mapeamento Digital**. Trabalho de Graduação do Curso de Engenharia Cartográfica. Presidente Prudente, 1999. 111p
- HARALICK, R.M.; Determining Camera Parameters From The Perspective Projection of a Rectangle. **Pattern Recognition**, Vol. 22, No. 3, pp. 225- 230, Great Britan, 1989.

HE, G.. Design of a Mobile Mapping System for GIS Data Collection. In: International Congress of ISPRS, 18., 1996, Viena. **International Archives...**, ISPRS, 1996, v. 31, t. B2, p. 154-159.

HEUVEL, F.A. Exterior Orientation using Coplanar Parallel Lines. Proceedings of the 10th Scandinavian Conference on Image Analysis, Lappeenranta, ISBN 951-764-145-1, 1997, pp.71-78.

LIU, Y.; HUANG, T.S. A Linear Algorithm for Motion Estimation Using Straight Line Correspondences. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, 44(1), pp. 35-57, October 1988b

LIU, Y.; HUANG, T.S. Estimation of Rigid Body Motion Using Straight-line Correspondences, **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, v.43(1), pp. 37-52, July 1988a.

MEDEIROS, N. G.; TOMMASELLI, A.M.G. Um modelo para orientação de imagens orbitais baseado em feições retas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, Pr, v. 12, n. 2, p. 175-194, 2006

MIKHAIL, E.M.; BETHEL, J.S.; MCGLONE, J.C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, 2001

NOVAK, K. Global Positioning with a stereo-vision system. In: International Geodetic Syposium On Satellite Positioning, 6., 1992, Columbus-OH. **Anais...**p.702-711.

REDSTALL, M., 2006. **Accurate terrestrial laser scanning from amoving platform**. Geomatics World, July/August 2006, pp. 28-30.

REISS, M.L.L. **Reconstrução tridimensional digital de objetos à curta distância por meio de luz estruturada**. 2007. 256 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

REISS, M.L.L. **Restituição Fotogramétrica Flexível de Imagens à Curta Distância: Estudo de Método e Desenvolvimento de Protótipo**. 2002. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

REISS, M.L.L.; GUARDIA, M.C.; SILVA, R.A.C.; SILVA, J.F.C.; CAMARGO, P.O.. Softwares de Processamento de Dados Obtidos por um Sistema Móvel de Mapeamento Digital. In: IV Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, II Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os Países do Mercosul, I Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para Os Países do Conesul, 2000,

Florianópolis. **Anais do IV COBRAC**. Florianópolis : UFRSC, 2000. v. 10.

REISS, M.L.L.; TOMMASELLI, A.M.G.. Orientação de Imagens sem pontos de apoio para mensuração de superfícies planas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, Pr, v. 9, n. 1, p. 121-139, 2003.

REISS, M.L.L.; TOMMASELLI, A.M.G... Reconhecimento de padrões para um sistema de reconstrução 3d por luz estruturada. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente. **Anais do Evento**. Presidente Prudente : Universidade Estadual Paulista, 2007. v. 1. p. 664-673.

REISS, M.L.L.; TOMMASELLI, A.M.G.; KOKUBUM, C.N.C. A Low Cost Structured Light System. In: W S C G ' 2005, The 13th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2005, 2005, Pilsen. **W S C G ' 2005 Poster Proceedings**, 2005m v. 1, p. 53-55.

ROCCHINI, C.; CIGNONI, P.; MONTANI, C.; PINGI, P.; SCOPIGNO, R. A Low Cost 3D Scanner Base don Structured Light. IN: COMPUTER GRAPHICS FORUM, **Eurographics 2001 Conference Proceedings**. Manchester, v. 20 (3), 2001, p. 299-308,

SALVI, J.; PAGES, J.; BATLLÉ, J. Pattern Codification Strategies in Structured Light Systems. **Pattern Recognition Society**, Elsevier Ltd, v. 37, p 827-849, 2004.

SILVA, J.F.C. **Fototriangulação no Caminhamento Fotogramétrico**. Tese (Livre Docência) – Departamento de Cartografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 1997, 85p.

TELLES, S.S.S; TOMMASELLI, A.M.G. Um modelo matemático para calibração de câmaras baseado em linhas retas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 03, p. 180-188, 2005.

TOMMASELLI, A, M, G.; TOZZI, C, L.; A Recursive Approach to Space Resection Using Straight Lines, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, January 1996, Vol 62, No, 1, pp, 57-66.

TOMMASELLI, A, M, G; LUGNANI, J, B; An Alternative Mathematical Model to the Colinearity Equation Using Straight Features, **Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, Kyoto, 1988, Commission III, pp, 756-774.

TOMMASELLI, A.M.G. Caracterização geométrica de um sistema fotogramétrico digital para reconstrução de imagens de superfícies à curta distância. 1998a. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

TOMMASELLI, A.M.G. Geometric Accuracy of a Structured Light System. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAHAMTRY AND REMOTE SENSING; Proceedings, 1998 Cambridge, United Kingdom, 1998b, p. 313- 319.

TOMMASSELLI, A.M.G; REISS, M.L.L. A Photogrammetric Method for Single Image Orientation and Measurement. **Photogrammetric Engineering And Remote Sensing**, v. 70, n. 12, p. 1-8, 2005.

ZHANG, G; WEI, Z. A Novel Calibration Approach to Structured Light 3D Vision Inspection. **Optics & Laser Technology**, Elsevier Ltd, vol. 34, p 373-380, 2002.

SOBRE O NOVO MODELO DO GEOPOTENCIAL EGM2008

Sérgio Florêncio de Souza¹, Marcelo Tomio Matsuoka¹, Jussyer J. Götz², Tiago C. Severo²

¹ Laboratório de Pesquisas em Geodésia (LAGEO), Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {sergio.florenco@ufrgs.br; tomiomatsuoka@gmail.com; tiago.severo@gmail.com; jussyer.gotz@gmail.com }

² Bolsistas de Iniciação Científica (BIC-UFRGS e I.C. Voluntário), Laboratório de Pesquisas em Geodésia (LAGEO), Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. {Tiago.severo@gmail.com; jussyer.gotz@gmail.com }

RESUMO: A determinação do campo de gravidade tem provado ser uma tarefa formidável. Atualmente, os dados coletados a partir de uma dezena de satélites são utilizados para determinar o campo de gravidade da Terra, que contém informações importantes para o conhecimento da forma, da estrutura e dos processos dinâmicos que ocorrem no interior do planeta. Nos últimos anos, os satélites artificiais, o desenvolvimento de novos algoritmos e a evolução da informática, possibilitaram o processamento dessas informações com extraordinária rapidez, e estão alterando a coleta e a integração de dados geodésicos, permitindo ampliar a resolução e a escala da representação do campo de gravidade. Atualmente, esses integram os sistemas de referência geodésicos e vem sendo usados como esferóides combinados com dados locais para a representação do campo de gravidade anômalo de alta resolução. A eficiência desses modelos depende da técnica e dos dados utilizados no cálculo dos coeficientes. A comunidade científica aguardava a substituição do modelo do geopotencial *Earth Gravitational Model* 1996 (EGM96), que contém coeficientes do potencial gravitacional expresso em harmônicos esféricos até o grau e ordem 360, o que significa uma resolução espacial de 30 minutos de arco. Em razão dos dados provenientes, principalmente, das missões CHAMP (*CHAllenging Minisatellite Payload*), e GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*), que foi possível o conhecimento do comportamento do campo de gravidade com maior resolução e exatidão. Permitindo assim, o lançamento de uma dezena de modelos do geopotencial a partir dos dados coletados dessas missões. Entre eles, está o modelo geopotencial *Earth Gravitational Model* 2008 (EGM2008), divulgado na ultima Assembleia Geral da União Europeia de Geociências em 2008 (*European Geosciences Union - General Assembly 2008*), ocorrida em Viena na Áustria. O EGM2008 contém coeficientes do potencial gravitacional expresso em harmônicos esféricos até o grau 2160, o que significa uma resolução espacial aproximada de 5' minutos de arco.

Palavra-chave: Modelo Geopotencial, EGM2008

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do potencial gravitacional da Terra, em escala global e com alta resolução, é um pré-requisito fundamental para várias pesquisas nas áreas da Geodésia, Oceanografia, Geofísica, entre outras. Nos últimos 40 anos, o contínuo refinamento da base teórica, em paralelo com o desenvolvimento dos recursos computacionais, contribuíram para o desenvolvimento de modelos harmônicos esféricos do grau 8 na década de 40 para o grau 360 no século passado, até 2190 ou maiores nos dias atuais. Dois avanços em particular merecem destaque na qualidade dos modelos geopotenciais: o desenvolvimento de satélites artificiais e a contribuição dos satélites de radar altimétricos. Há inúmeros usos para os coeficientes dos modelos geopotenciais de alto grau, por exemplo, eles podem ser usados para fornecer valores de referência para análises regionais e locais na determinação de geóide.

Os modelos geopotenciais, conjuntos de coeficientes do potencial anômalo desenvolvido em

harmônicos esféricos, são determinados pela integração de dados obtidos por uma grande variedade de instrumentos e técnicas observacionais. Atualmente, os modelos digitais geopotencial integram os sistemas de referência geodésicos e são usados rotineiramente como esferóides para a representação do campo de gravidade anômalo de alta resolução. Como a distribuição geográfica dos dados gravimétricos existentes para a determinação dos coeficientes melhorou significativamente em termos globais, nesses últimos anos, devido em grande parte as missões de satélites artificiais; os modelos geopotenciais de alto grau tornaram-se mais eficientes na representação do campo de gravidade anômalo sobre toda a superfície terrestre.

Mesmo assim, para o correto uso de um modelo de alto grau, sobretudo em regiões ainda carentes de dados gravimétricos, como é o caso do Brasil, é necessário avaliar a sua real eficiência (Sá, 1988; Sá, 1993; Sá e Molina, 1995; Molina, 1999, Souza e Sá, 2000).

2 REPRESENTAÇÕES EM HARMÔNICOS ESFÉRICOS DO CAMPO DE GRAVIDADE

Cabe tecer algumas considerações teóricas a respeito da representação do campo de gravidade em harmônicos esféricos. As variações do campo geopotencial em relação ao campo esferopotencial, pode ser descrita da seguinte forma: O potencial anômalo (T) é representado como a diferença entre o geopotencial ($W(r, \theta, \lambda)$) e o esferopotencial ($U(r, \theta, \lambda)$) no mesmo ponto.

$$T(r, \theta, \lambda) = W(r, \theta, \lambda) - U(r, \theta, \lambda) \quad (01)$$

O primeiro termo da expressão (01) representa o potencial gravitacional da Terra real, dado por (Heiskanen & Moritz, 1967).

$$W(r, \phi, \lambda) = \left(\frac{GM}{r} \right) \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \phi) \right] \quad (02)$$

onde r, ϕ, λ são as coordenadas geocêntricas, GM é a constante gravitacional geocêntrica, a é o raio equatorial médio, \bar{C}_{nm} e \bar{S}_{nm} são coeficientes totalmente normalizados e \bar{P}_{nm} é o polinômio de Legendre, totalmente normalizado, de grau n e ordem m .

O segundo termo da expressão (01) representa o potencial gravitacional da Terra normal.

$$U(r, \theta, \lambda) = \left(\frac{GM}{r} \right) \left[1 - \sum_{n=1}^4 \left(\frac{a}{r} \right)^{2n} \bar{J}_{2n} \bar{P}_{2n}(\sin \phi) \right] \quad (03)$$

Onde \bar{J}_{2n} são os coeficientes do potencial gravitacional normal que integram o *Geodetic Reference System 1980* e \bar{P}_{2n} é o polinômio de Legendre de grau $2n$. Pode-se reescrever a expressão (01), como:

$$T(r, \phi, \lambda) = \left(\frac{GM}{r} \right) \left[\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \phi) \right] \quad (04)$$

Nota-se, na expressão (04), que o valor de n inicia-se no número 2; a explicação para isso, é que para $n=0$, o termo de grau zero representa o potencial gravitacional gerado por uma esfera de massa homogênea. O termo de grau 1 ($n=1$), o valor é zero, isto é devido à condição imposta ao sistema de coordenadas cartesianas, que coincidem com o centro de massa da Terra. A expressão de Bruns proporciona a altura geoidal (N), a partir do potencial anômalo (T), para o desenvolvimento até o grau n e a ordem m :

$$N = \frac{T}{\gamma} \quad (05)$$

relacionando a altura geoidal (N) com o potencial anômalo (T) e a gravidade teórica (γ). Em harmônicos esféricos é descrita como:

$$N = \left(\frac{GM}{r\gamma} \right) \left[\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \phi) \right] \quad (06)$$

A equação da Geodésia Física fornece a anomalia ar-livre sobre o esferóide

$$\Delta g = -\frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2}{r} T \quad (07)$$

Da expressão (04), obtém-se:

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \left(\frac{GM}{ra} \right) \left[\sum_{n=2}^{\infty} (-n-1) \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \phi) \right] \quad (08)$$

$$\frac{2}{r} T = \left(\frac{GM}{ra} \right) \left[\sum_{n=2}^{\infty} 2 \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \phi) \right] \quad (09)$$

Reescrevendo a expressão (07), tem-se:

$$\Delta g = \left(\frac{GM}{r\gamma} \right) \left[\sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n (n-1) \left(\frac{a}{r} \right)^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \cdot \bar{P}_{nm}(\cos \phi) \right] \quad (10)$$

Relações semelhantes podem ser encontradas para o desvio da vertical através das componentes meridiana e primeiro vertical e para os gradientes gravimétricos (Sá, 1988).

$$\xi = -\frac{1}{r\gamma} \frac{\partial T}{\partial \phi} \quad (11)$$

e

$$\eta = -\frac{1}{rcos\phi\gamma} \frac{\partial T}{\partial \lambda} \quad (12)$$

e os gradientes de gravidade

$$T_{zz} = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}; \quad T_{zx} = \frac{\partial^2 T}{\partial z \partial x}; \quad T_{zy} = \frac{\partial^2 T}{\partial z \partial y}; \quad T_{xy} = \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y}; \quad T_A = \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (13)$$

Em que r é a distância ao centro da Terra, ϕ e λ são a latitude e longitude geocêntrica respectivamente (ou seja, coordenadas esféricas). Assim, a partir da representação do potencial anômalo

em harmônicos esféricos, visto em (04), combinada com (05), (07), (10) e (13), obtém-se a altura geoidal e anomalia ar-livre, bem como os demais elementos do campo de gravidade.

3. DETERMINAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DOS COEFICIENTES DO MODELO GEOPOTENCIAL

O cálculo do potencial gravitacional em harmônicos esféricos envolve a prévia determinação dos coeficientes da série. Destes, somente os de baixo grau ($n,m \leq 180$), são determinados a partir de dados resultantes de satélites, isto porque os satélites fornecem informações apenas do efeito gravitacional associado às feições com grandes dimensões. A determinação dos coeficientes de um modelo geopotencial, com dados somente de satélite, é um problema que envolve o cálculo simultâneo da órbita, posição, marés, movimento polar e parâmetros de rotação terrestre, e exigem ainda, informações sobre os efeitos não gravitacionais (atrito atmosférico, pressão de radiação e efeitos eletromagnéticos), obtidas especificamente para cada satélite (Gmael, 1975). É um problema que apresenta certa complexidade porque cada satélite reage ao efeito do campo gravitacional de forma particular, conforme suas características orbitais (altitude, inclinação e excentricidade), ou pela técnica de rastreamento (Doppler ou Laser), entre outras (Pavlis, 1997). A solução para a determinação dos coeficientes é obtida igualando os elementos orbitais que descrevem a órbita dos satélites com o potencial anômalo descrito em harmônicos esféricos. Há várias técnicas matemáticas pelas quais esses coeficientes podem ser calculados, mas o princípio básico consiste em montar um sistema a partir das equações de observação, nas quais os coeficientes aparecem como incógnitas, e resolver o sistema. Os coeficientes de alto grau são determinados a partir dos de baixo grau, combinados com dados topográficos, gravimétricos terrestres e oceânicos na forma de modelos gravimétricos digitais.

Atualmente, o modelo geopotencial recomendado pela comunidade científica internacional é o *Earth Gravitational Model 1996* (EGM96), determinado pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA); NASA, através do *Goddard Space Flight Center* (GSFC) e *Ohio State University* (OSU). Associado ao WGS84, sistema geodésico de referência do GPS, ficou conhecido nacionalmente e utilizado como esferóide de referência na maioria dos modelos geoidais determinados no país. O modelo é constituído por coeficientes do potencial gravitacional expresso em harmônicos esféricos até o grau 360, o que significa uma resolução espacial de $30'$ de arco (Lemoine et al., 1998). Os coeficientes de alto grau, foram determinados a partir dos dados gravimétricos existentes no acervo da NIMA, na forma de anomalias médias em blocos de $30'$, complementadas com as novas aquisições de dados ocorridas na década de 90, incluindo gravimetria terrestre e aérea, e contribuições de várias instituições, fornecendo dados de diversas áreas como África,

Canadá, América do Sul, Ásia, Europa ocidental e da antiga União Soviética. Os dados de altimetria por satélite das missões GEOSAT-GM, ERS-1 e TOPEX-POSEIDON foram utilizados na forma de anomalias gravimétricas determinadas a partir dos dados altimétricos, com resolução de $30'$. Para a redução dos dados gravimétricos, foi utilizado um modelo topográfico digital JGP5 (*Joint Gravity Project 5*) obtido a partir de todos os dados topográficos disponíveis nas instituições envolvidas. Esse modelo topográfico foi usado também para o cálculo de anomalias isostáticas, utilizadas para o preenchimento de áreas onde não havia dados gravimétricos disponíveis. Em Souza e Sá (2000 e 2007), o EGM96 foi avaliado quanto a sua capacidade de representação, expressa pelo grau do seu desenvolvimento em harmônicos esféricos. A área escolhida para esta avaliação foi o Estado de São Paulo, que apresenta uma densidade de dados gravimétricos adequados em precisão e distribuição geográfica. Os resultados mostraram que o EGM96 perde a sua capacidade de representação nessa área a partir do grau 180.

A partir do lançamento dos satélites CHAMP e GRACE, e em razão da grande quantidade de dados por eles coletados, era esperado pela comunidade científica um novo modelo do geopotencial que poderia ser o sucessor do EGM96. Em 2008, foi lançado oficialmente o modelo EGM2008, publicado na Assembléia Geral da União Europeia de Geociências 2008 (*European Geosciences Union - General Assembly 2008*), e que contém coeficientes do desenvolvimento do potencial gravitacional em harmônicos esféricos completo até o grau e ordem 2159, e contém coeficientes adicionais estendidos até o grau 2190 e ordem 2159 (Pavlis et al., 2008). Para exemplificar, na tabela 1, vêem-se os coeficientes do modelo geopotencial EGM2008, desenvolvidos até o grau e ordem 4 (quatro).

TABELA 1 – COEFICIENTES DO MODELO GEOPOTENCIAL EGM2008

n	m	\bar{C}_{nm}	\bar{S}_{nm}	$sigma \bar{C}_{nm}$	$sigma \bar{S}_{nm}$
0	0	1,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00
2	0	-4,8417E-04	0,0000E+00	7,4812E-12	0,0000E+00
2	1	-2,0662E-10	1,3844E-09	7,0638E-12	7,3483E-12
2	2	2,4394E-06	-1,4003E-06	7,2302E-12	7,4258E-12
3	0	9,5716E-07	0,0000E+00	5,7314E-12	0,0000E+00
3	1	2,0305E-06	2,4820E-07	5,7266E-12	5,9767E-12
3	2	9,0479E-07	-6,1901E-07	6,3748E-12	6,4018E-12
3	3	7,2132E-07	1,4143E-06	6,0291E-12	6,0283E-12
4	0	5,3997E-07	0,0000E+00	4,4311E-12	0,0000E+00
4	1	-5,3616E-07	-4,7357E-07	4,5681E-12	4,6840E-12
4	2	3,5050E-07	6,6248E-07	5,3078E-12	5,1861E-12
4	3	9,9086E-07	-2,0096E-07	5,6320E-12	5,6203E-12
4	4	-1,8852E-07	3,0880E-07	5,3729E-12	5,3832E-12

O NGA (*U.S. National Geospatial-Intelligence Agency*) disponibiliza no sitio [http://earth-](http://earth)

info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html, uma série de informações a respeito do novo modelo EGM2008. Os coeficientes disponibilizados são compatíveis com o sistema geodésico WGS84 e estão na forma de modelos digitais do geóide com diferentes resoluções espaciais, e ainda, é disponível um conjunto de programas que permitem o cálculo e a extração da

informação disponibilizada. O arquivo formatado final contém 2.401.333 coeficientes, no seguinte padrão: $\{n,m,C_{nm},S_{nm},\sigma C_{nm},\sigma S_{nm}\} \rightarrow \{2i, 2d25.15, 2d20.10\}$.

A representação visual dos coeficientes pode ser feita de várias maneiras, a forma mais comum para a sua visualização é mostrada na Fig. 1.

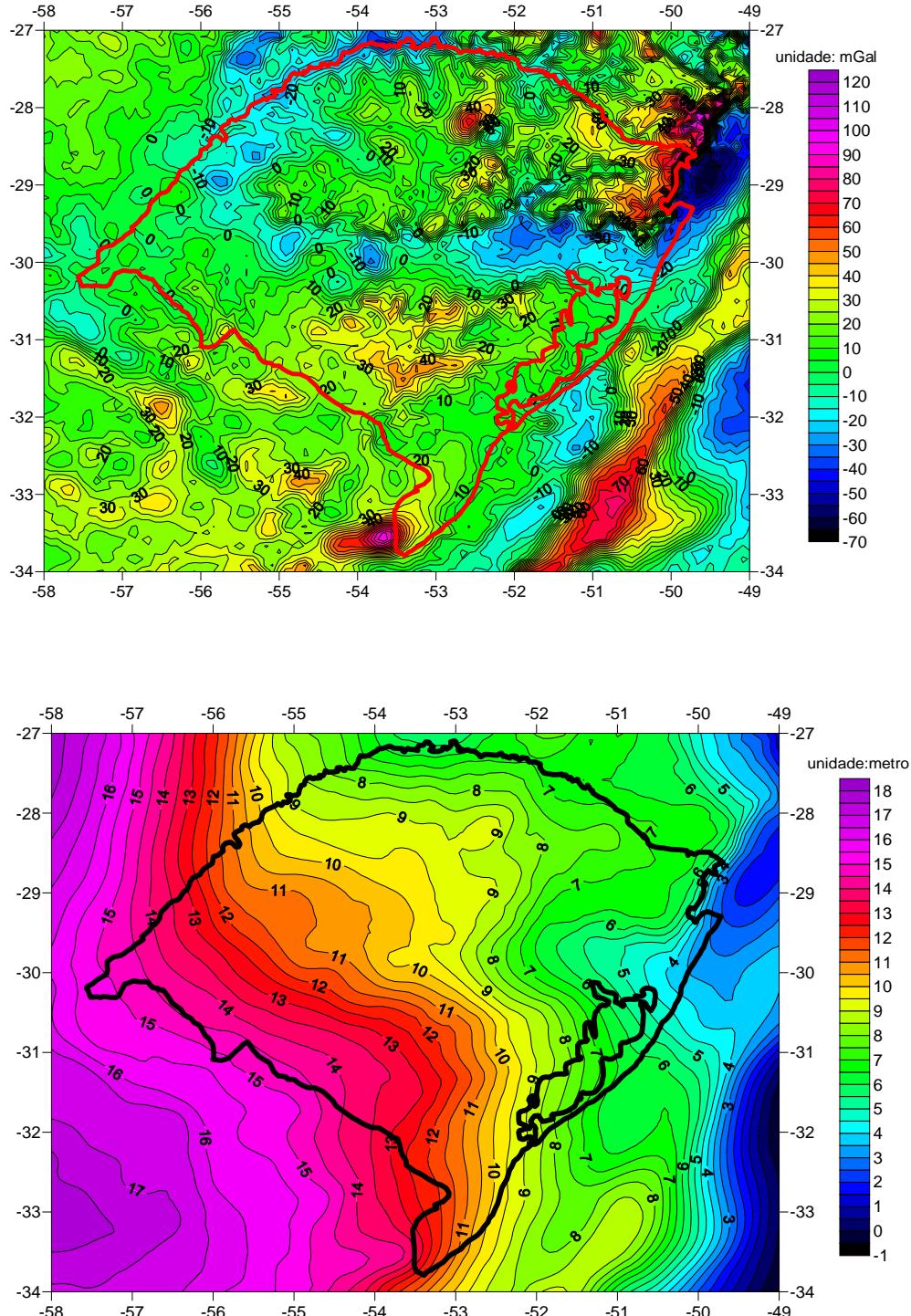


Fig. 1 – Representação de elementos do campo de gravidade a partir dos coeficientes do EGM2008
(Anomalias gravimétricas e Alturas geoidais para o Estado do Rio Grande do Sul)

4 FORMAS DE AVALIAR OS COEFICIENTES DO MODELO GEOPOTENCIAL EGM2008

Os modelos geopotenciais podem ser avaliados através de qualquer componente do campo de gravidade anômalo que eles representam. Desde que, esta seja adequada para a resolução escolhida, as avaliações do modelo geopotencial podem ser realizadas através da análise das componentes do campo, isto é, anomalias gravimétricas, alturas geoidais, etc. As avaliações realizadas pelo *GeoForschungsZentrum Potsdam* (GFZ), mostram que o modelo representa bem regiões com grande cobertura de dados como E.U.A, Canadá, Europa e Austrália. No Brasil, os modelos geopotenciais vêm sendo avaliados com relação a sua capacidade de representação, expressas formalmente pelo grau de desenvolvimento, através dos resíduos das anomalias gravimétricas e das alturas geoidais calculadas pelos métodos com as obtidas diretamente das observações (Sá, 1988; Sá, 1993; Sá e Molina, 1995; Molina, 1999, Souza e Sá, 2000 e 2007). O EGM2008 pode ser avaliado através das anomalias gravimétricas e alturas geoidais, obtidas através dos seus coeficientes. Assim, comparando as anomalias do EGM2008 com as produzidas por outros modelos, obtém-se vetores residuais na forma:

$$N_r = N_{EGM\,2008} - N \quad (14)$$

Com média igual a:

$$\bar{N}_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_r \quad (15)$$

e variância

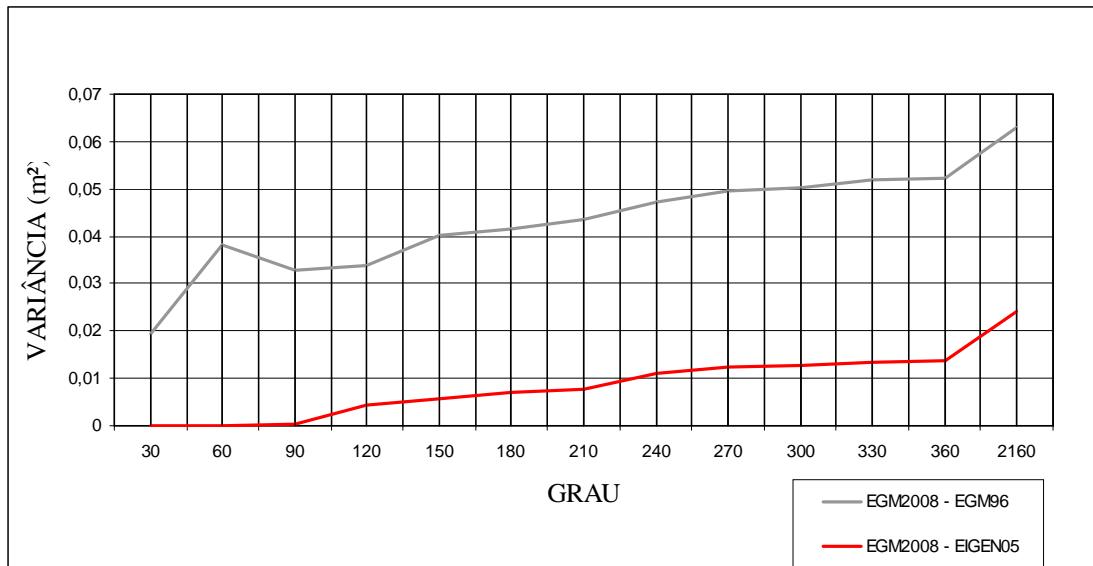


Fig. 2 – Resultados da comparação do EGM2008 com os modelos geopotenciais EGM96 e EIGEN 05 para diversos graus de truncamento

$$\sigma_{\bar{N}_r}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{N}_r - N_r)^2 \quad (16)$$

Abaixo do limite fixado, se o grau aumenta o módulo da média e a variância dos resíduos diminui. A média caracteriza a componente sistemática não representada pelo modelo e a variância indica a dispersão para o respectivo grau, sendo que o procedimento é idêntico para a anomalia gravimétrica. A Fig. 2 mostra a comparação entre os modelos do grau 30 até o grau 2160, em intervalos de 30°.

O modelo do geopotencial EGM2008 foi avaliado em relação aos modelos EGM96 (Lemoine et al., 1998) e EIGEN05C (Förste et al., 2008), em termos de alturas geoidais, na região que compreende o Estado do Rio Grande do Sul. A avaliação foi realizada a partir do truncamento em graus sucessivos, em que foram calculadas as variâncias (Fig. 2). Na comparação entre os modelos EGM2008 e EIGEN05C vê-se que as variâncias são próximas de zero até, aproximadamente, o grau 90, indicando que os dados possivelmente oriundos da mesma fonte, isto é das missões CHAMP e GRACE. A variância é menor do que a obtida entre o EGM2008 e o EGM96, isto é resultado do maior número de dados observados e usados nas determinações desses modelos. Os resultados obtidos quando comparado os dados do EGM96 com os dados do EGM2008 mostram que existem contribuições novas não explicadas pelo modelo anterior, verificada pela variância crescente encontrada, indicando a necessidade de adotarmos o novo modelo.

5 CONCLUSÕES

O aprimoramento na representação do campo de gravidade trará importantes avanços nas áreas Geodésia, Geofísica e Oceanografia, especialmente nos estudos relacionados com a estrutura da Terra, circulação oceânica, movimento glacial; e a mudança no nível do mar. O Brasil deve estar preparado para avaliar tanto a qualidade quanto a capacidade de representação, que é expressa formalmente pelo grau do desenvolvimento em harmônicos esféricos e explorar as potencialidades dos modelos geopotenciais determinados a partir de dados fornecidos pelas missões CHAMP, GRACE e futuramente a GOCE. Os modelos do geopotencial podem ser avaliados, tanto em escala global, como regional, através das componentes do campo gravidade anômalo que eles representam, isto é, anomalias gravimétricas, alturas geoidais, componentes do desvio da vertical, etc (Sá, 1993; Sá, 1988, Souza, 2002). A avaliação de modelos geopotenciais consiste basicamente na comparação das componentes por eles representadas, com as determinadas a partir da medição, e na análise dos resíduos obtidos. A distribuição geográfica dos dados gravimétricos existentes para a determinação dos coeficientes de modelos geopotenciais ainda é muito irregular, em termos globais. Assim, para o correto uso desses modelos, sobretudo em áreas carentes de dados gravimétricos como o Brasil, é necessária uma avaliação prévia da sua real eficiência. Pelos resultados iniciais dessas missões, a representação do campo de gravidade terá uma melhoria significativa nos próximos anos, sobretudo em regiões ainda carentes de dados gravimétricos como ocorre na Amazônia

AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte de um projeto mais amplo sobre a determinação e avaliação de geóides gravimétricos, que conta com o apoio do CNPQ na forma de fomento a projeto de pesquisa (306862/2008-5). Assim como o apoio financeiro recebido em forma de bolsa de Iniciação Científica IC/BIC/UFRGS e ao programa de IC/Voluntário da UFRGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FOERSTE, C.; FLECHTNER, F.; SCHMIDT, R.; STUBENVOLL, R.; ROTHACHER, M.; KUSCHE, J.; NEUMAYER, K.-H.; BIANCALE, R.; LEMOINE, J.-M.; BARTHELMES, F.; BRUINSMA, J.; KOENIG, R.; MEYER, U. **EIGEN-GL05C - A new global combined high-resolution GRACE-based gravity field model of the GFZ-GRGS cooperation.** General Assembly European Geosciences Union (Vienna, Austria 2008), Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, 2008.

GEMAEL, C. **Introdução a Geodésia Celeste, 1^a Parte:** Órbitas e Rastreio. *Texto de Aulas*. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas. UFPR, Curitiba,

150pp. 1975.

HEISKANEN, W. & MORITZ, H. **Physical geodesy.** W. H. Freeman, N. York, 364pp. 1967.

LEMOINE, F.G.; KENYON, S.C.; FACTOR, J.K.; TRIMMER, R.G.; PAVLIS, N.K.; COX, C.M.; KLOSKO, S.M.; LUTHCKE, S.B.; TORRENCE, M.H.; WANG, Y.M.; WILLIAMSON, R.G.; PAVLIS, E.C.; RAPP, R.H. & OLSON, T.R. **The development of joint NASA GSFC and NIMA geopotential model EGM96.** NASA/TP 206861. 1998.

LOBIANCO, M. C. B. **Determinação das alturas do geóide no Brasil.** 2005. 165 p. Tese (Doutorado) - ESC POLITECNICA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MOLINA, E.C. **Avaliação Preliminar do Modelo Geopotencial EGM96 no Território Brasileiro.** International Geoid Service, Bulletin no. 9. Special Issue for South America. DIIAR - Politécnico di Milano. Italy, pp:63-72. 1999.

PAVLIS, N. K.. **Development and Applications of Geopotential Models.** In *Lectures Notes of the 2nd. International School for the Determination and Use of the Geoid*, International Geoid Service, Rio de Janeiro. 1997.

PAVLIS, N.K., S.A. HOLMES, S.C. KENYON, AND J.K. FACTOR, **An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008**, presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008.

SÁ, N.C.de. **Modelos estatísticos e representação integrada do campo de gravidade no Brasil.** Tese de Doutorado, IAG/USP, São Paulo, 219pp. 1988.

SÁ, N.C.de. **Testes sobre a eficiência de Modelos Geopotenciais no Brasil.** XVI Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro. Anais I:268-77. 1993.

SÁ, N.C.de. e MOLINA, E. C. **O Geóide gravimétrico no Estado de São Paulo: Resultados Preliminares.** XVII Congresso Brasileiro de Cartografia. Salvador. Anais I:124-33. 1995.

SÁ, N. C.de. O geóide gravimétrico na América do Sul obtido com uso da colocação por mínimos quadrados. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2005, Macaé. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005.

SOUZA, S. F. and SÁ, N. C. de. **Tests on the geopotential model EGM96 in São Paulo State Region.** *An. Acad. Bras. Ciênc.*, June, vol.72, no.2, p.291-291. ISSN 0001-3765. 2000.

SOUZA, S. F. e SÁ, N. C. de. **Sobre a avaliação do modelo Geopotencial EGM96 no Estado de São Paulo e adjacências.** In: Sergio Florencio de Souza e Marcelo Tomio Matsuoka. (Org.). Série Em Geomática. 1 Ed. Porto Alegre: Sergio Florencio de Souza e Marcelo Tomio Matsuoka v. 1, 1-74. 2007.

CONTRIBUIÇÕES EXTERNAS

POSICIONAMENTO GPS BASEADO EM REDES UTILIZANDO O CONCEITO DE ESTAÇÃO VIRTUAL: ANÁLISE DOS REQUISITOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS

Daniele Barroca Marra Alves¹, João Francisco Galera Monico²

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP.

{danibarroca@yahoo.com.br}

² Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Cartografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP. {galera@fct.unesp.br}

RESUMO: O uso de múltiplas estações de referência, ao invés do método que utiliza uma única linha de base, tem recebido significante atenção da comunidade científica e usuária que utiliza o GPS. Uma questão importante diz respeito às formas de transmissão das correções geradas pela rede para o usuário. Existem algumas possibilidades para esse fim. Dentre elas, o uso do conceito de *Virtual Reference Station* (VRS) tem se mostrado muito eficiente. No conceito de VRS, uma estação base é gerada nas proximidades do receptor móvel (usuário). Mas, para que esse método de posicionamento apresente uma boa acurácia, é necessário ter disponível uma rede de estações de referência que deve atender a algumas especificações, como por exemplo, boa geometria, disponibilidade dos dados, confiabilidade dentre outros. Portanto, nesse artigo, é apresentado o conceito do posicionamento baseado em redes utilizando o conceito de estação virtual, bem como um experimento realizado que ilustra os requisitos necessários para o bom desempenho desse método.

Palavras chaves: Posicionamento Baseado em Redes, VRS.

1. INTRODUÇÃO

Com o advento dos sistemas de posicionamento globais se busca cada vez mais determinar posição com alta acurácia. Hoje em dia já é possível realizar posicionamento com acurácia na ordem de poucos centímetros em tempo real (MONICO, 2007).

Dentre as diversas técnicas de posicionamento existentes, o método que utiliza redes de estações de referência GPS, denominado RTK (*Real Time Kinematic*) em rede para aplicações em tempo real, tem recebido grande atenção da comunidade científica. Isso ocorre devido a grande potencialidade do método, principalmente em termos de acurácia. Além disso, é uma tendência mundial a instalação e manutenção de redes de estações de referência ativas.

Diversos métodos vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos para formular correções a partir dos dados de redes de estações de referência (ALVES et al., 2005; ALVES, 2008). Os principais métodos presentes na literatura são: algoritmos de derivadas parciais (WÜBBENA, 1996; FOTOPoulos, 2000; VARNER, 2000), algoritmos de interpolação (GAO e LI, 1998; ODIJK, 2000), algoritmo de ajustamento condicional (RAQUET, 1998; FORTES, 2002; FOTOPoulos e CANNON, 2000) e conceito de estação de referência virtual (VRS – Virtual Reference Station) (ZHANG e ROBERTS, 2003; MAREL, 1998; HU et al., 2003; RETSCHER, 2002).

Os três primeiros métodos se concentram na geração de correções da fase da onda portadora (em alguns casos envolve estritamente os efeitos ionosféricos residuais), enquanto o último método lida com o conceito de uma estação de referência virtual. Levando em consideração a realidade dos usuários brasileiros, os quais se encontram equipados com equipamentos que nem sempre represem o estado da arte, o último método parece mais adequado. Isso ocorre, pois utilizando o conceito de VRS o usuário não tem a necessidade de utilizar softwares especiais que aceitem um tipo específico de correção, como é o caso dos demais métodos.

Outro ponto que deve ser destacado quando se realiza o posicionamento baseado em redes de estações de referência diz respeito as especificações que a rede utilizada deve satisfazer para atender o nível de acurácia requerido, tais como: boa geometria, disponibilidade de dados, dentre outros. Portanto, nesse artigo, tais fatores são discutidos, bem como toda a conceituação envolvida no posicionamento baseado em redes utilizando o conceito de estação virtual. Além disso, são apresentados experimentos que enfatizam o potencial desse método de posicionamento, bem como toda a problemática envolvida.

2. POSICIONAMENTO BASEADO EM REDES DE ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA

O conceito de rede de estações de referência foi desenvolvido devido à necessidade de uma melhor disponibilidade, acurácia, confiabilidade e integridade no posicionamento e navegação. Além disso, utilizando dados de uma rede de estações de referência é possível modelar os erros espacialmente correlacionados, como é o caso do efeito ionosférico e da refração troposférica. Essa modelagem afeta diretamente outro fator que é de extrema importância ao posicionamento baseado em redes: a solução do vetor das ambigüidades. Para que se tenha um posicionamento com acurácia centimétrica, como consta na literatura, a solução correta do vetor de ambigüidades é indispensável. Um método que não necessita da solução das ambigüidades foi desenvolvido recentemente por pesquisadores da FCT/UNESP. Interessados podem consultar Alves (2008) e Alves et al. (2007).

As múltiplas estações de referência são utilizadas para levantamentos que requerem acurácia centimétrica em distâncias de dezenas de quilômetros (ALVES, AHN e LACHAPELLE, 2003), utilizando de três a dezenas de estações. Além disso, a área de abrangência onde o usuário poderá atuar será muito maior se comparado ao posicionamento que utiliza uma única estação de referência.

Outro ponto importante que vem fortalecendo e viabilizando o posicionamento com múltiplas estações é o aumento do número de redes de estações de referência ativas pelo mundo todo. Em países mais desenvolvidos, como é o caso, por exemplo, da Alemanha, Canadá, Estados Unidos e Japão, as redes de estações de referência são adequadamente densificadas. No que concerne ao Brasil, a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), com a configuração atual, torna inviável a aplicação do posicionamento GPS baseado em redes, tanto em tempo real, como no modo pós-processado, pois a distância entre as estações ainda é muito grande (várias dezenas de quilômetros) e os dados não estão disponíveis em tempo real. No entanto, com a modernização que está ocorrendo, principalmente no que diz respeito à densificação da rede, provavelmente esse tipo de posicionamento se tornará viável.

Para usuários do oeste do estado de São Paulo a possibilidade de se ter esse tipo de serviço pode estar próxima. A Figura 1 ilustra a posição das estações que compõem essa rede.

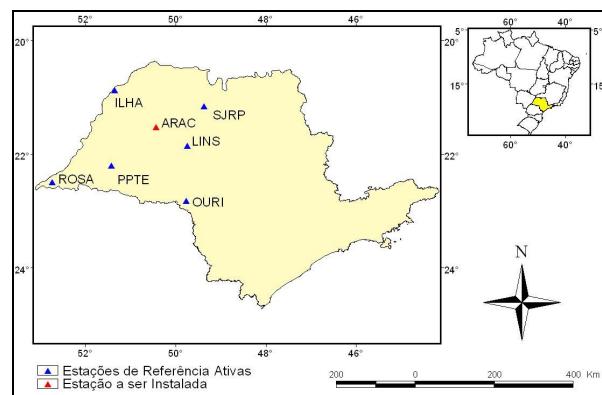


Fig. 1 - Rede do Oeste do Estado de São Paulo

Os dados coletados pelos receptores da rede do estado de São Paulo são disponibilizados on-line através da Internet na página <<http://gege.prudente.unesp.br/>>. Até o momento, são disponibilizados arquivos RINEX horários, com taxa de coleta de 1 segundo e arquivos RINEX a cada dia, com taxa de coleta de 15 segundos. Além disso, os dados também podem ser acessados em tempo real na Internet através do protocolo Ntrip (*Network of RTCM via Internet Protocol*) (Weber et al., 2005). O software que pode ser utilizado para acessar os dados em tempo real é encontrado para download de forma gratuita no site <http://igs.ifag.de/index_ntrip.htm>.

3. VRS

A idéia básica do conceito de VRS é gerar nas proximidades do usuário os dados de uma estação que não existe fisicamente, mas que se aproximem o máximo possível dos dados de uma estação real situada no mesmo local (Figura 02).

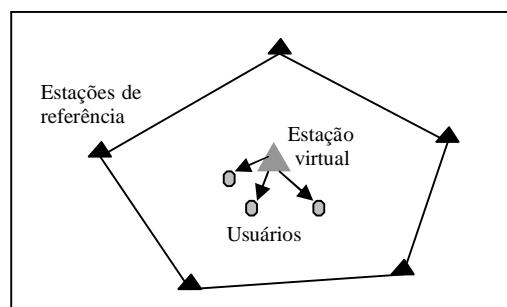


Fig. 02 – Conceito de estação de referência virtual

Fonte: Adaptado de Wanninger (1999).

Para utilizar o conceito de VRS, os dados das estações de referência são enviados para um computador de controle central via uma rede de comunicação. Esse computador central, juntamente com softwares apropriados, utiliza os dados das estações de referência para modelar os erros sistemáticos (que limitam a acurácia do posicionamento GPS) e gerar correções apropriadas para serem utilizadas na área de abrangência da rede (ZHANG e ROBERTS, 2003).

Quando se deseja gerar uma VRS para um determinado usuário, a localização aproximada deste

deve ser transmitida para o computador de controle central. Dessa forma, um link de comunicação bidirecional entre o usuário e o controle central deve ser estabelecido. Essa comunicação pode ser realizada, por exemplo, via internet através de telefones celulares. O computador central gera as observações dessa estação virtual e as envia para o usuário, que pode realizar o posicionamento relativo utilizando a VRS como se fosse uma estação de referência nas suas proximidades (ZHANG e ROBERTS, 2003; RETSCHER, 2002; HIGGINS, 2001).

É claro que também existe a possibilidade de utilizar o conceito de VRS no modo pós-processado. Nesse caso os dados da VRS podem ser gerados diretamente no formato *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX). Além disso, existe um vasto número de aplicações que se beneficiariam com essa metodologia, dentre elas o georreferenciamento de imóveis rurais.

3.1 Geração dos Dados da VRS

Uma forma prática para gerar os dados da VRS é selecionar a estação de referência da rede mais próxima ao usuário como estação base. A partir das observações de fase e pseudodistância da estação base e da magnitude dos erros atmosféricos modelados pelos dados das estações de referência são geradas as observações da estação virtual.

Assim, sendo,

$$\rho_b^s(t) = \|X^s - X_b\|, \quad (1)$$

$$\rho_v^s(t) = \|X^s - X_v\|, \quad (2)$$

onde:

- $\rho_b^s(t)$ e $\rho_v^s(t)$ são a distância geométrica entre o satélite e a estação de referência base e a VRS, respectivamente (m);
- t é a época em questão (s);
- X^s é a posição do satélite (m);
- X_b e X_v são a posição da estação de referência base e VRS, respectivamente (m).

O deslocamento geométrico (DG) (relocalização),

$$\Delta\rho = \rho_v^s(t) - \rho_b^s(t), \quad (3)$$

deve ser aplicado à todas as observações da estação base para deslocar as observações de fase e pseudodistância da estação base para a posição da VRS (HU et al., 2003).

Depois que as correções geométricas (deslocamento geométrico) são aplicadas aos dados originais da estação base, as correções atmosféricas (efeitos ionosféricos e troposféricos) geradas pelas estações da rede e os respectivos erros residuais devem

ser acrescentados aos dados da VRS. A seção 4 traz a metodologia utilizada nesse trabalho.

Os dados da estação virtual podem ser distribuídos em formato RINEX via internet para que o usuário realize posicionamento no modo pós-processado. Outra possibilidade é transmitir os dados da estação virtual em tempo real usando o formato Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) para aplicações RTK (RTCM, 2006). Embora tecnicamente possível, essa opção, além de requerer o processamento dos dados de todas as estações de referência em tempo real, necessita de uma boa infraestrutura de comunicação.

4. METODOLOGIA UTILIZADA PARA GERAR OS DADOS DA VRS

Para gerar os dados da VRS algumas etapas foram realizadas. Dentre elas pode-se citar:

- Cálculo das duplas diferenças (DDs) para cada linha de base independente da rede;
- Solução das ambigüidades para as linhas de base selecionadas;
- Cálculo do erro residual das DDs para cada linha de base;
- Obtenção do erro residual para as observáveis originais (fase e pseudodistância);
- Interpolação do erro residual para a posição do usuário, ou seja, da VRS;
- Cálculo dos dados da VRS.

A Figura 03 ilustra as principais etapas para a geração da VRS.

Como pode ser observado na Fig. 03, é necessário selecionar a estação base da rede, pois a partir de seus dados são gerados os dados da VRS. A estação base é a estação da rede que se encontra mais próxima à VRS. Por outro lado, são calculadas as DDs para cada linha de base independente da rede. Assim, o próximo passo diz respeito à solução das ambigüidades para cada linha de base. Nesse artigo, o software Bernese 5.0, com a estratégia QUIF (Quasi Ion-Free), foi empregado para obter o valor inteiro (também denominado fixo) das ambigüidades.

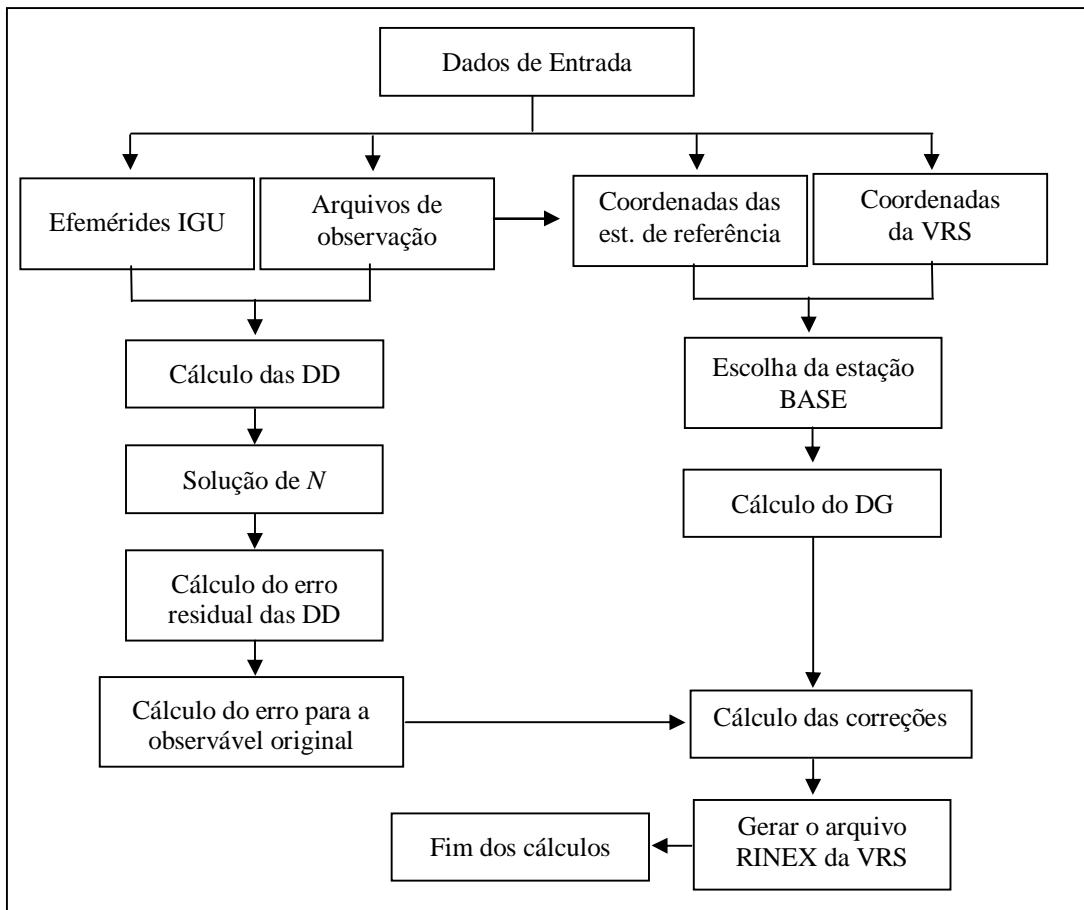


Fig. 03 – Etapas utilizadas para gerar os dados da VRS

Após a solução das ambigüidades, deve ser calculado o erro residual das DDs para cada linha de base. Mas, para gerar os dados da VRS, é necessário determinar o erro residual para a observável original de pseudodistância e fase da onda portadora, tanto para a estação base quanto para a posição da VRS. Para tanto, é necessário recuperar esse erro a partir do erro residual das DDs. O erro para a estação base é calculado diretamente utilizando o método descrito em Alber et al. (2000), Braun et al. (2000) e Alves (2008). Mas, para determinar o erro para a posição da VRS deve ser realizada uma interpolação utilizando os erros residuais obtidos pelas estações de referência da rede. Para tanto, diversos métodos podem ser utilizados, como, por exemplo, a interpolação ponderada pela distância ou a baseada em um plano. Em seguida, o erro residual da estação base é subtraído dos dados da estação base e o erro residual da VRS é adicionado aos dados da estação base. Posteriormente, são inseridos nos dados da estação base os deslocamentos geométricos (DG) e, enfim, o arquivo da VRS é gerado em formato RINEX.

Todo o procedimento utilizado para gerar os dados da VRS pode ser encontrado de forma detalhada em Alves (2008). Cabe acrescentar que com exceção do software Bernese utilizado para a solução do vetor de ambigüidades, todos os procedimentos utilizados para gerar a VRS encontram-se em Alves (2008).

5. EXPERIMENTOS E ANÁLISES

Para gerar os dados da VRS foram utilizadas estações da rede do Estado de São Paulo (Figura 01) e de uma estação extra (SEM2). A Figura 04 apresenta as linhas de base adotadas para solução do vetor de ambigüidades. Foram coletados dados nos dias 362, 363 e 364 de 2006 e 002 de 2007, 24 horas por dia, com intervalo de coleta de 15 segundos. A VRS foi gerada na posição da estação de Presidente Prudente (PPTE), com taxa de coleta de 15 segundos, máscara de elevação de 10 graus e observáveis C1, P2, L1 e L2. Os dados da estação PPTE não foram utilizados no cálculo da VRS, seus dados são usados apenas para comparação. A estação SEM2 foi considerada estação base, pois é a mais próxima da posição da VRS.

No que concerne a solução do vetor de ambigüidades, na média dos 4 dias, a taxa de sucesso na solução foi de 82,4 %, o que é coerente com as bibliografias pesquisadas.

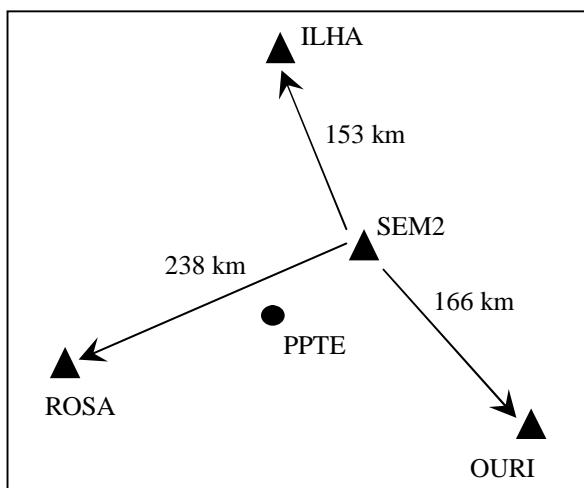


Fig. 04 – Linhas de base adotadas na solução do vetor das ambigüidades

Para avaliar a qualidade das observáveis geradas para a VRS foi realizado o posicionamento relativo entre a VRS gerada e os dados da estação PPTE (local onde a VRS foi gerada). Para tanto, foi utilizado o software TGO versão 1.63 com a estratégia L1 *float*. A Figura 05 apresenta a distância (resultante 3D – vetor erro) obtida entre a VRS e o arquivo real. Note que essa distância, teoricamente, deveria ser zero. Já a Figura 06 ilustra o EMQ (Erro Médio Quadrático) obtido no posicionamento relativo com a linha de base VRS-PPTE. Tal análise é interessante, pois além das coordenadas obtidas também é avaliada a sua precisão.

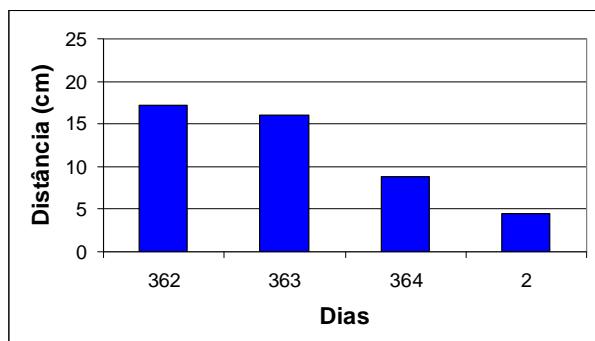


Fig. 05 – Distâncias obtidas no posicionamento relativo (VRS-PPTE)

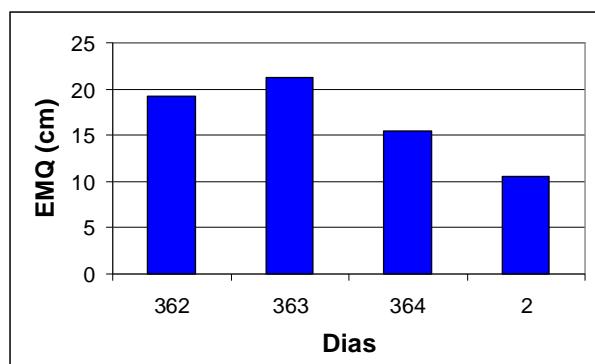
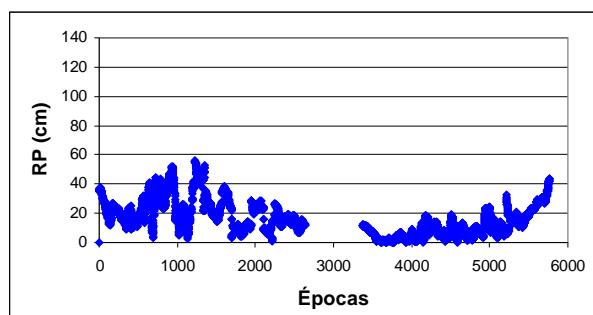
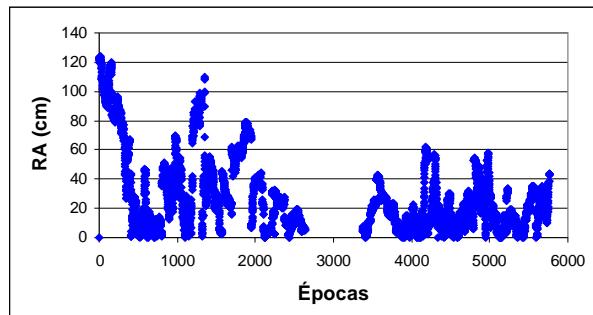


Fig. 06 - EMQ obtido no posicionamento relativo (VRS-PPTE)

Analizando a Figura 05 percebe-se que a distância entre as estações varia de 05 a 17 cm. Para o EMQ os valores, como esperado, são maiores, de 10 a 21 cm. Esses valores obtidos aparentemente são satisfatórios, pois as discrepâncias são de poucos centímetros. Mas, não se pode esquecer que são resultados obtidos utilizando 24 h de dados. Assim, é interessante avaliar como a VRS se comporta em um processamento época a época. Portanto, também foi realizado o posicionamento cinemático para a linha de base VRS-PPTE. A Figura 07 (a) apresenta a resultante planimétrica (RP) obtida para o dia 002. Já a Figura 07 (b) traz a resultante altimétrica (RA).



(a) Resultante Planimétrica



(b) Resultante Altimétrica

Fig. 07 - Resultantes planimétrica e altimétrica obtidas no processamento relativo cinemático VRS-PPTE para o dia 002

Analizando a Figura 07 (a) pode-se notar que as discrepâncias são menores que 60 cm. Já na Figura 07 (b) os valores são maiores, chegam a 125 cm.

A Tabela 01 apresenta um sumário dos resultados obtidos a partir dos dados processados para os demais dias¹. Além do erro obtido em planimetria e altimetria, também é apresentado o erro resultante.

Observando a Tabela 01 nota-se que para o dia 002 em 70,96% das épocas a RP é menor que 20 cm. Já em relação a RA isso ocorre para apenas 59,42% das épocas. Além disso, na média dos três dias de dados processados, pode-se constatar que, tem-se discrepâncias menores que 50 cm na resultante para

¹ Os resultados obtidos com os dados do dia 362 não são apresentados na tabela pois não foi possível processá-los no software TGO.

cerca de 77,3% das épocas. Mas, ao se tratar da planimetria, isso ocorre em 95,86% das épocas.

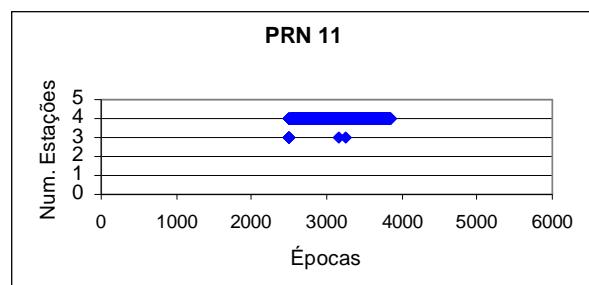
Tabela 01 - Porcentagem do erro resultante, erro em planimetria e erro em altimetria menores que 10, 20, 30 e 50 cm (%) na linha de base VRS-PPTE

Planimetria				
Dias	< 10 cm	< 20 cm	< 30 cm	< 50 cm
363	38,37	62,06	80,23	95,47
364	24,45	51,60	73,69	92,57
002	42,91	70,96	89,22	99,53
Média	35,24	61,54	81,05	95,86
Altimetria				
Dias	< 10 cm	< 20 cm	< 30 cm	< 50 cm
363	23,92	49,57	64,32	83,53
364	17,65	31,88	49,31	79,63
002	40,18	59,42	74,91	88,73
Média	27,25	46,96	62,84	83,96
Erro Resultante				
Dias	< 10 cm	< 20 cm	< 30 cm	< 50 cm
363	7,65	29,24	56,35	75,98
364	5,19	20,24	35,44	70,70
002	24,27	44,78	63,42	85,22
Média	12,37	31,42	51,74	77,30

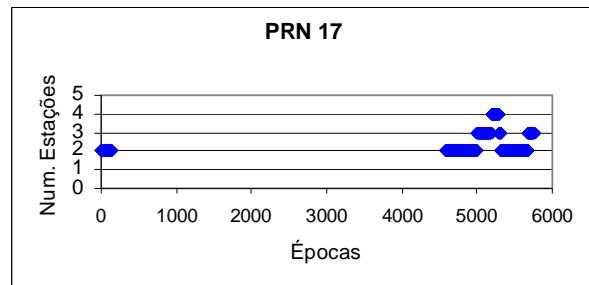
Dos resultados apresentados, principalmente para o modo cinemático, percebe-se que as discrepâncias apresentadas entre a VRS e o arquivo real são maiores que o esperado para o posicionamento baseado em redes. Mas, diversos fatores tiveram grande influência no posicionamento. A seguir são descritos os principais tópicos que devem ser levados em consideração para realizar o posicionamento baseado em redes.

Algo de extrema importância que deve ser levado em consideração é o número de estações da rede utilizadas para gerar o erro residual na posição da VRS. A princípio parece irrelevante esse fato, visto que foi dito que foram utilizadas dados de 4 estações para gerar a VRS. Mas o que ocorre na realidade não é bem isso. Como pôde ser visto, a taxa de sucesso na solução das ambigüidades foi em média 82,4 %. Isso significa que as observações de fase cujas ambigüidades não foram solucionadas não podem ser utilizadas para gerar o erro residual na posição da VRS. Dessa forma, existem casos em que se tem disponível dados de apenas duas estações de referência², o que deteriora a qualidade dos dados gerados para a VRS.

Para ilustrar essa situação, a Figura 08 apresenta o número de estações usadas para gerar o erro residual da observável L1 para o dia 362. Na Figura 08 (a) tem-se o PRN 11 (melhor situação) e na Figura 08 (b) o PRN 17 (pior situação).



(a) Melhor Situação



(b) Pior Situação

Fig. 08 – Número de estações usadas para gerar o erro residual da observável L1 para os PRNs 11 e 17

Note que para o PRN 11, Figura 08 (b), poucos são os momentos em que o erro residual foi obtido a partir das 4 estações de referência. Na maior parte do tempo o erro residual foi obtido com apenas 2 ou 3 estações da rede. É claro que em uma rede de estações de referência densa, esse fato não ocorre, pois sempre se tem o erro residual de pelo menos três estações de referência com boa configuração.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é a geometria das estações envolvidas. Nada adianta ter disponível dados de três estações que se encontrem em uma configuração ruim, por exemplo, localizadas em uma mesma linha. O ideal é que as estações de referência da rede circundem a posição da VRS.

Finalizando, vale ainda destacar a quantidade de observações geradas para a VRS. Nos 4 dias de dados utilizados nesse experimento, foram gerados em média 8,20 observações de C1 para cada época. Mas, para L1, a quantidade de observações por época foi ligeiramente menor, cerca de 7,89. É necessário salientar que o ideal seria que o número de observações de fase da onda portadora fosse similar ao número de observações de pseudodistância. Mas, isso não ocorre, pois para a fase é necessário solucionar o vetor de ambigüidades. É claro que esse fato também não seria problema para uma rede densa, pois teria dados de diversas estações.

² Sem o erro residual de pelo menos duas estações de referência não é possível gerar a observação de fase da onda portadora para a VRS.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As redes de estações de referência ativas que viabilizam o posicionamento baseado em redes já são uma realidade em muitos países. O Brasil está caminhando nesse sentido.

Nesse artigo, o método de posicionamento baseado em redes utilizando o conceito de estação virtual foi descrito e testado. Os experimentos apontaram diversos requisitos que devem ser levados em consideração quando se planeja estabelecer uma rede para dar suporte a esse tipo de posicionamento, tais como:

- A porcentagem de sucesso na solução das ambigüidades – quanto maior esse valor, melhores serão os resultados;
- O número de estações usadas para determinar o erro residual na posição da VRS - deve-se dispor de dados de pelo menos três estações de referência, com boa configuração, em todas as épocas. Logo, para garantir esse requisito, dados de pelo menos cinco estações devem estar disponíveis para garantir essa realidade;
- A geometria das estações utilizadas – é de extrema importância para se obter dados da VRS com boa qualidade;
- O número de observações geradas para a VRS – a quantidade de observações geradas para a fase e pseudodistância deve ser similar.

Finalizando, com os resultados e análises discutidos nesse artigo fica clara a necessidade de uma densidade maior de estações de referência e que a mesma apresente boa geometria para gerar os dados da VRS. Conseqüentemente, poder-se-ia obter posicionamento com melhor acurácia no modo cinemático. Em um futuro próximo, com a expansão da Rede do Estado de São Paulo e modernização da RBMC, essa configuração será uma realidade para o Brasil e poderá ser testada e colocada em prática.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela concessão de bolsa de estudo a primeira autora (processo 03/12771-0) e auxílio financeiro ao segundo autor (processos 2004/09235-1 e 2004/03384-5).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBER, C.; WARE, R.; ROCKEN, C.; BRAUN, J. Obtaining Single Path Phase Delays from GPS Double Differences. **Geophysical Research Letters.** v.27. n.7. p.2661-2664. 2000. Disponível em: <<http://www.cosmic.ucar.edu/~braunj/papers/ddfinal.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2006.

ALVES, D. B. M. Posicionamento GPS Utilizando o conceito de Estação Virtual. 2008. 166f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP.

ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G.; DALBELO, L. F. A.; SAPUCCI, L. F. Generating VRS Data Using Atmospheric Models: How Far Can We Go? In: ION GNSS 2007, Fort Worth, Texas. **Proceedings...**, 2007.

ALVES, D. B. M.; Monico, J. F. G.; Fortes, L. P. S. Descrição dos Principais Algoritmos de Correção para RTK em Rede. In IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, Paraná. **Anais...** 2005.

ALVES, P.; AHN, Y.; LACHAPELLE, G. The Effects of Network Geometry on Network RTK Using Simulated GPS Data. In: ION GPS 2003, Oregon Convention Center, Portland. **Proceedings...**, 2003.

BRAUN, J.; ROCKEN C.; WARE, R.; ALBER, C. A Technique for Determining Single Satellite, Single Station Information From Double Difference GPS Residuals. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)/GPS Research Group. 2000. Disponível em: <http://www.cosmic.ucar.edu/~braunj/papers/fall98_agu.pdf>. Acesso em: 28 out. 2006.

FORTES, L. P. S. Optimising the Use of GPS Multi-Reference Stations for Kinematic Positioning. 2002. 355f. Tese (PhD) – University of Calgary, Calgary.

FOTOPOULOS, G. Parameterization of DGPS Carrier Phase Errors Over a Regional Network of Reference Stations. 2000. 202p. Dissertação (MSc) – University of Calgary, Calgary.

FOTOPOULOS, G.; CANNON, M. E. Spatial and Temporal Characteristics of DGPS Carrier Phase Errors Over a Regional Network. In International Associations of the Institute of Navigation (IAIN). 2000. San Diego, CA. **Proceedings...** 2000.

GAO, Y.; Li, Z. Ionosphere Effect and Modeling for Regional Area Differential GPS Network. In ION GPS 1998, Nashville, Tennessee. **Proceedings...** 1998.

HIGGINS, M. B. An Australian Pilot Project for a Real Time Kinematic GPS Network Using the Virtual Reference Station Concept. In: Annual Working Meeting of the International Federation of Surveyors, Seoul Corea. **Proceedings...**, 2001.

HU, G. R. et al. Development and Assessment of GPS Virtual Reference Stations for RTK Positioning. **Journal of Geodesy.** v.77. p. 292-302. 2003.

MAREL, H. van der. Virtual GPS Reference Stations in the Netherlands. In ION GPS 1998, Nashville, Tennessee. **Proceedings...** 1998.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações.** 2^a ed. São Paulo: Editora UNESP, 476p, 2007.

ODIJK, D. Precise GPS Positioning by applying Ionospheric Corrections from an Active Control Network. **GPS Solutions.** v.3. n.3. p.49-57. 2000.

RAQUET, J. **Development of a Method for Kinematic GPS Carrier-Phase Ambiguity Resolution Using Multiple Reference Receivers.** 1998. Tese (PhD) – University of Calgary. Calgary.

RETSCHER, G. Accuracy Performance of Virtual Reference Station (VRS) Networks. **Journal of Global Positioning System.** v.1. n.1. p.40-47. 2002.

RTCM STANDARD 10403.1 for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems Services) – Version 3.0. Comitê Especial RTCM N° 104, 2006.

VARNER, C. C. **DGPS Carrier Phase Networks and Partial Derivative Algorithms.** 2000. 175f. Tese (PhD) – University of Calgary. Calgary.

WANNINGER, L. The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS-networks under Solar Maximum Conditions. In: ION GPS 99, Nashville TN. **Proceedings...**, 1999. p.1419-1427.

WEBER, G.; DETTMERING, D; GEBHARD, H.; KALAFUS, R. Network of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) – IP – Streaming for Real Time GNSS Applications. In ION GNSS 2005, Long Beach, CA. **Proceedings...** 2005. p.2243-2247.

WÜBBENA, G. et al. Reducing Distance Errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks. In ION GPS 1996. Kansas City. Missouri. **Proceedings...** 1996.

ZHANG, K.; ROBERTS C. Network-Based Real-Time Kinematic Positioning System: Current Development in Australia. In Geoinformatics and Surveying Conference. 2003. The Institute of Surveyor. Malasia. **Proceedings...** 2003.

TENDÊNCIAS INTERNACIONAIS DO CADASTRO E PERSPECTIVAS PARA O CADASTRO BRASILEIRO

Andrea Flávia Tenório Carneiro¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE. {aftc@ufpe.br}

RESUMO: O propósito deste artigo é apresentar uma visão das principais tendências do cadastro no mundo, dos pontos de vista conceitual, legal e técnico, e analisar as perspectivas do cadastro brasileiro. O papel das infra-estruturas de dados espaciais nos sistemas cadastrais, as pesquisas visando a implementação de cadastros 3D e 4D e as possibilidades de disseminação de dados cadastrais pela internet são discutidas. Pode-se dizer que, no Brasil, as geotecnologias estão presentes e são dominadas pelos profissionais da área. No entanto, a disponibilidade das mais modernas técnicas de levantamento, processamento, tratamento e análise de dados espaciais não têm se traduzido na implementação de sistemas de informações territoriais eficientes no âmbito cadastral. Como consequência, tem-se uma gestão territorial que não é capaz de evitar graves danos para o país em questões relacionados ao assunto. A razão para esse descompasso entre o domínio tecnológico e a eficiência da sua aplicação no âmbito cadastral está no campo conceitual. A aproximação com os princípios e conceitos internacionais de cadastro deu-se somente a partir da Lei 10.267/01, com a exigência do intercâmbio entre cadastro e registro. Desde então, observa-se outras iniciativas voltadas para o aperfeiçoamento do cadastro urbano.

Palavras chaves: cadastro, IDE, sistemas de administração territorial.

1. INTRODUÇÃO

Um dos documentos mais conhecidos, elaborado com o objetivo de identificar as tendências do cadastro no mundo foi o Cadastro 2014 (KAUFMANN E STEUDLER, 1998), organizado sob a iniciativa da Comissão 7 da Federação Internacional dos Geômetras - FIG.

Este documento sistematizou em seis pontos as tendências identificadas nos projetos de reforma cadastral, referentes à integração entre direitos e restrições públicas, integração de serviços, formato digital, modelagem de dados, parcerias público-privadas e sustentabilidade econômica do cadastro.

Para STEUDLER (2006), um dos autores do Cadastro 2014, os desenvolvimentos no campo cadastral na última década foram extraordinários. Do ponto de vista técnico, chegou a era digital; com os sofisticados métodos como GPS, ortofotos digitais ou laser scanners, e com as possibilidades de disseminação de informações através da internet, praticamente todos os dados estão em formato digital. Do ponto de vista conceitual, termos como administração territorial, Infra-estrutura de Dados Espaciais (IDE) e e-governo prosperaram e têm um grande impacto sobre a geoinformação e o cadastro. Como consequência, ocorreram mudanças institucionais, integração e incorporação de agências e departamentos.

Este artigo busca apresentar uma síntese destas e outras tendências e o caso do cadastro brasileiro.

2. O CADASTRO 2014 E PÓS-2014

A visão do Cadastro 2014 define as características dos sistemas cadastrais em 2014 por meio de seis declarações:

- 1) o Cadastro 2014 mostrará a situação completa de todas as terras. Direitos e restrições públicas e privadas sobre a terra serão sistematicamente documentados;
- 2) a separação entre mapas e registros será abolida;
- 3) o mapeamento cadastral morrerá. Será substituído pela modelagem;
- 4) o cadastro de papel e lápis acabará;
- 5) o Cadastro 2014 será altamente privatizado. Setores público e privado trabalharão juntos;
- 6) o Cadastro 2014 terá os custos recuperados.

Diferenças significativas são notadas entre os sistemas cadastrais dos cerca de 30 a 50 países que possuem ou possuirão em breve sistemas cadastrais com um desempenho adequado, e aqueles 140 a 160 países que não possuem tais sistemas nem possuirão num futuro próximo. Estes países ainda têm um longo caminho a percorrer, até que possam enfrentar os desafios estabelecidos no Cadastro 2014, no entanto podem usar suas proposições como princípios norteadores dos processos de aperfeiçoamento dos seus cadastros (VAN DER MOLEN, 2003).

Ainda segundo a análise de VAN DER MOLEN(2003), as declarações do Cadastro 2014 permanecem válidas e continuam a constituir-se em alvos desejáveis para aqueles países com cadastros modernos, embora as questões referentes à privatização e recuperação de custos precisem ser reformuladas. Nos demais países, o projeto de sistemas de administração territorial devem considerar o dinamismo da posse da terra e o mercado imobiliário, entre outras questões locais.

Para STEUDLER(2006), desde a publicação do Cadastro 2014, em 1998, três desenvolvimentos tiveram impacto considerável tanto sobre a pesquisa como sobre os negócios no domínio cadastral. Primeiro, o conceito de Infra-estrutura de Dados Espaciais (IDE); segundo, o fenômeno da internet, cujas possibilidades de troca de informações e dados, além da disponibilidade de serviços, crescem a cada dia. E, por último, o entendimento mais amplo do conceito de administração territorial e sua ligação com o desenvolvimento sustentável.

3. A DIRETIVA INSPIRE DA UNIÃO EUROPEIA

Um diagnóstico realizado pela União Européia sobre a situação geral da informação espacial no continente mostra a fragmentação de fontes e bancos de dados, dificuldades para a disponibilização de informações, falta de harmonização entre bancos de dados de diferentes escalas e duplicação de coleta de dados. Estes problemas prejudicam a identificação, acesso e uso dos dados disponíveis.

Neste contexto, foi aprovada a Diretiva 2007/2/EC pelo Conselho e Parlamento Europeu em 14 de março de 2007, estabelecendo uma Infra-estrutura para a Informação Espacial na Europa (INSPIRE), publicada no Jornal oficial em 25 de abril de 2007. A referida Diretiva entrou em vigor em 15 de maio de 2007.

A iniciativa do projeto da Diretiva INSPIRE é ambiciosa. Pretende provocar a criação de uma infra-estrutura espacial europeia que disponibilize serviços de informação espacial integrada aos usuários. Estes serviços deverão permitir identificar e acessar informações espaciais ou geográficas a partir de uma grande variedade de fontes, desde o nível local até o global, num modo integrado para múltiplos usos.

Os usuários potenciais do INSPIRE são decisores e responsáveis pelo planejamento territorial, os cidadãos e suas organizações. Entre os serviços possíveis de serem oferecidos estão a visualização de níveis de informação, superposição de informações de diferentes fontes, análises temporais e espaciais, entre outros.

A Diretiva INSPIRE segue os seguintes princípios (o texto integral do documento pode ser consultado em <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>):

- Os dados deverão ser coletados apenas uma vez e mantidos em um nível onde possam ser

atualizados com maior eficiência;

- Deverá ser possível combinar dados de diferentes fontes e compartilhar entre muitos usuários e aplicações;
- Os dados espaciais deverão ser coletados em um único nível de governo e compartilhado em todos os níveis;
- Dados espaciais necessários para o boa governança deverão estar disponíveis em condições que não restrinjam o seu amplo emprego;
- Deverá ser fácil identificar os dados espaciais disponíveis, avaliar sua adequação para cada objetivo e saber em que condições podem ser empregados.

Entendendo o cadastro como a única fonte de dados que cobre todo o país, foi criado um grupo de trabalho para identificar o papel da parcela e da informação cadastral no INSPIRE e nas IDE nacionais. Como resultado da primeira análise (parcela no INSPIRE), a partir de um questionário respondido por mais de 25 países, foram identificados cinco elementos principais, que todos os países podem disponibilizar dos seus cadastros para o INSPIRE: Identificador único, Área, Limites, Georreferenciamento (em sistemas de referência geodésicos nacionais) e a origem e a história da parcela (ZEDDIES,2007).

Como elementos adicionais foram listados: proprietário, uso, direitos e restrições, localização, limites administrativos, edificações e todos os tipos de construções), zoneamento oficial (restrições administrativas), uso da terra, cobertura da terra (vegetação,cultivos,bosques), valores/ níveis de produtividade, entre outros.

3. AS ORIENTAÇÕES DO COMITÊ IBEROAMERICANO DE CADASTRO

O Comitê Permanente sobre o Cadastro da Iberoamérica (CPCI) constitue-se como um fórum que agrupa as instituições públicas com funções cadastrais na Iberoamérica. Considerando a influência do Cadastro nos sistemas legais e nas economias iberoamericanas, sua missão é servir como rede de excelência sobre o cadastro, facilitando o intercâmbio de informações, apoio tecnológico e melhores práticas entre seus membros.

Os princípios estabelecidos pelo Comitê, para o cadastro iberoamericano podem ser assim resumidos:

- O cadastro deve ser de responsabilidade do Poder Público;
- A unidade básica do cadastro é a parcela. A cada parcela é associado um código único e estável;
- Os dados das parcelas e edificações existentes deverão descrever sua natureza rural ou urbana, área, confrontantes, valor e os direitos e restrições;

- A informação inscrita nos cadastros e registros da propriedade deve estar coordenada e conectada, para permitir o exercício dos direitos de propriedade, proteger a segurança jurídica e o mercado imobiliário;
- Todos terão acesso à informação cadastral, resguardando as informações com sigilo protegido por lei;

O texto completo do documento pode ser consultado no endereço www.catastrolatino.org.

4. TENDÊNCIAS TÉCNICAS DO CADASTRO

Nas últimas décadas, observam-se iniciativas para a criação de Infra-estruturas de Dados Espaciais – IDE, em âmbito global, nacional e local, visando a implementação de infra-estruturas projetadas para proporcionar um amplo e integrado recurso para o uso comercial e público de serviços e aplicações da informação espacial.

No contexto do cadastro, o foco dirige-se a como usar a informação cadastral como dado de referência em futuras administrações digitais (*e-government*) e na disponibilização de novos serviços para o setor público, profissionais e os cidadãos.

Para que as geotecnologias exerçam o seu papel de inclusão social, é necessário que os sistemas sejam de fácil manipulação. Devem estar preparados para atender às necessidades atuais e futuras, tais como exigências de qualidade dos dados, precisão, atualização freqüente e regras de topologia; conexão com outros registros públicos; demandas por novos serviços; manipulação da informação cadastral em vários níveis ou dimensões (3D e 4D).

Por outro lado, identifica-se uma preocupação em proporcionar o acesso a essa informação àqueles cidadãos que não dispõem das tecnologias ou da educação em conceitos geoespaciais. Trata-se das pesquisas referentes ao mapeamento participativo.

4.1 Cadastro 3D

Apesar da realidade física em três dimensões, os sistemas cadastrais do mundo ainda registram as propriedades apenas em duas dimensões. É preciso esclarecer que o cadastro 3D não se confunde com a cartografia 3D ou SIG-3D, por tratar da situação legal da parcela. Esta integração entre a situação físico-espacial e a situação legal é que dificulta o tratamento em 3D do cadastro. A tecnologia atualmente disponível permite a representação de um objeto em três dimensões sem grandes dificuldades. O principal obstáculo na adoção de um cadastro 3D, portanto, são os sistemas legais, geralmente mais lentos para se adaptarem a mudanças, segundo constatou VALSTAD(2005). Alguns países, principalmente do norte da Europa, têm avançado a este respeito,

possibilitando o registro de propriedades em estratos ou camadas de superfícies distintas. Nestes casos, apesar de as leis não definirem a propriedade em três dimensões, aceitam que o volume da parcela seja estabelecido abaixo e acima da superfície.

Muitos pesquisadores que se dedicam a temas cadastrais concordam que o cadastro do futuro será analítico, tridimensional, multi-camadas, e, de maneira similar ao atual cadastro em 2D, se referirá a terra, lei e pessoas. Para BENHAMU(2006), o cadastro futuro proporcionará uma ampla, metódica e atualizada documentação de direitos públicos e privados, propriedade, uso do solo e restrições aplicáveis à propriedade em vários espaços.

O cadastro 3D determinará a localização da parcela no espaço e seus limites em 3D e atenderá a objetivos legais e físicos, embora seja também utilizado para o mapeamento básico, planejamento do uso do solo e planejamento ambiental. O desenvolvimento de cadastros 3D envolve resolver tanto problemas tecnológicos como os aspectos legais. Do ponto de vista científico e tecnológico, o principal desafio é coletar, processar e gerenciar dados tridimensionais. A terceira dimensão, que normalmente não aparece no cadastro convencional, necessita do desenvolvimento de novos modelos espaciais para o gerenciamento da informação da sub-superfície e sua ligação com a informação sobre a superfície.

BENHAMU(2006) identifica como principais tarefas no processo de definição e estabelecimento do cadastro 3D:

- desenvolver modelos tridimensionais da superfície e da realidade subterrânea, no que diz respeito ao cadastro;
- definição de sub-parcelas espaciais que envolvam os objetos físicos no espaço subterrâneo;
- integração de sub-parcelas espaciais com o objetivo de produzir uma parcela espacial;
- produção de um plano registral espacial.

Para aproveitar o potencial exploratório do cadastro 3D para as diferentes partes interessadas, é necessário definir uma solução cadastral e legal capaz de registrar direitos numa realidade cadastral tridimensional. A criação de sub-parcelas é uma alternativa para o registro de direitos no espaço. A inclusão, no cadastro, das atividades referentes ao espaço subterrâneo ou acima do terreno será possível através da fragmentação de partes específicas do espaço incluído dentro dos limites verticais da superfície da parcela.

O cadastro 3D, gerenciado por meio de Sistemas de Informações Geográficas - SIG, resultará num planejamento, gerenciamento e exploração mais eficientes dos três espaços da terra. A representação pode ser tridimensional (perspectivas e seções) num plano de projeção na tela do computador. Um mapa em

papel pode ser gerado no formato similar ao atual, no qual as atividades espaciais serão detalhadas em plantas separadas, representando níveis diferentes, com a ajuda de cores e símbolos convencionais. Um exemplo deste tipo de representação é mostrado na Figura 1.

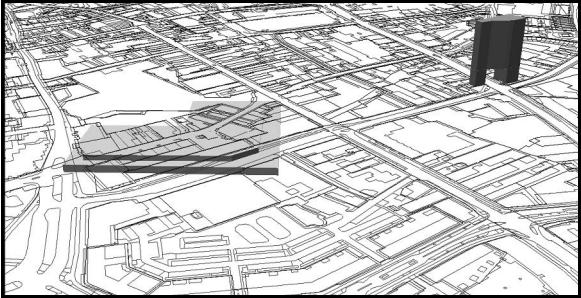


Figura 1: Exemplo de representação de um cadastro 3D (fonte: STOTER e ZEVENBERGEN,2006).

É importante analisar como são tratadas pelo cadastro as propriedades superpostas. Um caso comum de propriedades superpostas, em qualquer cadastro urbano, é o dos edifícios. A projeção em 2D representa direitos de propriedades distintos, que no cadastro são individualizadas através de um código identificador. A informação descritiva é individualizada, e a informação gráfica é comum a todas as unidades projetadas. Aparentemente, essa abordagem tem sido suficiente para as aplicações do cadastro no Brasil, que são basicamente fiscais (CORREIA et.al., 2007).

Situações mais complexas, no entanto, já se observam nas grandes cidades, como nos casos de túneis, metrôs e outras construções subterrâneas. Como o cadastro e o registro de imóveis trabalham com essas situações, onde a situação legal sobre a superfície difere daquela da sub-superfície?

Na cidade do Recife, por exemplo, começam a se tornar comuns construções acima da superfície, especialmente passarelas para pedestres, construídas para ligar edificações situadas em lados opostos de vias públicas, como se pode observar na Figura 2.



Figura 2: Superposição de direitos: uso privado sobre um bem público (via). Fonte: CORREIA et.al.(2007)

4.2 Cadastro 4D

A variável tempo sempre teve um papel importante nos sistemas cadastrais, porém este aspecto temporal tem sido tratado independentemente dos aspectos espaciais em 2D ou 3D. VAN OOSTEROM et. al. (2006) afirmam que os sistemas cadastrais atuais lidam com situações 3D e aspectos temporais separadamente. Como a informação não é registrada de uma maneira uniforme, é difícil responder à pergunta: quem tem **que** direitos num determinado momento, relativo a **que** espaço e **por qual** período?

A base de um cadastro geralmente é uma parcela 2D, e o registro não tem sido estabelecido numa base em 4D. Por isso, pesquisas buscam a integração de dados espaciais e temporais para que o sistema consiga responder àquela pergunta. O cadastro 4D, portanto, considera a variável temporal integrada à informação espacial.

No item anterior, discutiu-se a implementação do cadastro em três dimensões. Os dados utilizados no sistema 3D, no entanto, referem-se a uma determinada época. Se não houver uma atualização desses dados com relação ao tempo, as análises realizadas podem não corresponder à realidade numa época distinta.

DEMIR e ÖZCELIC (2007) apresentam a experiência da Turquia com o cadastro 3D e propõem a estruturação de um cadastro 4D. Segundo os autores, o cadastro dinâmico depende dos dados armazenados e produzidos dentro de uma estrutura dinâmica. A utilização de uma infra-estrutura de dados que depende dos dados temporais proporcionam uma solução rápida e econômica para casos judiciais. Em geral, ainda não se identificam cadastros que trabalhem com modelagem em 4D, mas essa possibilidade é tema de pesquisa e projetos específicos.

Embora seja possível trabalhar com atributos espaciais e temporais separadamente, o tratamento integrado destas variáveis num cadastro 4D traz benefícios, identificados por VAN OOSTEROM et.al. (2006) como a possibilidade de uma pesquisa mais eficiente, por responder de uma só vez a consultas que envolvam variáveis espaciais e temporais.

DONER et.al. (2008) apresentam um exemplo de aplicação do cadastro 4D de redes de infra-estruturas. Como justificativas para a abordagem, afirmam que redes de infra-estruturas podem cruzar muitas parcelas e os sistemas de administração territorial (que incluem cadastro e registro) têm dificuldades no gerenciamento de tais redes, que podem envolver diferentes situações jurídicas (não registrados, registrados como uma propriedade autônoma ou registrados como uma restrição com geometria própria). O estudo de caso realizado mostrou que o tratamento em separado dos atributos 3D e a variável temporal foram considerados satisfatórios.

4.3 O cadastro e as Infra-estruturas de Dados Espaciais - IDE

Uma Infra-estrutura de Dados Espaciais – IDE pode ser entendida como um conjunto de políticas, padrões, organizações e recursos tecnológicos que facilitam a produção, acesso e uso da informação geográfica, para apoiar o desenvolvimento econômico, social e ambiental de um país.

A implementação de IDE têm provado ser muito complexa e com resultados variáveis. Entre as dificuldades inerentes ao processo, destacam-se os padrões incompatíveis, diferenças de resolução, atualidade, direitos autorais, entre outros.

Uma IDE representa um conjunto de informações espaciais interconectadas numa hierarquia de multi-camadas, baseada em parcerias nos níveis corporativo, local, estadual, nacional, regional (multinacional) e global. Esta integração permite aos usuários economizar recursos, tempo e esforço, quando tentam adquirir ou acessar bancos de dados, por evitar duplicação de despesas associadas com a geração e manutenção de dados e sua integração com outros conjuntos de dados.

Para CLAUSEN et. al. (2006), o desenvolvimento de uma IDE ocorre freqüentemente num ambiente organizacional fragmentado, exigindo um alto nível de colaboração inter-institucional. Diferentes organizações precisam trabalhar juntas e em concordância para registrar, armazenar, utilizar e compartilhar dados, e decidir como tornar esses dados disponíveis para a sociedade. Essa colaboração é, geralmente, difícil porque as pessoas resistem a compartilhar dados além dos limites da organização, temendo perder o controle, força e independência.

O desenvolvimento das funções relacionadas à administração territorial, como posse territorial (segurança e transferência de direitos sobre a terra e os recursos naturais), avaliação e tributação territorial, uso do solo (planejamento e controle do uso da terra e recursos naturais), e desenvolvimento territorial (implantação de serviços de infra-estrutura e planejamento de construções) exigem o acesso a informações completas e atualizadas sobre o ambiente natural e construído. Isto é facilitado pela criação e implementação de uma IDE efetiva em todos os níveis jurisdicionais.

4.4 E-cadastro

ERBA et. al. (2007) definem *web mapping* como o conjunto de produtos, padrões e tecnologias que possibilitam o acesso, via internet, à informação geográfica (e também cadastral) representada usualmente como mapas. Os usuários têm acesso aos dados remotamente, possibilitando o conhecimento, visualização, consulta e análise dos mesmos.

Os e-cadastros (cadastros eletrônicos) surgem

em virtude das iniciativas de e-governos (governos eletrônicos), com o fim de melhorar o acesso aos dados cadastrais, facilitar a realização de trâmites com o cadastro, envolver os cidadãos na manutenção dos dados e favorecer o melhor conhecimento e administração do território. Os cadastros são as organizações indicadas para liderar e coordenar a constituição de IDE e o modelo de cadastro multifinalitário é condição básica para que possa cumprir esse papel. Apesar de vários exemplos de disseminação de dados cadastrais, a questão que ainda persiste é: quais os dados cadastrais que devem estar disponíveis na internet?

Segundo a Diretiva INSPIRE, a Dirección General Del Catastro da Espanha oferece como serviço WMS (*wep mapping service*) a disponibilização da cartografia cadastral de forma livre e gratuita (como exemplifica a figura 3).

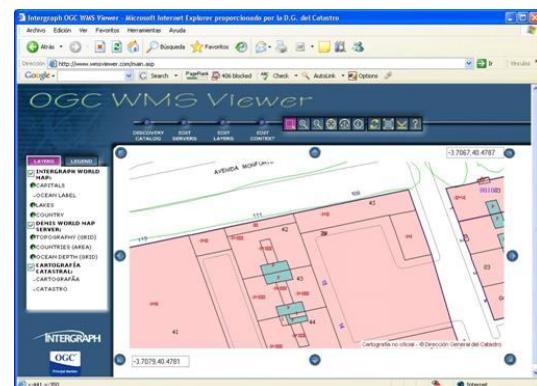


Figura 3: Disponibilização de cartografia cadastral na Espanha

(fonte: <http://www.catastro.meh.es/servicios/wms/wms.htm>)

4.5 O mapeamento participativo

O mapeamento de povos baseados na terra (land-based commons) - mapeamento de, por e para as pessoas - tem sido chamado de contra-mapeamento (counter-mapping), mapeamento baseado na comunidade (community-based mapping) ou ainda mapeamento participativo (participatory mapping). Grande parte da bibliografia atual que trata do estado da arte da elaboração de mapas e visualização cartográfica afirma que as novas tecnologias permitem uma interação do usuário na confecção do mapa nunca antes vista, e as pesquisas buscam desenvolver ferramentas que simulam a mente humana na elaboração e análise da informação espacial. Esta abordagem, no entanto, deixa de considerar que, para que o usuário possa realmente ser capaz de interagir com o sistema, dois elementos são essenciais: o acesso à tecnologia e um mínimo de educação cartográfica.

Se, por um lado, as tecnologias da geoinformação descontinaram o mundo dos mapas para muitos, observa-se que os excluídos digitalmente não se beneficiam desses avanços. Pessoas pouco

alfabetizadas ou com pouco estudo são mantidas à margem dos benefícios trazidos pelas potencialidades dos mapas digitais que agora estão sendo descobertos por tantos outros. A partir dessa constatação, pesquisas baseadas em processos de mapeamento participativo buscam a construção do documento cartográfico, não através da criação pelo cartógrafo e transmissão ao usuário, mas na sua elaboração baseada na atuação do usuário sobre o trabalho do cartógrafo.

O tema interessa diretamente aos que pesquisam sobre temas cadastrais em países em desenvolvimento. A compreensão dos processos de regularização e gerenciamento de terras é importante para que a população também possa usufruir da democratização da geoinformação, o que só é possível se houver um entendimento dos produtos e tecnologias disponíveis. A figura 4 ilustra o mapa obtido com a participação de uma comunidade quilombola em Pernambuco, durante o processo de regularização do seu território. O mapa foi elaborado com a participação direta da comunidade, que definiu os símbolos a serem utilizados na representação.

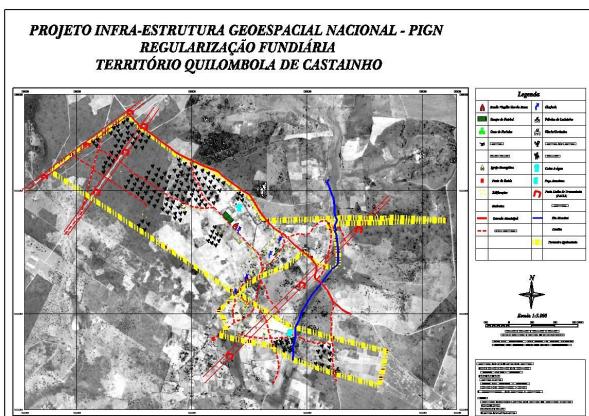


Figura 4: Produto obtido com a aplicação de técnicas de mapeamento participativo no território quilombola de Castainho – Garanhuns – PE. Fonte: ANDRADE(2008)

5. NOVAS PERSPECTIVAS DO CADASTRO BRASILEIRO

Pode-se dizer que, no Brasil, as geotecnologias estão presentes e são dominadas pelos profissionais da área. No entanto, a disponibilidade das mais modernas técnicas de levantamento, processamento, tratamento e análise de dados espaciais não têm se traduzido na implementação de sistemas de informações territoriais eficientes no âmbito cadastral. Como consequência, tem-se uma gestão territorial que não é capaz de evitar graves danos para o país em assuntos relacionados a estas questões.

Considerando os itens anteriormente tratados sobre aspectos conceituais do cadastro, observa-se que a razão para esse descompasso entre o domínio tecnológico e a eficiência da sua aplicação no âmbito cadastral está exatamente no campo conceitual. A

aplicação de tecnologias sofisticadas deve ser apoiada em conceitos sólidos e perenes para garantir o retorno do investimento em termos de benefícios para a sociedade.

A aproximação com os princípios e conceitos internacionais de cadastro deu-se somente a partir da Lei 10.267/01, com a exigência do intercâmbio entre cadastro e registro. Desde então, observa-se outras iniciativas voltadas para o aperfeiçoamento do cadastro urbano.

Um desses conceitos, que representa o princípio básico do cadastro multifinalitário, é o de parcela. Sem a padronização de uma unidade cadastral com identificador único, não é possível o compartilhamento de informações. Caminha nessa direção a proposta do Ministério das Cidades em suas diretrizes para a implantação de cadastros territoriais multifinalitários, quando estabelece que “para a multifinalidade, o CTM deve ser modelado de forma a atender às necessidades dos diferentes usuários, atuais ou potenciais, com base em um sistema de referência único e um identificador único e estável para cada parcela.” Além disso, a recomendação de interconexão com o Registro de Imóveis é considerado outro ponto fundamental para o atendimento às funções multifinalitárias do cadastro.

A proposição das diretrizes partiu da análise do ordenamento constitucional e infraconstitucional, bem como da gênese do Ministério das Cidades; dos resultados empíricos do Programa Nacional de Capacitação das Cidades e do pleito dos Municípios brasileiros com relação à necessidade de diretrizes gerais que resultem num Cadastro Territorial Multifinalitário como condição *sine qua non* de estruturação dos poderes locais, otimizando a segurança jurídica em todo o país.

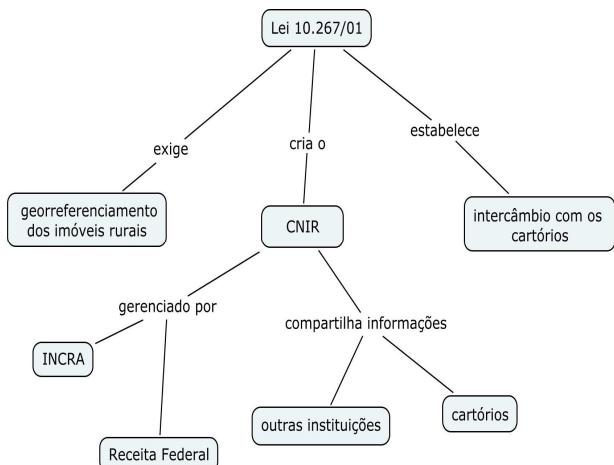


Figura 5: Pontos fundamentais da Lei 10.267/01

Por outro lado, a Lei 10.267/01 (ver Figura 5) estabeleceu o georreferenciamento dos imóveis rurais e uma nova responsabilidade para o profissional de levantamento, que passa a desempenhar a função

jurídica de definidor dos limites de propriedade, como acontece nos principais cadastros internacionais. A estruturação do Cadastro Nacional de Cadastro Rurais - CNIR, como também preconiza a lei, corresponde à disponibilização de uma IDE, que deve ser acessível a diversos produtores e usuários de informações sobre o meio rural. Para a viabilização do intercâmbio com os registros imobiliários e os demais parceiros, também nesse caso é necessária a adoção da parcela como unidade territorial básica.

Por parte da Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR, destaca-se a elaboração de padrões para os bancos de dados espaciais, que pode servir de base para a implementação de IDE. O documento “Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Digitais Vetoriais” foi elaborado pelo Comitê de Estruturação da Mapoteca Nacional Digital/CONCAR para subsidiar, entre outros, a ampliação e a racionalização da geração de informações geoespaciais de interesse da administração pública.

A referida especificação, construída sobre base conceitual em evolução, afeta ao Mapeamento Sistemático Brasileiro, visa facilitar o entendimento a respeito da necessidade de compartilhamento e interoperabilidade de dados geoespaciais, bem como para desenvolver a componente normatizadora da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) (<http://www.concar.ibge.gov.br/>).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas cadastrais são sempre complexos e de difícil tratamento, por envolver a integração entre aspectos que vão muito além do domínio das geotecnologias (políticos, administrativos, legais). Na pesquisa sobre cadastros internacionais, verifica-se situações variadas, onde países que possuem cadastros consolidados trabalham para adaptar seus sistemas às novas tecnologias, o que muitas vezes implica em mudanças legislativas.

No Brasil, identifica-se um avanço considerável, com a adoção, mesmo que ainda incipiente, de conceitos já consagrados. Trata-se de um processo lento, porém, ao que tudo indica, irreversível. É necessário, portanto, que os profissionais da área de Ciências Geodésicas dominem, mais que as ferramentas, os novos conceitos envolvidos e estejam prontos para atender a esta importante demanda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E.D.V. A elaboração de documentos cartográficos sob a ótica do mapeamento participativo. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Dissertação**. 2008. 124p.

BENHAMU, M. A GIS-Related Multi Layers 3D

Cadastre in Israe. In: XXIII FIG Congress. Munich, 2006. **Anais**. 2006

CLAUSEN, C. et. Al. Awareness as a Foundation for Developing Effective Spatial Data Infrastructures. In: XXIII FIG Congress. Munich, 2006. **Anais**. 2006

CORREIA, A.C.S.; CARNEIRO, A.F.T.; SÁ, L.A.C.M. Cadastro 3d – Experiências e Implementação. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente, 2007. **Anais**. 2007.

DEMIR,O.; ÖZCELIC,A.E. Requirements of the temporal cadastre data (4D) on cadastral implementations in Turkey. In: International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields. Sofia, 2007. **Anais**. 2007.

DONER, F. et.al. 4D Land Administration Solutions in the Context of the Spatial Information Infrastructure. In: The FIG Working Week 2008 – Integrating Generations. Stockholm, 2008. Anais. 2008.

ERBA, D.; PIUMETTO,M; CIAMPAGNA,J. eCatastros. In: **Cadastro Multifinalitário aplicado a la definición de suelo urbano**. Org: Diego Erba. Cambridge, 2007. p327-339. 448p.

KAUFMANN, J.; STEUDLER,D. **Cadastre 2014 – A vision for a future cadastral system**. FIG, 1998. Disponível em www.fig.net

RAJABIFARD,A.; BINNS, A. SDI Requirements of Land Administration. In: Expert Group Meeting on Incorporating Sustainable Development Objectives into ICT enabled Land Information Systems. Melbourne, 2005. **Anais**. 2005.

STEUDLER, D. Cadastre 2014 – Still a Vision?. In: XXIII FIG Congress. Munich, 2006. **Anais**. 2006

STOTER, J.; ZEVENBERGEN, J. **Changes in the definition of property: A consideration for a 3D Cadastral Registration System**. Disponível em <<http://www.fig.net/pub/proceedings/korea/full-papers/session27/stoter-zevenbergen.htm>>. Acesso em 20 novembro 2006.

VALSTAD, T. 3D CADASTRES IN EUROPE. In: Cadastral Infrastructure. Bogotá, 2005. **Anais**.

VAN DER MOLEN, P. 2003. The Future Cadastres – Cadastres after 2014. In: FIG Working Week. Paris, 2003. **Anais**. 2003.

VAN OOSTEROM, P. et. al.. Aspects of a 4D Cadastre: A First Exploration. In: XXIII FIG Congress. Munich, 2006. **Anais**. 2006

ZEDDIES, W. EL Comité Permanente del Catastro en la Unión Europea y la Directiva europea INSPIRE. In> X Seminario Catastro Multifinalitario. La Antigua, 2007. Disponível em www.catastrolatino.org.

EXTRAÇÃO SEMI-AUTOMÁTICA DE FEIÇÕES PLANAS A PARTIR DE DADOS LIDAR PARA O CÁLCULO DE PONTOS DE APOIO FOTOGRAMÉTRICO

Quintino Dalmolin, John A. F. Sanhueza

*Universidade Federal do Paraná - SCT
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
C. Politécnico – C. Postal 19001 - J. das Américas – Curitiba, PR
{qdalmolin@ufpr.br ; john.fierro@gmail.com}*

RESUMO: Neste trabalho apresenta-se uma metodológica para a extração semi-automática de pontos de apoio para a fototriangulação. Os pontos de apoio são calculados a partir da reconstrução, ajustamento e interseção de planos gerados a partir de um conjunto de pontos, oriundo do sistema LIDAR aerotransportado. O objetivo é verificar a possibilidade da utilização destes pontos em substituição aos pontos levantados no campo com o emprego de rastreadores GPS. Os pontos do laser scanner aerotransportado foram processados de forma a possibilitar a reconstrução das feições planas que formam edificações, através da aplicação de um método semi-automático. As feições planas procuram reproduzir as existentes nas coberturas de casas, edifícios ou construções em geral. A identificação e extração foram realizadas mediante o emprego da triangulação de Delaunay e da análise dos vetores normais dos seus triângulos gerados. Para testar a metodologia realizou-se uma fototriangulação apoiada com os pontos obtidos do laser scanner e comparada com pontos de verificação GPS pré-sinalizados. A área de estudo foi recoberta por um bloco fotogramétrico de 6 imagens obtidas com câmera digital não métrica. No final, os dois processamentos foram comparados e conclusões foram tomadas com base nos resultados obtidos.

Palavras chaves: Extração de feições planas, LIDAR, Fototriangulação, Orientação exterior, Pontos de apoio, Ajustamento de planos.

1. INTRODUÇÃO

A representação da superfície terrestre pode ser realizada através da integração da Geodésia, da Fotogrametria e da Cartografia, as quais se complementam para obter o posicionamento e mapeamento de objetos sobre a mesma. Dentre elas a Fotogrametria atinge o objetivo de mapear e extrair informações a partir de fotografias ou imagens. Estas fotografias a partir da década de 80 passaram a ser digitalizadas, e mais tarde obtidas diretamente com câmeras digitais do tipo métricas e não métricas.

O principal método para a obtenção da orientação exterior (OE) destas imagens, a partir de medições realizadas sobre as fotografias ou imagens é a ressecção espacial. Esta, por sua vez, necessita de feições pontuais ou lineares conhecidas e bem definidas no terreno (espaço objeto). A técnica da fototriangulação por feixes de raios perspectivos permite recuperar a posição e a atitude da câmera no instante da tomada da foto, juntamente com a determinação das coordenadas dos pontos de interesse no terreno. O conhecimento dos parâmetros da orientação exterior (POE) das imagens permite a criação de modelos fotogramétricos referenciados a um sistema cartográfico, produzir cartas e mapas das áreas em estudo, gerar ortofotografias, atualizar bases de dados cartográficos, entre outros.

Para a realização da fototriangulação, são utilizados pontos de apoio (feições pontuais ou lineares) com coordenadas conhecidas no espaço-objeto, os quais são inseridos no processo de ajustamento como injunções de posição para a fixação do referencial.

Tradicionalmente, os pontos de apoio são coletados em campo por técnicas de levantamentos geodésicos, como por exemplo, o Sistema de Posicionamento Global (*GPS*), o emprego de levantamentos topográficos com Estação Total, etc. Estes pontos ou feições também podem ser extraídos de bases cartográficas pré-existentes, desde que observados os parâmetros de precisão e acuracidade.

Com o intuito de diminuir estas incursões de campo, novas técnicas e metodologias têm sido criadas, desenvolvidas e implementadas para determinar os parâmetros de orientação exterior (POE) das fotografias. A diminuição da dependência dos levantamentos em campo, processando dados disponíveis oriundos da coleta feita por sensores diversos que utilizam metodologias diferenciadas para tal, é o propósito maior deste trabalho.

Dentre as metodologias já desenvolvidas, encontra-se o vôo apoiado com *GPS*, que ainda pode ser complementado com *INS* (*Inertial Navigation System*), o qual diminui a quantidade de pontos de apoio necessário para o ajustamento simultâneo por feixes de

raios e em bloco. Na prática é verificado que esta metodologia ainda necessita de um conjunto mínimo de pontos de apoio coletados em campo para o processamento e verificação da qualidade geométrica da fototriangulação.

Outras metodologias estão sendo desenvolvidas para a obtenção indireta de apoio fotogramétrico, tal como, integrar no processo fotogramétrico o uso dos dados oriundos do sistema LIDAR (*Light Detection And Ranging*). O sistema LIDAR, varre a superfície física do terreno e registra as coordenadas tridimensionais de muitos pontos, referenciados ao um sistema coordenado, propiciando a geração do Modelo Digital de Superfícies (MDS).

Os dados do LIDAR, quando integrados com dados de imagens ou fotografias aéreas, contribuem para o georreferenciamento das mesmas, pois, pode-se obter desta integração uma vantajosa complementaridade da informação, uma vez que o LIDAR fornece densa quantidade de pontos com informações a cerca do comportamento planialtimétrico dos objetos no terreno. Embora estes dados sejam abundantes, não apresentam definição morfológica dos objetos para serem pontualmente identificáveis na fotografia aérea, razão pela qual não podem ser utilizados diretamente como pontos de apoio fotogramétrico. Por outro lado, o processamento digital de feições a partir dos dados LIDAR, permite a extração de pontos, retas, polígonos e planos, os quais também podem ser tratados como apoio fotogramétrico.

Alguns pesquisadores têm trabalhado nesta direção, visando a automação na extração destas feições para gerar o apoio. Entre eles, citam-se os resultados obtidos por DELARA et al. (2004), na extração de feições pontuais. Já HABIB (1999); HABIB et al., (2004); DALMOLIN et al., (2005); SANTOS et al., (2005), SANTOS (2006) desenvolveram metodologias para a extração e emprego de feições retas. VOSSELMAN (1999); LEE e SCHENK (2001); ROTTENSTEINER e BRIESE (2003) trabalharam com a extração de superfícies planas, mas estas não foram empregadas como apoio.

Como alternativa aos autores acima citados na geração de apoio fotogramétrico e extração de feições retas e planas, pode-se dizer que estas mesmas feições podem ser processadas, para a partir delas, gerar entidades pontuais, as quais também podem ser empregadas como apoio para a Fotogrametria. A utilização da entidade pontual apresenta vantagem em relação a entidades lineares, quanto à possibilidade de utilização em sistemas fotogramétricos tradicionais e emprego de modelos matemáticos mais simples quando comparados com os da feição reta.

Este trabalho tem como propósito a apresentação de uma metodologia para a obtenção de pontos de apoio fotogramétricos, gerados a partir da interseção de feições planas extraídas semi-automaticamente dos dados do sistema LIDAR.

No âmbito científico, os dados LIDAR estão sendo empregados como complemento na obtenção do

apoio fotogramétrico para os métodos de fototriangulação e ressecção espacial, principalmente com o uso de feições retas. As entidades retas e planas extraídas semi-automaticamente, podem se constituir em fortes atributos para a formação ou definição de pontos de apoio fotogramétricos. Segundo MACHADO (2006), sabe-se que os processos semi-automáticos e automáticos empregados nas técnicas fotogramétricas auxiliam na diminuição de custos e do esforço operacional, aumentando a eficiência na obtenção dos produtos finais. De forma geral, observa-se que as metodologias desenvolvidas para a integração de imagens digitais com dados LIDAR, ainda necessitam de mais investigações para a solução apropriada dos algoritmos matemáticos empregados na extração automática de entidades cartográficas.

Os pontos de apoio podem ser considerados como base para todos os trabalhos de mapeamento pelas técnicas fotogramétricas. São necessários para a determinação indireta dos parâmetros de orientação exterior (POE) das imagens e na verificação da exatidão dos trabalhos realizados.

Existem claras evidências que as diversas técnicas citadas podem ser integradas para gerar pontos de apoio, pois, quando se têm informações do relevo, como as fornecidas pelo LIDAR e uma metodologia para a extração específica de feições foto-identificáveis, pode-se criar novas opções para a geração de apoio fotogramétrico. A metodologia que será apresentada neste trabalho busca a determinação de pontos de apoio a partir dos dados do sistema LIDAR para as técnicas de mapeamento fotogramétricas com o uso de câmaras não métricas, visando a integração das técnicas para a automação na geração de apoio para a fototriangulação. Segundo MITISHITA e MACHADO (2006), a câmara digital não métrica tem encontrado um maior campo de aplicação nos procedimentos fotogramétricos, tendo em vista a resolução do sensor, facilidades de aquisição a menor custo, fornecendo também soluções confiáveis, quando conhecidos os parâmetros de calibração que determinam a geometria interna da mesma. Os parâmetros de calibração da câmara são obtidos indiretamente por modelos matemáticos (métodos analíticos), os quais são necessários para a realização da orientação interior (OI) na recuperação da geometria projetiva.

2. METODOLOGIA

Numa primeira etapa da metodologia realiza-se a identificação de pontos na imagem de intensidade do laser scanner, os quais correspondem a elementos construtivos (residências, indústrias, prédios, etc) que possuam no mínimo três ou mais planos concorrentes e que se interceptem. Esta tarefa é facilmente realizada em regiões urbanas, cujos telhados das edificações apresentam a característica, como na Fig. 1.

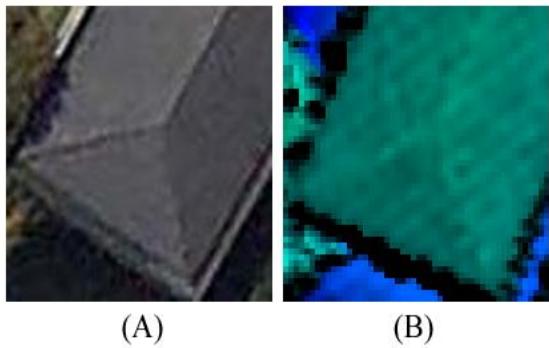


Fig. 1. Edificação selecionada. (A) Imagem aérea e (B) Imagem de intensidade do laser scanner.

Os telhados com as características acima são determinados visualmente na fotografia aérea, e as suas coordenadas aproximadas são obtidas manualmente na imagem de intensidade do laser scanner. As coordenadas aproximadas dos telhados servirão para extrair da nuvem de pontos do laser um conjunto de pontos pertencentes ao telhado, Fig. 2.

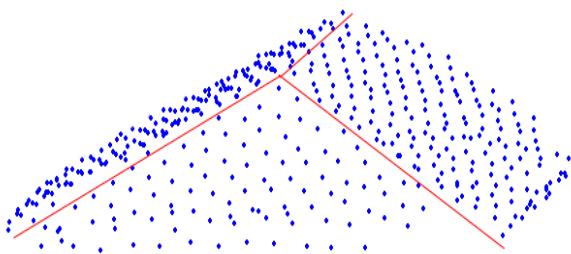


Fig. 2. Nuvem de pontos que formarão os planos concorrentes.

As feições planas são reconstruídas automaticamente a partir de um processamento com os dados brutos do conjunto de pontos. Sobre os dados brutos é realizada uma triangulação de Delaunay, e a partir dos vetores normais dos triângulos identifica-se o conjunto de pontos que pertencem a cada um dos planos formadores das “água” do telhado, Fig. 3.

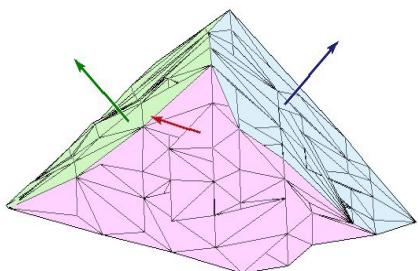


Fig. 3. Triangulação de Delaunay e vetores normais.

Um filtro é aplicado para remoção de pontos não desejados. Isto é, pontos que interferem na definição da feição. O filtro se baseia na obtenção do

ângulo diedro (θ) que cada triângulo de Delaunay forma com respeito a um plano horizontal hipotético (Fig. 4), eliminando todos aqueles triângulos, cujos planos formam um ângulo (θ) fora do intervalo $4^\circ < \theta < 30^\circ$. De acordo com BOULOS e CAMARGO (1987), o ângulo formado por dois planos concorrentes pode ser obtido através da relação entre os seus vetores normais respectivos, segundo a Equação (1):

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{n}_H \cdot \vec{n}_D}{\|\vec{n}_H\| \cdot \|\vec{n}_D\|} \quad (1)$$

Onde:

θ : é o ângulo formado entre o triângulo de Delaunay e o plano horizontal hipotético;

\vec{n}_H : é o vetor normal ao plano horizontal hipotético e

\vec{n}_D : é o vetor normal ao plano do triângulo de Delaunay.

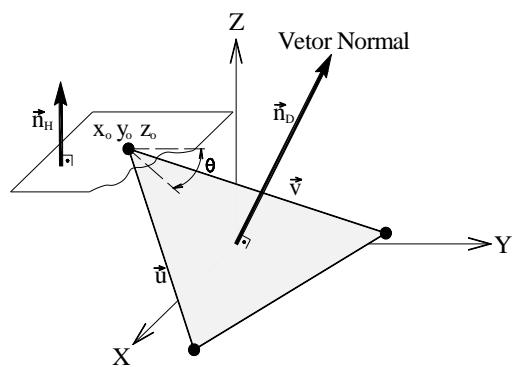


Fig. 4. Ângulo formado por dois planos.

FONTE: Sanhueza, J. A. F. (2007).

Os triângulos de Delaunay passam por um processamento que visa a eliminação de pontos não pertencentes à “água” ou plano do telhado e que afasta a condição de coplanaridade do conjunto de triângulos.

O plano de cada telhado é identificado e ajustado repetidamente através do Método dos Mínimos Quadrados empregando-se como modelo matemático funcional a equação geral do plano (Equação 2) e como modelo matemático de ajustamento, o método implícito, Equação (3).

$$a \cdot X_T + b \cdot Y_T + c \cdot Z_T + d = 0 \quad (2)$$

$$F(Xa, La) = 0 \quad (3)$$

Onde:

a, b, c, d : são os parâmetros do plano a serem ajustados;

X_T, Y_T, Z_T : são as coordenadas no referencial geodésico dos pontos pertencentes a cada “água” do telhado;
 $X\hat{a}$: é o vetor de parâmetros ajustados que definem o plano e;
 La : é o vetor de observações ajustadas.

A cada ajuste do plano, avalia-se o vetor dos resíduos dos pontos e aqueles que se afastam do plano mais que um determinado limiar pré-estabelecido, são automaticamente eliminados do processo, e um novo ajustamento é realizado, Fig. 5.

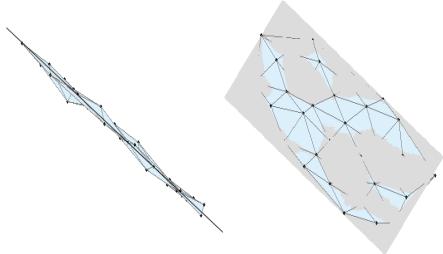


Fig. 5. Plano ajustado.

Três planos concorrentes formam um sistema de equações homogêneo, cuja interseção fornecerá as coordenadas de um ponto, o qual será usado como apoio fotogramétrico, Fig. 6.

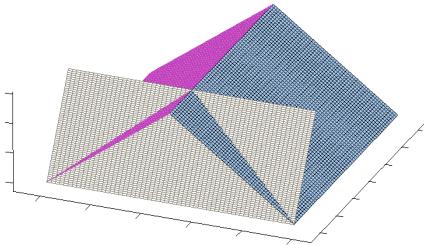


Fig. 6. Interseção dos planos no espaço.

No caso de existir mais de três planos, o sistema não será homogêneo e passará a ser inconsistente, apresentando mais de uma solução. Neste caso, a solução será obtida através de um ajustamento por mínimos quadrados com o uso do método paramétrico (Equação 4).

$$X = - (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot B \quad (4)$$

Onde:

A : é a matriz dos parâmetros a_i, b_i, c_i dos planos;
 B : é a matriz (vetor) dos termos independentes d_i dos planos e
 X : é o vetor das coordenadas ajustadas do ponto de interseção.

A solução deste sistema fornecerá as coordenadas de um ponto de apoio fotogramétrico e

participará na fototriangulação como injunção de posição.

O modelo matemático funcional para a fototriangulação é o da equação de colinearidade com ajustamento simultâneo por feixes de raios, (Equação 5):

$$\begin{aligned} x_{\text{foto}} &= -c \cdot \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ y_{\text{foto}} &= -c \cdot \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (5)$$

Onde:

$x_{\text{foto}}, y_{\text{foto}}$: são as fotocoordenadas observadas na fotografia aérea corrigidas dos erros sistemáticos;
 c : é a distância focal calibrada;
 m_{ij} : são os elementos da matriz de rotação que contém os ângulos (κ, φ, ω);
 X_0, Y_0, Z_0 : são as coordenadas do centro de projeção e;
 X, Y, Z : são as coordenadas do ponto no espaço objeto da interseção de planos do laser scanner.

Na Fig. 7 apresenta-se um diagrama das etapas da metodologia para a determinação de pontos de apoio fotogramétricos, com base na extração de feições planas (telhados), e cálculo de entidades pontuais (interseção dos planos), a partir dos dados do laser scanner.

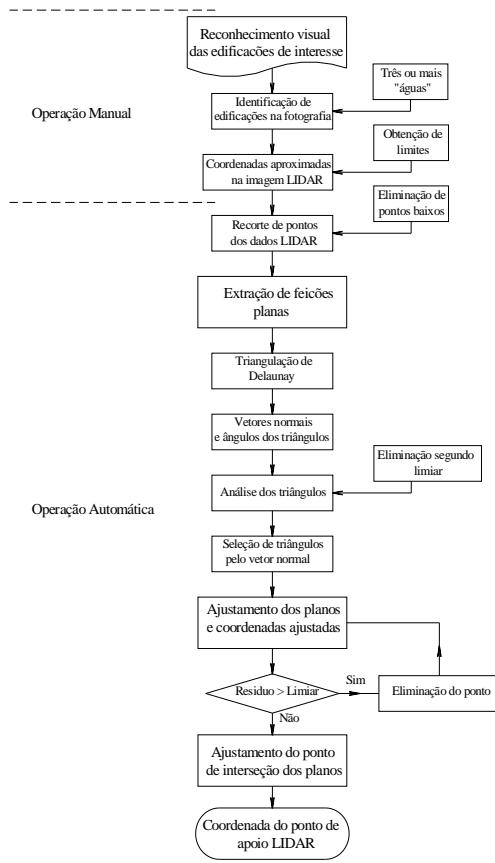


Fig. 7. Diagrama da seqüência metodológica.

Para o desenvolvimento da metodologia e a realização dos experimentos utilizou-se a plataforma do MatLab 7.0.

3. RESULTADOS

Um bloco de seis imagens aéreas cobrindo uma região urbana obtidas com uma câmera não métrica, calibrada, marca Kodak modelo Pro DCS14n com CCD de 3000 X 4500 pixel² foi utilizado para a realização dos experimentos. As observações foram feitas nas imagens fotográficas corrigidas dos erros sistemáticos. A altura média do vôo que originou as imagens foi de 1200 m e o tamanho do pixel de 7,9 μm , equivalente a 0,20 m no terreno.

As Figuras 8 e 9 apresentam, respectivamente o bloco fotogramétrico empregado e a distribuição de pontos GPS pré-sinalizados para a avaliação dos resultados, e os pontos LIDAR extraídos semi-automaticamente dos dados do laser scanner.

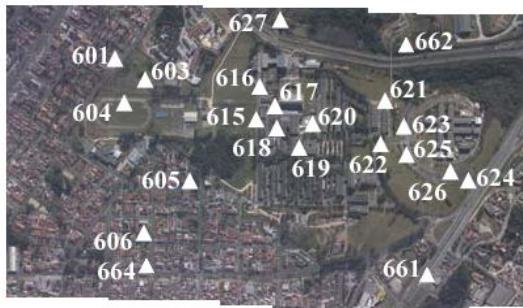


Fig. 8. Bloco fotogramétrico e distribuição dos pontos GPS pré-sinalizados em campo para a avaliação.

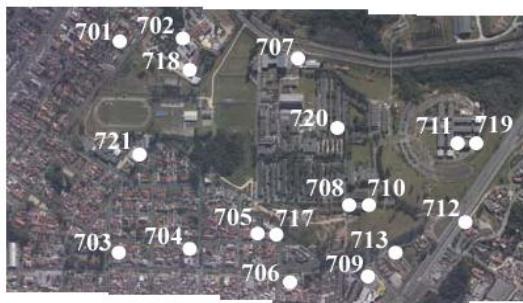


Fig. 9. Bloco fotogramétrico e distribuição dos pontos de apoio obtidos semi-automaticamente a partir dos dados do laser .

A partir da área de estudo foram escolhidas 18 edificações, as quais preenchiam as condições para serem consideradas como pontos de apoio fotogramétrico. A identificação de cada um dos telhados na fotografia aérea foi realizada por meio de um reconhecimento visual. Algumas dessas edificações apresentaram mais que três “águas” (planos). Os telhados das edificações selecionados corresponderam a

residências do tipo sobrado e prédios situados na área de estudos. A partir da imagem de intensidade do laser scanner, foram manualmente determinadas as suas coordenadas aproximadas, no referencial geodésico, dos telhados como sendo apoio fotogramétrico.

A Fig. 10 apresenta alguns dos telhados selecionados na fotografia aérea, os seus homólogos na imagem de intensidade do laser, a triangulação de Delaunay calculada com os dados brutos do LIDAR, e os planos filtrados e ajustados conforme a metodologia proposta.

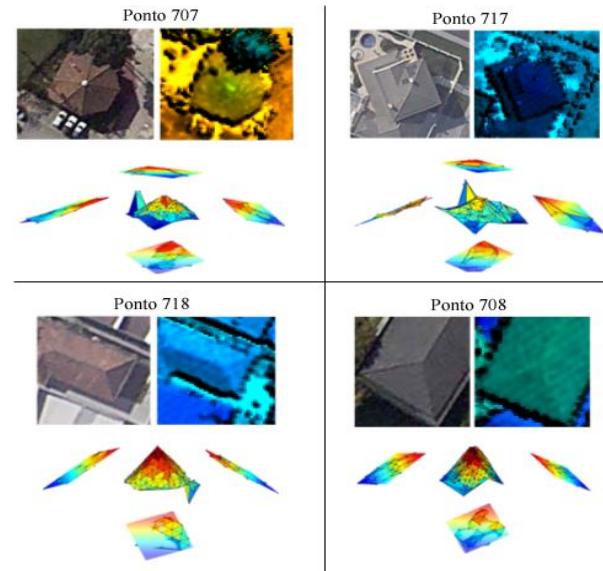


Fig. 10. Telhado selecionados para a extração semi-automatica dos planos.

Observa-se na Fig. 10 que, para os pontos 707 e 717, o processo de cálculo dos vetores normais e o ajustamento dos planos permitiram eliminar os pontos não pertencentes ao telhado identificando cada “água” do mesmo. No caso de pontos situados nas paredes das edificações, como o ponto 718 da Fig. 10, o processo também permitiu a sua filtragem.

A metodologia desenvolvida fornece como produto final um arquivo no formato ASCII, contendo as coordenadas dos pontos no referencial geodésico.

4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Para a análise dos resultados foi realizada uma fototriangulação empregando-se como pontos de apoio, os pontos LIDAR obtidos dos dados do laser e como pontos de verificação, 18 pontos GPS, sendo que 15 destes foram pré-sinalizados. As precisões dos pontos extraídos do laser scanner foram determinadas conforme as Especificações Técnicas da *Optech about ALTM system* para uma altura de vôo de 1000 m, sendo estas precisões de $\pm 0,50$ m para planimetria e $\pm 0,15$ m para altimetria.

O procedimento de fototriangulação contempla três etapas: A primeira corresponde ao planejamento

dos pontos fotogramétricos e a realização das observações na imagem. A segunda corresponde à orientação interior e a correção dos erros sistemáticos. Finalmente, a terceira corresponde à realização da fototriangulação propriamente dita com o ajustamento simultâneo por feixes de raios perspectivos e injunção de posição. Ao realizar a fototriangulação os pontos de verificação, no ajustamento simultâneo, foram tratados como sendo livres. A Fig. 11 apresenta as discrepâncias planimétricas nos pontos de verificação.

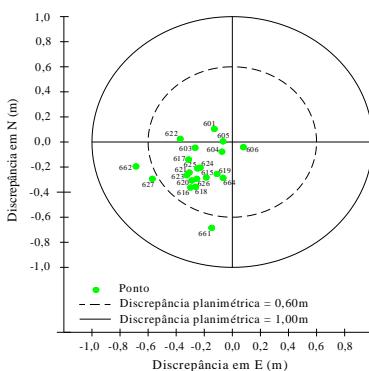


Fig. 11. Discrepância planimétrica nas coordenadas dos pontos GPS pré-sinalizados.

As discrepâncias nos pontos GPS n° 627, 662 e 661, foram maiores que as dos demais pontos, provavelmente devido às dificuldades apresentadas na obtenção das observações nas fotografias aéreas, pois os pontos n° 661 e 662 não foram pré-sinalizados. O ponto n° 627, mesmo sendo pré-sinalizado, situa-se nas bordas da imagem, e também apresentou dificuldade de observação.

Verifica-se ainda que as discrepâncias planimétricas mostraram uma tendência de um erro do tipo sistemático, pois o afastamento é similar entre eles. Esta tendência pode provir do deslocamento entre os sistemas de referencias dos dados GPS e dos dados do laser scanner. Mesmo com a existência deste deslocamento, nenhum ponto ultrapassou o valor de 1,0 m de discrepancia.

A Fig. 12 apresenta as discrepâncias altimétricas nos pontos GPS.

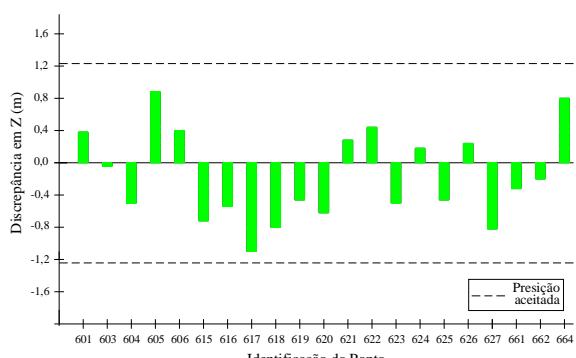


Fig. 12. Discrepância altimétrica em relação aos pontos GPS .

De acordo com os resultados, observou-se que os pontos não evidenciaram deslocamentos e apresentaram precisões esperadas para esta metodologia, quando comparadas com a precisão da interseção de raios determinada a partir da relação entre base e altura de vôo ($\pm 1,23$ m),

Testes estatísticos foram conduzidos e comprovaram ser as discrepâncias compatíveis com o mapeamento na escala 1:2000. Os resultados do teste estatístico “t-Student” mostraram que a média populacional das discrepâncias é menor ou igual a 1,0 m para planimetria e altimetria. No caso da precisão, o teste “Qui-quadrado” mostrou que a mesma é melhor que $\pm 0,60$ m em planimetria e melhor que $\pm 0,67$ m em altimetria.

5. CONCLUSÕES

Apesar dos resultados terem sido satisfatórios, existe uma grande dificuldade na obtenção de pontos de apoio fotogramétricos a partir dos dados brutos e da imagem de intensidade LIDAR, pois estes dados não apresentam forma morfológica para serem perfeitamente foto-identificáveis nas fotografias aéreas e serem utilizados como pontos de apoio. Portanto, não podem ser empregados sem um tratamento prévio, para trabalhos que requerem “certa” precisão.

Para os dados do LIDAR, a determinação do plano é uma das soluções matemáticas que permite um desempenho eficiente, pois os pontos se apresentam em distribuição “semi-regular” e em grande quantidade, fornecendo uma alta redundância às soluções, conduzindo a definição dos pontos de apoio fotogramétricos com qualidade.

Os pontos de apoio extraídos do LIDAR com a metodologia apresentada, apesar de sofrerem o processo interpolativo devido à distribuição dos dados laser, podem substituir a coleta de dados em campo desde de que seja possível extrair a informação pontual foto-identificável. Para obtê-los, é necessário utilizar técnicas de processamento digital de imagens e modelamento matemático do relevo.

Na essência, a metodologia proposta para o tratamento das feições planas e obtenção indireta das coordenadas de pontos de apoio para a Fotogrametria é eficiente e pode ser aplicada na prática

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOULOS, P.; CAMARGO, I. **Geometria Analítica: Um tratamento vetorial**. Editora McGraw-Hill Ltda. 2a Edição. 1987.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R.; DELARA, R. Jr.; BAHR, H. P. **O uso de feições retas extraídas do MDT gerado pelo sistema de varredura laser como apoio para o cálculo da ressecção espacial de imagens digitais**. Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 11. pp. 117-140, 2005.

DELARA, R. Jr.; MITISHITA E. A.; HABIB A. F. **Bundle adjustment of images from non-metric CCD camera using LIDAR data as control points.** Archives of XXth ISPRS Congress, commission III. pp. 13-19, 2004.

HABIB, A. **Aerial triangulation using point and linear features.** International Archives of Photogrammetry and remote Sensing, München, Germany, vol. 32, part 3-2W5, pp.137-141, 1999.

HABIB, A.; GHANMA M.; KIM C. J.; MITISHITA, E. A. **Alternative approaches for utilizing LIDAR data as a source of control information for photogrammetric models,** XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, PS WG I/5 Platform and Sensor Integration, pp.193, 2004.

LEE, I.; SCHENK, T. **Autonomous extraction of planar surfaces from airborne laser scanning data.** Dept. of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science. The Ohio State University. Columbus, Ohio. 2001.

MITISHITA, E. A.; MACHADO, A. M. **Estabilidade geométrica de uma câmara digital de baixo custo para fins de um “Bundle Adjustment”: Estudo de caso.** Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – Florianópolis, 2006.

MACHADO, A. M. L. **Extração automática de contornos de edificações utilizando imagens geradas por câmara digital de pequeno formato e dados LIDAR** Tese (doutorado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006

OPTECH, about ALTM System. Disponível em: <<http://www.optech.on.ca/>>, 2007. Acesso em 22/08/2007.

ROTTENSTEINER, F.; BRIESE, CH. **Automatic generation of building models from LIDAR data and the integration of aerial images.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIV, Dresden, 2003.

SANHUEZA J. A. F. **Extração semi-automática de feições planas e cálculo de entidades pontuais a partir dos dados LIDAR para o apoio fotogramétrico.** Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SANTOS, D. R. **Automação da resseção espacial de imagens com uso de hipóteses de rodovias como apoio de campo derivadas do sistema de varredura laser.** Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SANTOS, D. R.; DALMOLIN, Q.; DELARA, R. Jr.; BAHR, H. P. **O uso de feições retas extraídas do MDT gerado pelo sistema de varredura laser como apoio para o cálculo da resseção espacial de imagens digitais.** Boletim de Ciências Geodésicas, Brasil, v. 11, n. 1, p. 117-140, 2005.

VOSSELMAN, G. **Building reconstruction using planar faces in very high density height data.** Delft University of Technology - Faculty of Civil Engineering and Geosciences. 1999.

A FORMA DA TERRA – A EVOLUÇÃO NO SEU CONHECIMENTO

Denizar Blitzkow¹, Flávio Guilherme Vaz de Almeida², Ana Cristina Oliveira Cancoro de Matos³

¹ Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, SP. {dblitzko@usp.br}

² Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, SP. {flaviovaz@gmail.com}

³ Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, SP.

{acocmatos@gmail.com}

RESUMO: O conhecimento da forma da Terra é essencial para uma definição adequada de um sistema de coordenadas e para a materialização de uma rede de referência. A era espacial desempenhou um papel fundamental na obtenção de versões cada vez melhores de modelos do geopotencial. Os satélites artificiais se comportam como sensores do campo gravitacional. Isto vem tendo um impacto fundamental na materialização da forma da Terra. Por outro lado, os satélites destinados ao posicionamento como o GNSS (GPS e GLONASS) vem permitindo determinar coordenadas com precisão centimétrica. Desta forma tem se tornado possível o estabelecimento de referência altimétrica e planimétrica com relativa facilidade.

Palavras chaves: Geodésia, Geóide, potencial.

1. INTRODUÇÃO

A geodésia é definida classicamente como a ciência que estuda a forma e as dimensões da Terra. A palavra geodésia em si é de origem grega e significa “particionando a Terra” ($\gamma\eta$ - Terra, $\delta\alpha\iota\omega$ - divido).

A era dos satélites artificiais, acompanhada da revolução da eletrônica, proporcionou novos e atraentes rumos à Geodésia. Primeiramente, os métodos de posicionamento ganharam muito em rapidez, eficiência e precisão. Em seguida, a geodésia pôde se lançar em outros campos, não de seu interesse específico, mas de valiosa importância, tais como: modelamento das marés terrestres, controle do movimento de placas tectônicas, detecção de movimentos verticais da crosta, monitoração de grandes estruturas de engenharia, estudo do nível do mar, modelamento do campo gravitacional, variação da velocidade angular, determinação dos parâmetros de orientação da Terra, etc. Esta abrangência levou a um novo conceito da Geodésia.

A Geodésia foi dividida no passado em Geométrica, Física e Espacial. As mudanças da era espacial, particularmente nas áreas das metodologias e das tecnologias, resultaram numa integração entre os diferentes ramos daquela ciência, levando a uma reconsideração naquela divisão. Na concepção atual se consideram três **objetos** da Geodésia: a geometria e as deformações da Terra, os parâmetros de orientação da Terra no espaço e o campo de gravidade (geóide).

2. FASE ESFÉRICA

O ser humano sentiu a necessidade de se posicionar quando de suas primeiras tentativas de deslocamento em distâncias maiores. Daí a primazia do posicionamento cinemático sobre o estático. Sejam quais forem os recursos para a navegação, o conhecimento da forma da Terra e a adoção de um referencial adequado são imprescindíveis.

Pitágoras (571 - 497 a. C.) deu um grande passo na evolução histórica da forma da terra ao atribuir ao planeta o modelo esférico alegando razões de caráter estético e filosófico. Coube ao grande filósofo Aristóteles (384-322 a. C.) apresentar os primeiros argumentos científicos em prol daquela forma. As partículas têm uma tendência natural, assegurava ele, de cair para o centro do mundo (uma direção para baixo). Neste movimento todas as partes competem entre si para se colocarem na região inferior o que as leva a se comprimirem em forma de uma bola. Além deste argumento de caráter gravitacional, Aristóteles lembrou duas outras evidências: a sombra circular da terra nos eclipses de lua e a variação no aspecto do céu estrelado com a latitude. Além dos mencionados filósofos, Erastótenes (276-197 a. C.) também ligou o seu nome à forma da Terra através da primeira tentativa de medir o raio da esfera. Associando a astronomia e a topografia ele chegou a um valor de 300.000 estádias, aceitável para a época.

3. O ELIPSÓIDE DE REVOLUÇÃO E O GEÓIDE

A concepção esférica atravessou incólume

muitos séculos até esbarrar nas análises de caráter teórico do genial cientista Isaac Newton (1642-1727). Segundo ele, a forma esférica era incompatível com o movimento de rotação. Este, devido à força centrífuga, impõe um achatamento nos pólos. Estava aberta a fase elipsoidal que foi muito mais curta se comparada com a esférica. O famoso matemático alemão, Karl Friedrich Gauss (1777-1855), concluiu, após aplicar o método dos mínimos quadrados numa série de medições geodésicas em Hannover, que os resíduos obtidos estavam muito acima dos erros aleatórios inerentes às observações. Isto indicava que o modelo matemático adotado para a Terra, o elipsóide de revolução, não era adequado. A idéia fundamental é que a forma da superfície que limita o planeta Terra não pode ser regular. A razão é que a distribuição de massa na região superior da crosta não é homogênea. Gauss sugeriu uma forma levemente irregular mais tarde denominada por Johann Benedikt Listing (1808-1882) de GEÓIDE. Entretanto, a questão básica é estabelecer a superfície que materialize a forma. Entretanto, a escolha pode não ser trivial e, com certeza, tem que ser adotada por convenção. Constatou-se facilmente que a superfície que materializasse o limite da forma adotada teria que ser equipotencial, ou de equilíbrio, do campo de gravidade. De imediato concluiu-se que uma superfície muito conveniente seria o nível médio do mar. Acreditou-se que aquele nível atenderia o conceito da forma. Por outro lado, seria facilmente determinada através de observações maregráficas. De início não se atentou para o fato de que as condições do mar não são homogêneas, havendo diferenças de temperatura, salinidade, material em suspensão, correntes, ventos, etc. O resultado é que o nível médio em pontos distintos, derivado das observações maregráficas, não materializa uma mesma superfície equipotencial. Isto levou a considerar, num momento posterior, como superfície geoidal o nível médio **não perturbado** dos mares, o que implica em modelar a Topografia da Superfície Oceânica (TSO). Mais recentemente constatou-se que o nível médio do mar vem aumentando em função dos distúrbios no efeito estufa. O aumento dos gases responsáveis por aquele efeito benéfico da atmosfera, em particular o CO₂, vem perturbando o seu equilíbrio, causando um aumento na temperatura da Terra, com consequências no derretimento de gelo nas calotas polares e nas geleiras, no aumento da temperatura do mar provocando sua expansão térmica, etc. Isto leva à necessidade de estabelecer uma época para a materialização do nível médio do mar. (DREWES *et al.*, 2001).

A denominada “determinação do geóide” (quase-geóide), na prática a obtenção da altura geoidal (quase-geoidal), a partir do potencial perturbador, está estritamente relacionada ao problema de valor de contorno da geodésia (PVCG). O mesmo pode ser solucionado em termos de uma série de funções harmônicas esféricas (modelos do geopotencial), na forma integral (integral de Stokes) ou através de algum modelo de predição (colocação por mínimos quadrados, multipolos sequenciais, redes neurais, etc.). Como as

integrais envolvidas no problema são integrais de convolução, o tratamento no espaço de frequências através do uso da transformada de Fourier tem sido explorado recentemente e tem recebido muita aceitação. Em qualquer das alternativas a separação das componentes de longo e de curto comprimento de onda do campo oferece profunda vantagem, quando não é uma exigência. O conceito de Terra normal (elipsóide de referência) é fundamental no problema.

Observações sobre a superfície terrestre, sobretudo em termos de anomalias de gravidade, têm sido comuns desde o início do último século. Isto foi o resultado do desenvolvimento das observações pendulares, do dispositivo tri-pendular de Vening-Meinesz e, sobretudo, dos gravímetros de mola. Novas e encorajadoras perspectivas foram oferecidas pelas tecnologias surgidas nos últimos 50 anos: observações a bordo de aeronaves ou de veículos espaciais. Isto resultou numa nova dificuldade: reduzir as observações realizadas no espaço para a superfície terrestre. É a conhecida continuação para baixo. Isto resulta num problema de instabilidade da solução e na consideração do conceito de problema “mal-posto” (BLITZKOW, 1996).

A concepção de Stokes para o problema de valor de contorno foi apresentada em 1849. O interesse na época foi puramente teórico uma vez que a ausência quase total de dados gravimétricos sobre a superfície terrestre era vista como um problema de solução utópica. O desenvolvimento dos gravímetros no início do século passado, como mencionado, vislumbrou um certo otimismo. Mas restava ainda a dificuldade de se reduzir as observações conduzidas sobre a superfície física ao geóide. Isto exige o conhecimento de um modelo de distribuição de densidade no interior da crosta. A concepção de Molodenskii para o PVCG contornou de modo engenhoso a necessidade das reduções gravimétricas. A dificuldade é que o resultado da solução não é uma superfície de equilíbrio do campo de gravidade. Por outro lado, a modificação da integral de Stokes é uma condição obrigatória na utilização adequada das anomalias de gravidade para o cálculo da componente de curto comprimento de onda da altura geoidal.

3. O GEOPOTENCIAL

A era espacial, iniciada com o lançamento do primeiro satélite artificial em 4 de outubro de 1957, trouxe uma contribuição decisiva no aprimoramento do cálculo dos coeficientes do desenvolvimento em série do potencial gravitacional. É o que se tem denominado de modelo do geopotencial. Com efeito, a observação do movimento dos satélites artificiais, em órbitas convenientemente escolhidas, permite separar a perturbação devida ao campo gravitacional das demais perturbações. Desta forma, os coeficientes de baixo grau do desenvolvimento em série do geopotencial podem ser melhor determinados do que a partir de dados

terrestres, uma vez que os longos comprimentos de onda ficam melhor definidos através dos satélites.

Anteriormente à era espacial inexistiam modelos do geopotencial. Desde as observações aos primeiros satélites artificiais, Sputnik I, Explorer 1 e Vanguard 1, até a disponibilidade de anomalias médias de gravidade com uma cobertura global razoável, apareceram valores para os zonais C_{20} e C_{40} , modelos parciais até o grau e ordem 22, 30, 70, 180, modelos recentes completos até o grau e ordem 360 (EGM96, EIGEN-GL04C) e o atual modelo EGM08 completo até o grau e ordem 2160. No momento está havendo uma nova revolução nos modelos do geopotencial com as famosas missões gravitacionais modernas: CHAMP (CHAllenging Minisatellite Payload), GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) e GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer). Cada um dos satélites destas novas missões dispõe de equipamentos específicos para atingir metas especiais, porém, todos são satélites de órbita baixa (~400 km), tem seu movimento bem determinado através de posicionamento preciso e, portanto, se prestam ao modelamento do campo gravitacional.

3.1 Instituições envolvidas

As primeiras décadas da era espacial vislumbraram grandes esforços na obtenção de modelos preliminares do geopotencial. Uma primeira instituição que ganhou destaque neste esforço foi o SAO (Smithsonian Astrophysical Observatory). A análise das órbitas dos satélites foi feita a partir de observações óticas levadas a efeito pelas famosas câmeras balísticas Baker-Nunn. Este nome é oriundo de James Baker, responsável pela parte ótica, e Joseph Nunn que concebeu a mecânica da câmera. A posição do satélite foi referida ao catálogo estelar do SAO que continha a posição e o movimento próprio de 259.000 estrelas. As observações foram conduzidas a partir de 15 estações, sendo 12 pertencentes ao SAO e 3 em colaboração com outras instituições. Surgiu uma publicação inicial (LUNDQUIST & VEISS, 1966) com um primeiro modelo do geopotencial completo até grau e ordem 8, mais alguns coeficientes de ordem superior. Foi denominado SAO-SE-I reunindo a sigla da instituição e mais as iniciais de *Standard Earth*. Poucos anos mais tarde a combinação de novas observações óticas com as primeiras e sofisticadas medidas a LASER, iniciadas com o satélite BEACON-B lançado em 1964, resultou num novo modelo completo até grau e ordem 16 (GAPOSCHKIN & LAMBECK, 1970). Outros modelos se seguiram em 1973, 1974 e 1977, sempre como resultado do esforço do SAO, recebendo a denominação SE (*Standard Earth*) seguida do ano da publicação.

A NASA sempre se destacou nas atividades espaciais como órgão americano responsável pelo lançamento dos satélites artificiais e seu rastreamento. Assim, não poderia deixar de marcar a sua atuação na determinação dos modelos do geopotencial. Os esforços do Goddard Space Flight Center (GSFC) resultaram nos

modelos conhecidos pela sigla GEM (Goddard Earth Model) (SMITH *et al.*, 1976). Assim como os modelos do SAO, os primeiros modelos GEM utilizaram somente observações aos satélites artificiais. O modelo GEM-1, completo até grau e ordem 12, baseou-se somente em dados de satélites, enquanto o GEM-2 completo até o grau 16, combinou observações das órbitas dos satélites com anomalias médias de gravidade de $5^\circ \times 5^\circ$. O aumento do número de satélites, juntamente com o aumento e a melhoria das observações, foram contribuindo sistematicamente para a determinação dos coeficientes de ordem baixa ($l \leq 36$). Daí nasceu uma série de modelos na década de 70 apresentados em (RAPP, 1998). O uso de dados gravimétricos que poderia permitir tentativas de determinar coeficientes de ordem superior esbarrou, durante muitos anos, na grande quantidade de vazios, particularmente nos oceanos. A altimetria por radar, iniciada com o satélite GEOS-3 lançado em 1975, exigia modelos do geopotencial mais confiáveis para posicionar melhor o satélite. Nessa fase surgiram dois modelos importantes, o GEM9 e o GEM10 (LERCH *et al.*, 1977). O GEM9 foi o último modelo da série calculado somente a partir de observações sobre os satélites artificiais, num total de 31 satélites. Englobou observações óticas, laser e eletrônicas (Doppler e Banda-S) num total de 840.000 observações sendo 213.000 laser, o que permitiu o cálculo completo dos coeficientes até grau e ordem 20, com alguns coeficientes de ordem superior. Entre outros satélites (LERCH *et al.*, 1977, p.7), foram observados o GEOS-3, LANDSAT-1, LAGEOS, STARLETTE, BEACON-B e C, bem como outros satélites mais antigos. A inovação do modelo GEM10 foi a combinação de observações sobre os satélites com anomalias médias de gravidade em quadrículas de 5° . O GEM10 é completo até grau e ordem 22 com alguns coeficientes de ordem superior.

O modelamento mais adequado do campo gravitacional com os modelos GEM9 e GEM10 e a altimetria por radar, iniciaram uma nova fase de conhecimento do campo nos oceanos. Com isso o esforço do GSFC concentrou-se em três novos modelos: GEM10A, GEM10B e GEM10C. São completos até o grau e ordem 30, 36 e 180 respectivamente (LERCH *et al.*, 1981). A característica mais importante destes três modelos foi o uso crescente de medições de altimetria por radar do satélite GEOS-3, com espaçamento cada vez menor. O primeiro (GEM10A) usou 300 passagens globalmente distribuídas com espaçamento de 5° . No segundo (GEM10B) foram obtidas 700 passagens com espaçamento de 2° . Finalmente o terceiro (GEM10C) incorporou 3.000 passagens gerando 28.000 valores médios em quadrículas de $1^\circ \times 1^\circ$ nos oceanos. Em termos de anomalias médias de gravidade, os dois primeiros usaram os mesmos 1.654 valores que contribuiram para o cálculo do GEM10, enquanto que o GEM10C incorporou nas observações 38.000 valores médios da anomalia de gravidade de $1^\circ \times 1^\circ$.

Uma outra iniciativa importante a salientar deve-se à França e à Alemanha com os modelos GRIM.

Foram desenvolvidos simultaneamente pelo Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale (GRGS) de Toulouse e pelo Sonderforschungsbereich (Instituto) de Munique, daí a origem da sigla. O esforço começou na década de 70 com a publicação do primeiro modelo, o GRIM1 (BALMINO *et al.*, 1976). O mesmo era completo até o grau e ordem 22, ateve-se às observações sobre os satélites artificiais, óticas e eletrônicas. O GRIM2 combinou observações aos satélites com anomalias médias de $1^\circ \times 1^\circ$ obtendo todos os coeficientes até grau e ordem 30 (BALMINO *et al.*, 1978). O uso dos dados de altimetria por radar nos oceanos resultou em novas contribuições que permitiram o cálculo do modelo GRIM3, completo até 36 (REIGBER *et al.*, 1983). A série GRIM ainda se beneficiou de novas observações laser sobre o LAGEOS e novos dados de anomalias de gravidade nos oceanos derivadas da altimetria por radar, resultando nas novas versões GRIM3-L1 e GRIM4-C3.

Num momento em que já existiam modelos completos até grau e ordem 180, a preocupação voltou-se para os coeficientes de baixa ordem. Para isso contribuiram os satélites que foram lançados com a finalidade exclusiva de melhorar aqueles coeficientes. Estes satélites estavam numa órbita baixa (1.000km – excessão aos LAGEOS I e II, 6000KM) e constituíam uma simples esfera de 0,5m de diâmetro, peso ~50kg, com retrofletores distribuídos em sua superfície, objetivando as observações com laser (Figura 1). Portanto, eram objetos soltos no espaço pouco sensíveis às perturbações de atrito e pressão de radiação solar, permitindo modelar melhor o campo gravitacional. Daí resultaram os modelos GEM-L2 (LERCH *et al.*, 1982), GEM-T1 (MARSH *et al.*, 1987), GEM-T2 (MARSH *et al.*, 1990) e GEM-T3 (LERCH *et al.*, 1992). Acreditou-se que com estas iniciativas se estariam obtendo modelos do geopotencial com uma acuracidade maior na determinação dos coeficientes de baixo grau.

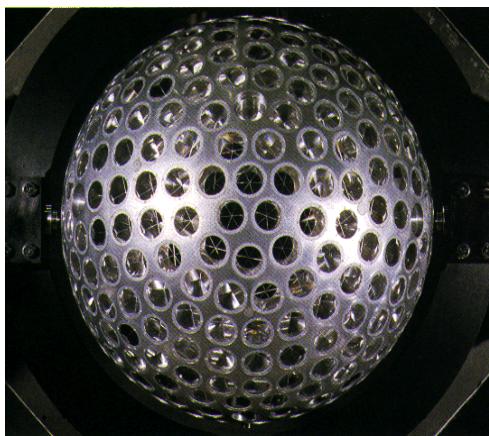


Fig. 1 – Satélite Lageos. Fonte:
http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/slr_sats.html

Na década de noventa passou-se a planejar missões com objetivos específicos, com satélites em órbita baixa, sofisticados sistemas de posicionamento, como GPS, DORIS (Doppler Orbit Determination and Radiopositioning Integrated on Satellite) e laser,

conhecidas como missões gravitacionais modernas. Daí resultarem três satélites específicos: CHAMP (Challenging Minisatellite Payload), GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) e GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer). Estes satélites se caracterizam pela órbita baixa (300 – 500km) o que os torna muito sensíveis às perturbações do campo gravitacional. O primeiro deles foi lançado em 15 de julho de 2000, pesou 500kg e atingiu no lançamento a altitude de 470km. Os objetivos da missão compreendiam o estudo do campo gravitacional, o modelamento do campo magnético e suas variações no tempo. O satélite ainda em funcionamento, é dotado de um receptor GPS que realiza medidas de fase e da distância a cada 10s. Como resultado das observações precisas da órbita foram obtidos os modelos do geopotencial EIGEN (*European Improved Gravity Model of the Earth by New Techniques*): EIGEN-1S (REIGBER *et al.*, 2002), EIGEN-2S (REIGBER *et al.*, 2003) e EIGEN-CHAMP03S (REIGBER *et al.*, 2004). Eles são completos até grau e ordem 99 (alguns coeficientes até 119), 120, 120 (alguns coeficientes até 140), respectivamente, e constituem a primeira experiência em determinar um modelo do geopotencial a partir de observações relativas a um só satélite (ALMEIDA, 2008).

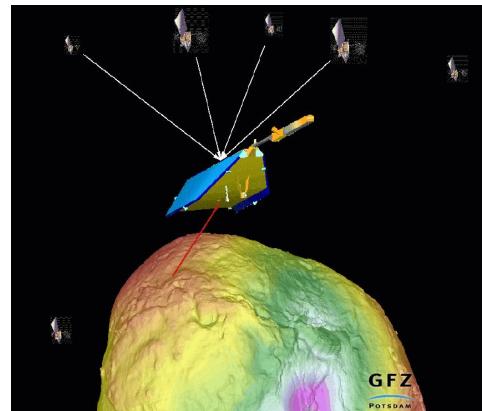


Fig. 2 – Satélite CHAMP. Fonte: http://op.gfz-potsdam.de/champ/science/gravity_SCIENCE.html.

O segundo é, efetivamente, constituído de dois satélites, dito gêmeos (Figura 3). Eles estão separados por uma distância de 220km e foram lançados em 17 de março de 2002, numa altitude inicial de 550 km que caiu posteriormente para 300km. Tem como objetivo específico estudar o campo gravitacional e suas variações no tempo. Eles possuem receptor GPS, DORIS e refletores laser e um sistema medidor de distância entre eles através de micro-onda, conhecido como KBRR (K-band range rate) com precisão de 0,1 $\mu\text{m/s}$ (micrometro/segundo).

Em consequência dos esforços de três instituições, o GFZ (GeoForschungsZentrum), o JPL (Jet Propulsion Laboratory) e o GRGS (Groupe de Récherche de Géodésie Spatiale), têm sido publicados diferentes modelos do geopotencial derivados de observações ao GRACE. Primeiramente foram obtidos

modelos somente com observações ao satélite e que se denominam EIGEN-GRACE01S (REIGBER, 2004), EIGEN-GRACE02S (REIGBER *et al.*, 2005), EIGEN-GRACE03S (REIGBER *et al.*, 2005) (grau e ordem 140, 150, 150 respectivamente). Paralelamente obtiveram-se também modelos indicados pela letra C (combinado) que incluem dados terrestres.

De particular importância estão os modelos estimados sobre curtos períodos de 30 dias disponibilizados a intervalos de 10 dias, completos até grau e ordem 50. Estes modelos permitem estimar com precisão os grandes transportes de massa na camada superficial da crosta terrestre contribuindo significativamente para, entre outros, o estudo do derretimento das geleiras, monitoramento das águas continentais em grandes bacias, dinâmica atmosférica e oceânica, aumento no nível médio do mar.

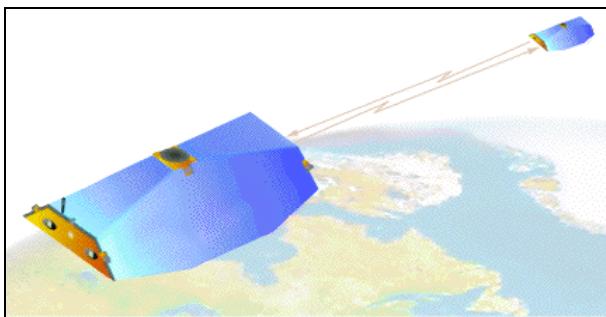


Fig. 3 – Satélite GRACE.

Fonte:http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/slr_sats.html

Um esforço marcante, ocorrido na primeira metade da década de 90, foi a iniciativa do então NIMA (National Imagery and Mapping Agency) hoje NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) em propor o desenvolvimento de um modelo combinado. O objetivo inédito era combinar os dados mais completos de satélite com a melhor cobertura possível de dados gravimétricos terrestres. A NASA desempenharia um papel fundamental na cessão dos dados dos satélites enquanto o NGA coordenou uma ação para que o mundo todo fosse incentivado a contribuir com o que de mais completo se dispusesse de dados de gravimetria. O resultado foi o modelo EGM96 (Earth Gravity Model 1996) apresentado no Japão durante o evento Gravity, Geoid and Marine Geodesy (GRAGEOMAR96) (LEMOINE *et al.*, 1998a; LEMOINE *et al.*, 1998b). O modelo é completo até grau e ordem 360 e durante mais de uma década foi referência para uma superfície equipotencial do campo de gravidade.

Consistente com o dinamismo do progresso da ciência e da tecnologia os primeiros anos de 2000 marcaram novamente um esforço presunçoso para atingir um modelo do geopotencial de grau e ordem 2160, ou seja, uma resolução de 5'. O NGA e a NASA novamente coordenaram os esforços. A globalização e os esforços de confidencialidade desmistificados pelos satélites artificiais que “vêem” muitos detalhes da superfície terrestre, certamente mudaram a visão

conservadora de resguardar dados gravimétricos. Depois de vários anos de trabalho com promessas e atrasos na disponibilidade do novo modelo chegou o Earth Gravity Model 2008 (EGM08), apresentado oficialmente em Viena, durante a EGU2008 (PAVLIS *et al.*, 2008). O grau e ordem 2160 certamente não traduz uma consistência homogênea na resolução de 5'. De fato, vários continentes e regiões do globo não apresentam esta resolução de forma homogênea em sua cobertura de dados gravimétricos, em particular a América do Sul. Não obstante, o modelo traduz um grande avanço no conhecimento do campo nesta ordem de resolução. A Tabela 1 apresenta alguns dos mais importantes modelos desenvolvidos na década de 2000.

TABELA 1 - MODELOS DO GEOPOTENCIAL DA DÉCADA DE 2000

*S = SATÉLITE, C = COMBINADO; + = INCOMPLETO

Modelo	Tipo*	Ano	Grau máximo
GRIM5-S1	S	2000	99
GRIM5-C1	C	2000	120
GRIM5-S2	S	2000	99
GRIM5-C2	C	2000	120
EIGEN-1S	S	2002	99 (119 ⁺)
EIGEN-2S	S	2003	120 (140 ⁺)
EIGEN-GRACE01S	S	2003	120 (140 ⁺)
GGM01S	S	2003	120
GGM01C	C	2003	200
GGM02S	S	2004	160
GGM02C	C	2004	200
EIGEN-CHAMP03S	S	2004	120 (140 ⁺)
EIGEN-CG01C	C	2004	360
EIGEN-GRACE02S	S	2005	150
EIGEN-GRACE03S	S	2005	150
EIGEN-CG03C	C	2005	360
EIGEN-GRACE04S	S	2006	150
EIGEN-GRACE04C	C	2006	360
EIGEN-GL04S	S	2006	150
EIGEN-GL04C	C	2006	360
GGM03S	S	2007	160
GGM03C	C	2007	360
EGM2008	C	2008	2160

O LTG fez um grande esforço para avaliar o EGM08 e mais alguns modelos recentes em toda a América do Sul utilizando observações GPS sobre RRNN bem como estimando anomalias médias em quadrículas de 5' e comparando com o distúrbio de gravidade derivado dos referidos modelos. Para tanto, o LTG conseguiu viabilizar um total de 1.190 estações em diversos países da América do Sul nas quais se dispõe de coordenadas geodésicas derivadas de observações GPS sobre a rede de nivelamento. Isto foi possível dentro dos esforços do projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Os seguintes países disponibilizaram os referidos dados: Brasil, Argentina, Equador, Venezuela e Chile. Além disso, o

LTG mantém há vários anos um banco de dados de anomalias médias de gravidade em quadrículas de 5'.

As Tabelas 2 e 3 mostram os resultados da análise dos modelos do geopotencial para diversos valores de grau e ordem (60, 120, 360 e 2160), em termos de valor médio, diferença (desvio) padrão, valores extremos entre as diferenças de anomalia de altura e altura geoidal utilizando para a comparação os pontos GPS sobre a rede de nívelamento (GPS/RRNN); e as diferenças de anomalia médias de gravidade derivadas dos dados gravimétricos da América do Sul e distúrbio de gravidade obtido pelos modelos, respectivamente. Os modelos selecionados para a comparação foram alguns dentre os mais recentes e destacados: EGM2008, PGM2007A (PAVLIS *et al.*,

2008), EGM96, EIGEN-GL04C (FÖRSTE *et al.*, 2006) e EIGEN-GL04S1 (BIANCALE *et al.*, 2006). Os resultados correspondentes aos modelos de grau e ordem 2.160 se apresentam como os melhores, com uma leve melhoria do modelo final EGM2008 sobre o modelo preliminar (PGM2007A). As Figuras de 4 a 7 mostram as discrepâncias entre anomalia de gravidade e o distúrbio de gravidade obtidos com a comparação entre os modelos EGM96 (n=m=360), EIGEN-GL04C (n=m=360) e EGM2008 (n=m=360 e 2160), respectivamente. As maiores discrepâncias dizem respeito a regiões montanhosas, como os Andes, o que é esperado em função da dificuldade de realizar levantamentos gravimétricos nestas áreas.

TABELA 2 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE AS ANOMALIAS DE ALTURA E AS ALTURAS GEOIDAIAS DOS GPS/RRNN.

n=m		EGM2008 (m)	PGM2007A (m)	EGM96 (m)	EIGEN-GL04C (m)	EIGEN-GL04S1 (m)
60	Média	-0,15	-0,14	-0,17	-0,20	-0,20
	RMS dif.	1,75	1,75	1,84	1,77	1,77
	Dif. Max. positiva	6,2	6,2	5,8	6,3	6,3
	Dif. Max. negativa	-8,8	-8,8	-8,8	-9,1	-9,1
120	Média	0,12	0,13	0,10	0,06	0,07
	RMS dif.	1,09	1,10	1,16	1,10	1,10
	Dif. Max. positiva	3,8	3,9	4,3	3,9	3,8
	Dif. Max. negativa	-4,1	-4,1	-4,4	-4,2	-4,1
360	Média	0,28	0,30	0,24	0,22	
	RMS dif.	0,72	0,73	0,80	0,70	
	Dif. Max. positiva	2,8	2,9	3,7	3,1	
	Dif. Max. negativa	-3,3	-3,2	-3,3	-2,9	
2160	Média	0,22	0,24			
	RMS dif.	0,68	0,69			
	Dif. Max. positiva	3,4	3,4			
	Dif. Max. negativa	-3,3	-3,2			

TABELA 3 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE AS ANOMALIAS E OS DISTÚRBIOS DE GRAVIDADE.

n=m		EGM2008 (mGal)	PGM2007A (mGal)	EGM96 (mGal)	EIGEN-GL04C (mGal)	EIGEN-GL04S1 (mGal)
60	Média	0,84	0,83	-0,97	-0,78	-0,78
	RMS dif.	47,54	47,52	48,21	48,16	48,16
	Dif. Max. positiva	692,48	692,29	696,83	695,62	695,62
	Dif. Max. negativa	-209,25	-209,51	-215,53	-222,34	-222,34
120	Média	-0,94	-1,05	-3,04	-2,60	-2,61
	RMS dif.	42,85	42,84	43,77	43,45	43,42
	Dif. Max. positiva	581,12	580,22	599,64	585,50	582,38
	Dif. Max. negativa	-232,66	-232,95	-244,81	-235,10	-233,65
360	Média	-2,28	-2,42	-4,73	-4,52	
	RMS dif.	28,94	28,97	31,97	31,89	
	Dif. Max. positiva	401,83	389,19	377,61	386,99	
	Dif. Max. negativa	-338,21	-321,75	-292,86	-303,91	
2160	Média	-0,19	-0,33			
	RMS dif.	20,43	20,41			
	Dif. Max. positiva	372,12	356,75			
	Dif. Max. negativa	-492,40	-437,62			

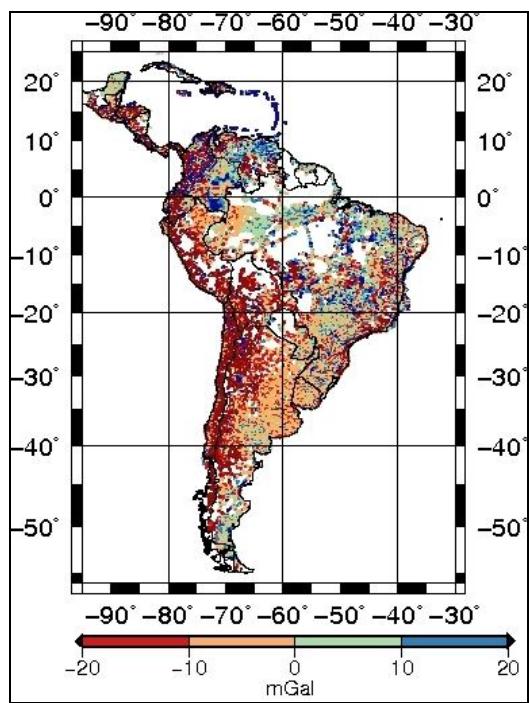


Fig. 4 - Discrepâncias entre anomalia da gravidade terrestre e o扰urbo da gravidade obtido pelo EGM96 ($n=m=360$).

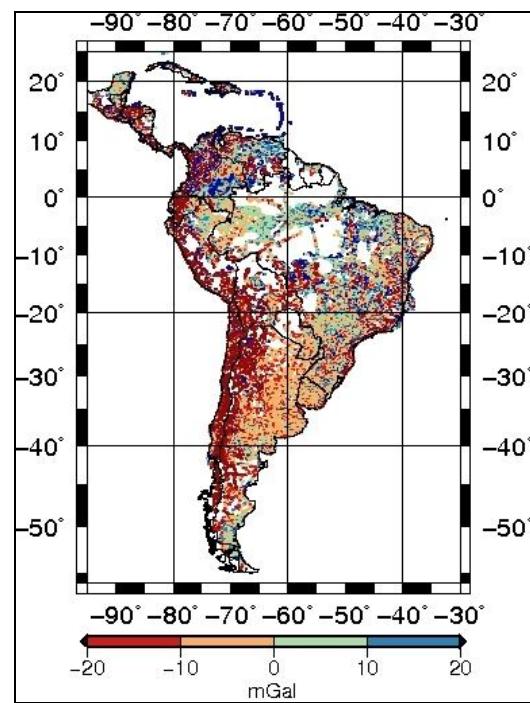


Fig. 5 - Discrepâncias entre anomalia da gravidade terrestre e o扰urbo da gravidade obtido pelo EIGEN-GL04C ($n=m=360$).

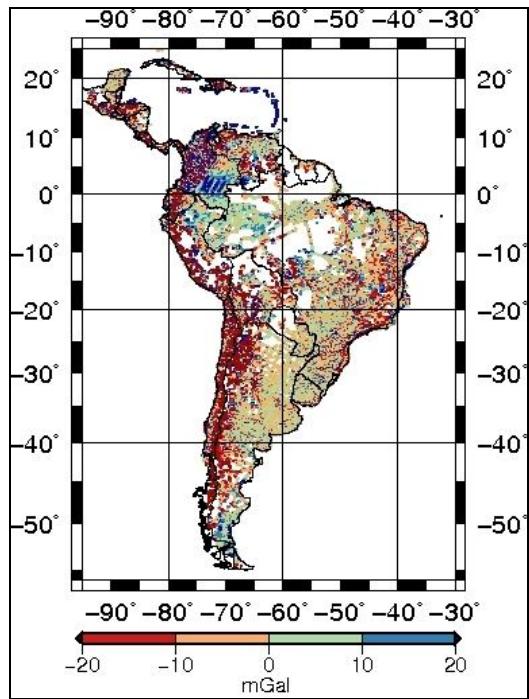


Fig. 6 - Discrepâncias entre anomalia da gravidade terrestre e o扰urbo da gravidade obtido pelo EGM2008 ($n=m=360$).

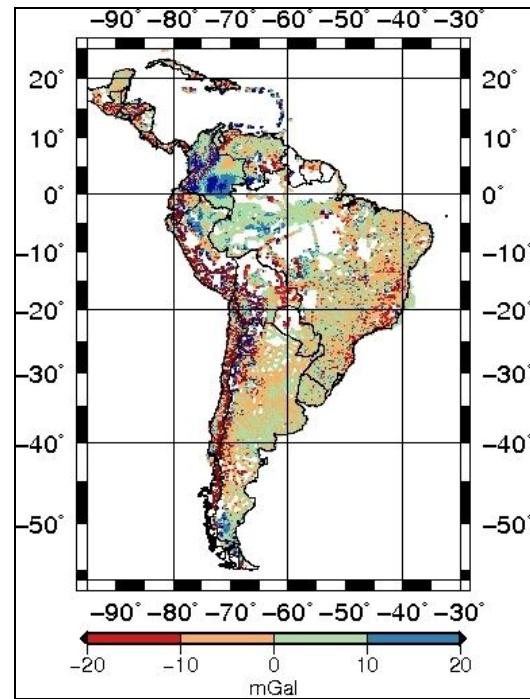


Fig. 7 - Discrepâncias entre anomalia da gravidade terrestre e o扰urbo da gravidade obtido pelo EGM2008 ($n=m=2160$).

4. CONCLUSÃO

A era espacial contribuiu de maneira decisiva

no conhecimento do campo gravitacional através dos modelos do geopotencial, o que em suma se traduz na melhoria do conhecimento da forma da Terra, em outras

palavras, na determinação das alturas geoidais. O esforço remarcável resultante nos modelos EGM96 e EGM08 representou uma revolução na história do desenvolvimento ao combinar dados de satélites com terrestres. O atual modelo EGM08, completo até grau e ordem 2160 significa uma resolução de 5'. É importante usar com cuidado esta informação, pois esta resolução se restringe às regiões onde a presença de dados gravimétricos justificou esta qualidade do modelo. Por outro lado, a comparação do modelo com pontos GPS é muito dependente da qualidade e da consistência da rede de nívelamento. Os valores de desvio padrão apresentados na Tabela 2 devem ser vistos como uma indicação do que se espera para o erro da altura geoidal derivada do modelo.

AGRADECIMENTOS

Uma contribuição decisiva para a realização de levantamentos gravimétricos é devido à Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Os esforços em toda a América do Sul têm sido viável através dos Institutos Geográficos Militares de diferentes países bem como, instituições geodésicas e cartográficas civis, bem como diversas universidades. Particularmente no Brasil a contribuição destas tem sido relevante ao lado do Observatório Nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.G.V. Variação Temporal do Campo Gravitacional Detectada pelo Satélite GRACE: Aplicação na Bacia Amazônica.** Tese de doutorado, em desenvolvimento no Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2008
- BALMINO, G.; REIGBER, CH.; MOYNOT, B. A Geopotential Model Determined from Recent Satellite Observation Campaigns (GRIM1).** Manuscr Geod, v. 1, p. 41-69, 1976.
- BALMINO, G.; REIGBER, CH.; MOYNOT, B. Le modèle de potentiel gravitationnel terrestre GRIM2 : Détermination, évaluation.** Ann Geophy, v. 34, p. 55-78, 1978.
- BIANCALE R.; LEMOINE, J.-M.; BALMINO, G.; LOYER, S.; BRUINSMA, S.; PÉROSANZ, F.; MARTY, J.-C.; GÉGOUT, P. 3 years of geoid variations from GRACE and LAGEOS data at 10-day intervals from July 2002 to March 2005,** CNES/GRGS products, data available on CD-ROM, 2006.
- BLITZKOW, D. O problema de valor de contorno da Geodésia – Resultados práticos para a América do Sul.** Tese de Livre Docência. Apresentada ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1996.
- DREWES, H., SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S.R.C. DE. **Scientific Foundations of the SIRGAS.** In: Vertical Reference Systems, v. 124, p. 297 - 301. Cartagena, Colômbia, 2001.
- FÖRSTE, CH.; FLECHTNER, F.; SCHMIDT, R.; KÖNIG, R.; MEYER, U.; STUBENVOLL, R.; ROTHACHER, M.; BARTHELMES, F.; NEUMAYER, H.; BIANCALE, R.; BRUINSMA, S.; LEMOINE, J.M.; LOYER S. **A mean global gravity field model from the combination of satellite mission and altimetry/gravimetry surface data – EIGEN-GL04C,** Geophysical Research Abstracts, v. 8, p. 03462, 2006.
- GAPOSCHKIN E.M.; LAMBECK, K. **1969 Smithsonian Standard Earth (II),** Smithsonian Astrophys Obs, Spec Rep 315, 93 pp, 1970.
- LERCH F. J.; KLOSKO, S. M.; LAUBSCHER, R. E.; WAGNER, C. A. **Gravity model improvement using GEOS-3 (GEM9 and GEM10).** Goddard Space Flight Center. Report X-921-77-246. Greenbelt, 1977.
- LERCH, F. J.; PUTNEY, B. H.; WAGNER, C. A.; KLOSKO, S. M. **Goddard Earth Models for Oceanographic applications (GEM 10B and GEM 10C).** Marine Geodesy, v. 5, n. 2, p. 145-187, 1981.
- LERCH, F.J.; KLOSKO, S.M.; AND PATEL, G.B. **A Refined Gravity Model from LAGEOS (GEM-L2),** Geophys. Res. Lett., v.9, p. 1263-1266, 1982.
- LERCH, F.J.; NEREM, R.S.; PUTNEY, B.H.; FELSENTREGER, T.L.; SANCHEZ, B.V.; KLOSKO, S.M.; PATEL, G.B.; WILLIAMSON, R.G.; CHINN, D.S.; CHAN, J.C.; RACHLIN, K.E.; CHANDLER, N.L.; MCCARTHY, J.J.; AND 6 OTHERS. **Geopotential Models of the Earth from Satellite Tracking, Altimeter and Surface Gravity Observations: GEM-T3 and GEM-T3S,** - NASA TM 104555, p. 1288, 1992.
- LEMOINE, F.G., PAVLIS, N.K.; KENYON, S.C.; RAPP, R.H.; PAVLIS, E.C.; AND CHAO B.F. **New high-resolution model developed for Earth' gravitational field,** EOS, Transactions, AGU, 79, 9, March 3, n. 113, p. 117-118, 1998a.
- LEMOINE, F.G.; KENYON, S.C.; FACTOR, J.K.; TRIMMER, R.G.; PAVLIS, N.K.; CHINN, D.S.; COX, C.M.; KLOSKO, S.M.; LUTHCKE, S.B.; TORRENCE, M.H.; WANG, Y.M.; WILLIAMSON, R.G.; PAVLIS, E.C.; RAPP, R.H.; OLSON, T.R. **The development of the joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) geopotential model EGM96,** NASA/TP-1998-206861. National Aeronautics and Space Administration, Maryland, USA, 1998b.

LUNDQUIST, C.A.; VEISS, G.; **Geodetic Parameters for a 1966 - Special Report**, v. 1, Cambridge, Massachusetts, EUA, 1966.

MARSH, J.G., LERCH, F.J., PUTNEY, B.H., CHRISTODOULIDIS, D.C., SMITH, D.E., FELSENTREGER, T.L., SANCHEZ, B.V., SMITH, D.E., KLOSKO, S.M., PAVLIS, E.C., MARTIN, T.V., ROBBINS, J.W., WILLIAMSON, R.G., COLOMBO, O.L., CHANDLER, N.L., RACHLIN, K.E., PATEL, G.B., BHATI, S., AND CHINN, D.S. **An Improved Model of the Earth's Gravitational Field: GEM-T1**, NASA Tech. Memo. 4019, 334 pp., 1987.

MARSH, J.G., LERCH, F.J., PUTNEY, B.H., FELSENTREGER, T.L., SANCHEZ, B.V., KLOSKO, S.M., PATEL, G.B., ROBBINS, J.W., WILLIAMSON, R.G., ENGELIS, T.L., EDDY, W.F., CHANDLER, N.L., CHINN, D.S., AND 4 OTHERS.. **The GEM-T2 Gravitational Model**, J. Geophys. Res., v. 95, p. 22043-22072. Correction in J. Geophys. Res., v. 96, p. 16651, 1990.

PAVLIS, N.K.; HOLMES, S.A.; KENYON, S.C.; FACTOR, J.K. **An earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008**. EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria, abril 13-18, 2008. Disponível em: <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008>. Acesso: 29 setembro 2008.

RAPP R.H. **Past and future developments in geopotencial modelling**. In: Geodesy on the move. Editors: Forsberg, Feissel, Dietrich. Springer-Verlag, New York, 1998.

REIGBER, Ch.; BALMINO, G.; MOYNOT, B.; MUELLER, H. **The GRIM3 Earth gravity fiel model**. Manuscriptsa Geodaetica, v. 8, p. 93-138, 1983.

REIGBER, C., BALMINO, G., SCHWINTZER, P., BIANCALE R., BODE A., LEMOINE J.M., KÖNIG R., LOYER S., NEUMAYER H., MARTY J.C., BARTHELMES F., PEROSANZ F., ZHU S.Y. **A high quality global gravity field model from CHAMP GPS tracking data and accelerometry (EIGEN-1S)**. Geophys. Res. Lett. v. 28 (17), p. 3263-3266, 2002.

REIGBER, CH.; SCHWINTZER, P.; NEUMAYER, K.H.; BARTHELMES, F.; KÖNIG, R.; FÖRSTE, CH.; BALMINO, G.; BIANCALE, R.; LEMOINE, J.M.; LOYER, S.; BRUINSMA, S.; PEROSANZ, F.; FAYARD, T. **The CHAMP only Earth gravity field model EIGEN-2**, Adv. Space Res., v. 31, n. 8, p. 1883-1888, 2003.

REIGBER, CH.; JOCHMANN, H.; WÜNSCH, J.; PETROVIC, S.; SCHWINTZER, P.; BARTHELMES, F.; NEUMAYER, K.H.; KÖNIG, R.; FÖRSTE, CH.; BALMINO, G.; BIANCALE, R.; LEMOINE, J.M.; LOYER, S.; PEROSANZ, F. **Earth Gravity Field and**

Seasonal Variability from CHAMP, in: Reigber, Ch., Lühr, H., Schwintzer, P., Wickert, J. (eds.). Earth Observation with CHAMP - Results from Three Years in Orbit, Springer, Berlin, p. 25-30, 2004.

REIGBER, CH. **First GFZ GRACE gravity field model EIGEN-GRACE01S released on July 25, 2003**. Disponível em: http://www-app2.gfz-potsdam.de/pb1/op/grace//results/grav/g001_eigen-grace01s.html. Acesso: 29 setembro 2008.

REIGBER, CH. **First GFZ GRACE gravity field model EIGEN-GRACE01S released on July 25, 2003**. Disponível em: http://www-app2.gfz-potsdam.de/pb1/op/grace//results/grav/g001_eigen-grace01s.html. Acesso: 29 setembro 2008.

REIGBER, C.; SCHMIDT, R.; FLECHTNER, F.; KÖNIG, R.; MEYER, U.; NEUMAYER, K.H.; SCHWINTZER, P.; ZHU S.Y. **An Earth gravity field model complete to degree and order 150 from GRACE: EIGEN-GRACE02S**. Journal of Geodynamics, v. 39, Issue 1, p. 1-10, 2005.

SMITH, D. E.; LERCH, F. J.; MARSH, J. G.; WAGNER, C. A.; KOLENKIEWICZ, R.; KHAN, M. A. **Contributions to the National Geodetic Satellite Program by Goddard Space Flight Center**. Journal of Geophysical Research, v. 81, p. 1006-1026, 1976.

O MERCADO DE TRABALHO DO ENGENHEIRO CARTÓGRAFO NO BRASIL E A SITUAÇÃO DOS EGRESSOS DA UFRGS

João Fernando Custódio da Silva¹, Igor Rasteiro Oliveira Santos²

¹ Departamento de Cartografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP.

{jfcsilva@fct.unesp.br}

² Curso de Engenharia Cartográfica, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP.

{igor.rasteiro@ibest.com.br}

RESUMO: A pesquisa e o conhecimento do mercado de trabalho são de grande interesse e relevância para o engenheiro cartógrafo. Em 1995, foi elaborado e implantado o Programa de Acompanhamento do Mercado da Engenharia Cartográfica, no departamento de Cartografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp, campus de Presidente Prudente, com o propósito de executar, trienalmente, um levantamento acerca do panorama do mercado de trabalho diretamente com os profissionais nele atuantes. Este artigo apresenta um breve histórico dos aspectos e mudanças ocorridas desde o primeiro levantamento até o presente. Também traz as informações mais atuais, do último levantamento (2007/08), de forma a orientar estudantes, profissionais e demais interessados no processo de tomada de decisões, tendo por base o conhecimento das condições do mercado de trabalho. Pela primeira vez, comparece no estudo, em destaque, a situação preliminar dos egressos da UFRGS.

Palavras chaves: Mercado de trabalho, engenharia cartográfica, egressos da UFRGS.

1. INTRODUÇÃO

Com esta denominação, a Engenharia Cartográfica é um curso relativamente recente no Brasil. O primeiro curso desta modalidade de engenharia data de 1965, criado na então Universidade do Estado da Guanabara, atual Rio de Janeiro (UERJ). As suas raízes remontam ao Instituto Militar de Engenharia (IME), que em 1939 iniciou a formação de engenheiros de Geodésia e Topografia. As necessidades do País oportunizaram a criação dos cursos de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), em 1971, da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e da Universidade Estadual Paulista (UNESP), ambos, em 1977, e mais recentemente o da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 1997.

Atualmente, estima-se que haja aproximadamente 3.000 engenheiros cartógrafos formados pelas instituições de ensino superior (IES) brasileiras. Não se sabe ao certo a quantidade deles que está em efetiva atividade na profissão. Talvez 2.000 profissionais estejam atuando regularmente no Brasil. Se assim for, e considerando a população brasileira em 180 milhões de habitantes, estima-se que haja um engenheiro cartógrafo para cada grupo de 90.000 habitantes, aproximadamente.

A Cartografia é uma atividade técnica-científica indispensável à vida humana no que concerne os aspectos econômicos, sociais, ambientais e culturais, e está cada vez mais presente e disseminada. Tecnologias de navegação e posicionamento em barcos,

aviões, carros e celulares, imagens orbitais e mapas digitais on-line disponíveis na internet são alguns exemplos das muitas ocorrências de produtos tecnológicos que têm por princípio, meio e fim a Cartografia. Com ajuda destas ora denominadas geotecnologias, a geoinformação tem demanda crescente e alto valor agregado. Evidentemente, o profissional da Engenharia especialmente formado e preparado para atender as demandas da sociedade nesta matéria é o engenheiro cartógrafo.

Com o propósito de acompanhar a evolução deste mercado de trabalho foi proposto, em 1995, o Programa de Acompanhamento do Mercado da Engenharia Cartográfica (PAMEC). Neste ano, ocorreu o primeiro levantamento de profissionais com o título de engenheiro cartógrafo do qual se tem notícia no país (SILVA, 1995). A partir deste ano, e a cada três anos, um novo levantamento é realizado para atualizar o banco de dados, cuja análise propicia informar com objetividade os interessados, como profissionais, acadêmicos, empresários e até vestibulandos, já que os resultados ajudam também a divulgar a profissão.

Os dados dos três primeiros levantamentos (SILVA, 1995), (SILVA; SPINELLI NETO, 1999) e (SILVA; BASSETTO, 2002) foram obtidos através dos documentos e artigos publicados em http://www2.prudente.unesp.br/dcrtog/ec/mercado_bd_mec.htm. Com relação ao quarto e também ao quinto levantamento, as informações foram obtidas diretamente dos bancos de dados. Todos os cinco levantamentos citados têm caráter nacional, sendo que o único

requisito para participar respondendo os questionários é ter o título de engenheiro cartógrafo e atuar na área da Cartografia.

Os objetivos do PAMEC compreendem o aprimoramento do conhecimento do mercado para orientar os alunos em direção a uma vida profissional saudável (mediante a atualização de currículos, conteúdos e programas, e o conhecimento da profissão); difundir a engenharia cartográfica na sociedade mostrando sua importância social e econômica; auxiliar e motivar a seleção de temas de pesquisa de relevância comprovada; fornecer dados e informações para a tomada de decisões; e por fim, buscar indícios da influência de novas tecnologias para prever suas consequências no mercado de trabalho.

Todos os trabalhos e artigos produzidos a partir dos levantamentos são publicados, ou em anais de reuniões científicas (congressos, por exemplo) ou em revistas especializadas. Posteriormente, os artigos produzidos são postados no endereço internet de acesso público acima informado.

Considerando o momento particular da UFRGS, que ora completa dez anos da implantação do seu curso de Engenharia Cartográfica, ao final deste trabalho uma seção é dedicada a uma brevíssima análise dos dados de egressos da co-irmã sulista. Pondere-se, entretanto, sobre o cuidado na interpretação, posto que a amostra gaúcha é muito pequena quando comparada às demais.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nos três primeiros levantamentos foi similar. Os profissionais eram abordados por meio de cartas que foram despachadas por correio. Dentro das cartas havia o questionário a ser respondido pelo profissional, que, após completá-lo, remetia-o de volta. Alguns questionários ainda foram distribuídos durante eventos e congressos da área de Cartografia.

A partir do quarto levantamento, a abordagem aos profissionais passou a ser somente por meio da internet. Utilizando-se de e-mail, conclamavam-se os cartógrafos a responderem o questionário, que então, passou a estar hospedado on-line. As respostas eram armazenadas em banco de dados. Os endereços eletrônicos dos profissionais foram obtidos por meio dos Conselhos Regionais de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA), da lista da Associação Brasileira de Engenheiros Cartógrafos – Regional São Paulo (ABEC/SP), do portal MundoGeo, da Engemap Geoinformação e de endereços constantes nos levantamentos anteriores.

3. TAMANHO DAS AMOSTRAS

As amostras obtidas caracterizam o levantamento como de âmbito nacional, uma vez que engenheiros cartógrafos atuantes em todas as cinco regiões do país e provenientes de todas as seis IES

habilitadas a sua formação participaram. A presença de egressos da UFRGS deu-se a partir do quarto levantamento (2004-2005), porque a primeira turma de formandos desta instituição diplomou-se em 2002.

A média de participação nos últimos quatro levantamentos era de 133 profissionais (tab. 1), número superado neste último (2007-2008), que conta com 223 cartógrafos. Este aumento advém de maior divulgação da pesquisa, que obviamente contribui para que os dados e consequentemente os resultados sejam mais próximos da realidade.

TABELA 1 – TAMANHO DA AMOSTRA DE CADA LEVANTAMENTO.

95/96	98/99	01/02	04/05	07/08	Média
152	131	109	141	223	151,2

4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS AMOSTRAS

Na tab. 2, verifica-se que as amostras indicam que a profissão de engenheiro cartógrafo é caracterizada por maior presença masculina, com 81,4% na média de todos os levantamentos. Já a média etária (IM) fica em torno de 36,5 anos dentre todos os participantes.

A idade média de formatura (IMF), ou seja, idade com a qual o universitário se forma, é igual a 24,3 anos. A IMF é obtida através da subtração da idade média (IM) do levantamento do tempo médio de formatura (TMF), que é o tempo em anos decorrido desde que o egresso foi diplomado.

Assim, na média, o profissional atuante no mercado de trabalho obteve seu diploma há 12,2 anos, possuindo então 24,3 anos de idade ao se formar, que são números condizentes com o que se observa anualmente na prática do ensino de Engenharia Cartográfica.

TABELA 2 – IDADE MÉDIA (IM), TEMPO MÉDIO DE FORMADO (TMF) E IDADE MÉDIA DE FORMATURA (IMF) EM ANOS.

Ano	IM	TMF	IMF
1995/96	36,1	11,9	24,2
1998/99	40,4	14,4	26,0
2001/02	36,4	12,9	23,5
2004/05	34,3	10,8	23,5
2007/08	35,2	11,1	24,1
Média	36,5	12,2	24,3

5. CARACTERIZAÇÃO ACADÊMICA DAS AMOSTRAS

Os participantes das pesquisas foram graduados pelas já nominadas seis IES e os percentuais médios de participação por IES estão dados na tab. 3, ressalvada a situação estreante dos egressos da UFRGS.

TABELA 3 – IES DE ORIGEM DOS GRADUADOS.

UFRGS	UFPE	IME	UFPR	UERJ	UNESP
-------	------	-----	------	------	-------

1,3%	6,2%	6,6%	16,4%	27,7%	41,8%
------	------	------	-------	-------	-------

A fig. 1 mostra que no primeiro levantamento havia equilíbrio entre as quantidades de graduados e pós-graduados. Do segundo em diante, observa-se a diminuição da presença de graduados e o crescimento da participação dos pós-graduados. Na média, a participação de pós-graduados perfaz um total de 52,8%, sendo que 25,8% são mestres, 18,0% especialistas e 9,0% doutores. Ou os graduados estão de fato participando menos ou os pós-graduados estão de fato aumentando a sua participação no mercado de trabalho.

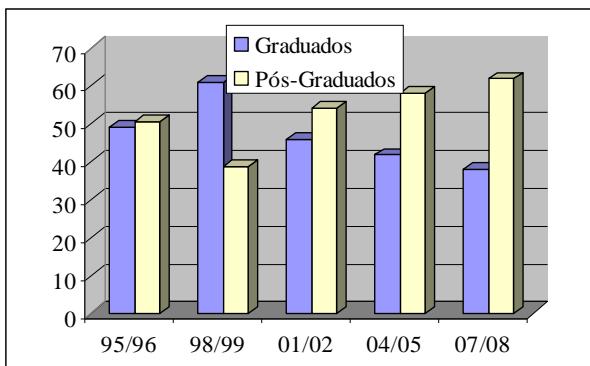


Fig. 1 – Relação de graduados e pós-graduados nos cinco levantamentos.

Em consequência da formação acadêmica, os profissionais adquirem habilidades e competências para atuar no mercado de trabalho. Indagados sobre a utilidade e aplicabilidade dos conhecimentos adquiridos em forma de disciplinas, retornaram respostas que foram tabuladas, de modo que foi possível relacionar as mais citadas. Antes, porém, de qualquer juízo ou interpretação mais apressada, cabe aqui reiterar que o objetivo é unicamente compreender como se dá a aplicação dos conhecimentos no mercado de trabalho. Deve-se ressaltar que, sob nenhuma hipótese, está-se pretendendo estabelecer uma competição entre as disciplinas. Pelo contrário, o arco de aplicação é bem amplo, de modo que até as disciplinas menos citadas têm importância na formação acadêmica e profissional e têm relevância no mercado de trabalho. A tab. 4 mostra as cinco primeiras disciplinas mais votadas a cada levantamento.

As disciplinas foram abreviadas por Cart (Cartografia), Geod (Geodésia), Topo (Topografia), Foto (Fotogrametria), SIG (Sistema de Informações Geográficas), Comp (Computação), II (Interpretação de Imagens), GPS (Geodésia por Satélites).

TABELA 4 – AS CINCO DISCIPLINAS MAIS CITADAS EM CADA LEVANTAMENTO.

1995/96	1998/99	2001/02	2004/05	2007/08
Cart	Comp	Cart	Cart	Cart
Geod	Topo	Topo	Geod	Topo
Topo	II	Comp	GPS	Geod

Foto SIG	Foto GPS	Foto GPS	Topo SIG	GPS SIG
-------------	-------------	-------------	-------------	------------

Aos leitores interessados no rol completo de utilidade das disciplinas recomenda-se a leitura dos artigos postados no endereço informado na introdução. Observa-se que os profissionais comprovam que a caracterização científica da profissão assenta-se nas principais disciplinas do ciclo específico. No segundo levantamento, devido ao grande número de votos na primeira pesquisa, a disciplina Cartografia foi retirada do questionário. Retornou nos levantamentos seguintes, após os óbvios protestos dos entrevistados.

Destaque-se a crescente colocação da disciplina Sensoriamento Remoto, que ascende a cada levantamento e já ocupa a sexta posição em utilidade, segundo os participantes.

É sabido que atualmente o conhecimento esvanece em pouco tempo, talvez em cinco, e, no máximo, após dez anos atuando no mercado de trabalho, dependendo da área específica, os profissionais necessitam de atualizar os seus conhecimentos científicos e tecnológicos. Assim, a preferência dos cartógrafos, quanto ao tipo de aperfeiçoamento profissional, recai em palestras e conferências, cursos de extensão universitária, aperfeiçoamento e especialização e mestrado parcial, nesta ordem decrescente. Em todos os levantamentos, cursos de mestrado integral e outros tipos de aperfeiçoamento somaram poucos votos.

Tenta-se compreender a aparente contradição entre estes dados e o número crescente de pós-graduados nas amostras mediante a hipótese de que quem já fez pós-graduação obviamente pretende se atualizar por outros meios, palestras e conferências, por exemplo, e quem não fez pós-graduação e está no mercado poucas chances têm de retornar às lides acadêmicas para se titular.

Os temas de aperfeiçoamento mais apontados foram os relativos às áreas de Geodésia, SIG e Cartografia. Pormenorizando o tema, o título do aperfeiçoamento está vinculado a GPS, banco de dados espaciais e gestão ambiental.

6. MERCADO DE TRABALHO

6.1 Distribuição geográfica

Em todos os levantamentos, a região Sudeste apresentou sempre maior número de participações, na média, 59,2% das amostras. Encontram-se também nesta região duas das cidades que mais possuem cartógrafos, Rio de Janeiro e São Paulo, respectivamente, primeira e segunda em número de ocorrências. A região Sul, segunda maior em ocorrências, perfaz 21,8%. As demais regiões, Centro-Oeste, Nordeste e Norte possuem, respectivamente, 11,1%, 6,0% e 1,9% (tab. 5).

TABELA 5 – DISTRIBUIÇÃO DOS ENGENHEIROS CARTÓGRAFOS POR REGIÃO.

N	NE	CO	SE	S
---	----	----	----	---

1,9%	6,0%	11,1%	59,2%	21,8%
------	------	-------	-------	-------

Somando os percentuais das regiões Sul e Sudeste, obtém-se o total de 81% da amostra, que indica a concentração do mercado de trabalho cartográfico nestas duas regiões.

Especificamente, a lista dos estados com presença de maior número de cartógrafos é encabeçada por São Paulo (29,7%), Rio de Janeiro (27,4%) e Paraná (16,6%), que juntos compõem 73,7% do mercado de trabalho.

A tab. 6 apresenta os percentuais de engenheiros cartógrafos nas cidades, em todos os levantamentos, entretanto, ordenada pelo percentual da cidade na última pesquisa.

TABELA 6 – AS CIDADES QUE APRESENTAM GRANDE PARTICIPAÇÃO DE CARTÓGRAFOS.

Cidades	95/96	98/99	01/02	04/05	07/08
Rio de Janeiro (RJ)	32,2%	29,7%	17,3%	15,8%	18,3%
São Paulo (SP)	7,2%	13,6%	12,5%	15,9%	13,2%
Curitiba (PR)	14,5%	2,5%	19,5%	11,1%	12,2%
Pres. Prudente (SP)	7,2%	11,0%	11,5%	4,7%	5,6%
Brasília (DF)	2,0%	3,4%	5,8%	6,3%	5,1%
Porto Alegre (RS)	3,9%	0,0%	1,9%	4,8%	5,1%

6.2 As organizações empregadoras de engenheiros cartógrafos

A atividade cartográfica no Brasil e no mundo sempre esteve dentro dos interesses dos poderes públicos, cuja participação na divisão do mercado de trabalho é expressiva. Porém, entre 1995 e 1998 já se observava uma mudança neste panorama. As organizações públicas, que na época do primeiro levantamento figuravam com quase 77%, passaram, em 1998, para 57,4%, e hoje têm presença de 51,6% no mercado de trabalho da engenharia cartográfica.

Com as privatizações, avanços tecnológicos e barateamento da tecnologia, atualmente, as oportunidades de trabalho do engenheiro cartógrafo apresentam proporções similares nos setores público e privado. A tabela 7 apresenta o histórico deste comparativo.

Na fig. 2 se observa que as organizações públicas federais são as que mais empregam cartógrafos, com 30,3% do mercado. As organizações privadas S.A. e Ltda. possuem a segunda e terceira maior porcentagem, com 22,7% e 17,1%, respectivamente.

TABELA 7 – DIVISÃO ENTRE OS SETORES PÚBLICO E PRIVADO NOS CINCO LEVANTAMENTOS.

%	Público	Privado	Outros
1995/96	76,9	19,6	3,5
1998/99	57,4	39,0	3,5
2001/02	52,3	40,4	7,3
2004/05	51,9	38,8	9,3-
2007/08	51,6	42,2	6,2

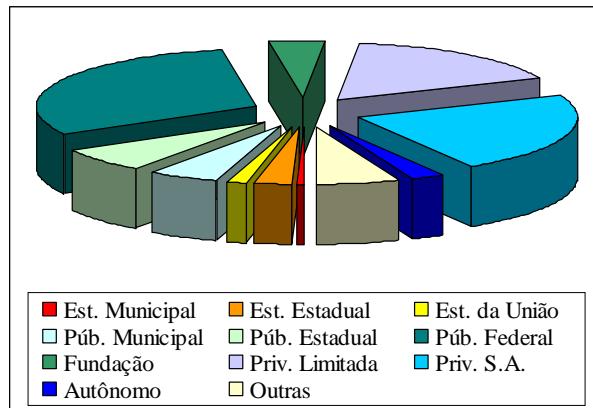


Fig. 2 – Divisão do mercado de trabalho atual, segundo os tipos de organizações.

6.3 Durabilidade da relação trabalhista

Importante na vida do profissional é a segurança do emprego. O profissional que procura por estabilidade vai encontrar nas empresas públicas a maior média de tempo de permanência no emprego: 9,9 anos apurados nas amostras. As empresas privadas e outros tipos de organizações apresentam médias de 5,3 e 5,4 anos, respectivamente.

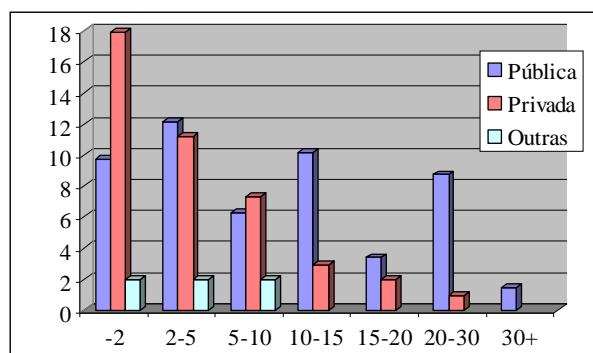


Fig. 3 – Durabilidade do emprego (em classes de tempo) em relação ao tipo da organização, expressa em %.

Com os dados do último levantamento, foi construída a fig. 3. Vê-se que a durabilidade da relação trabalhista é decrescente nas organizações privadas. Já as organizações públicas apresentam-se no gráfico com poucas variações de porcentagens entre as classes de tempo. Depreende-se que a relação trabalhista é

longeva, sendo o único tipo de organização a registrar funcionários com mais de 30 anos de casa.

6.4 Área de atuação profissional, atividades desenvolvidas cotidianamente e campo de atuação da organização

O engenheiro cartógrafo é um profissional que deve estar apto a desempenhar mais de uma atividade dentro do seu ambiente de trabalho, sendo raro o profissional que atua somente em uma área. Dados da última amostra mostram que estes perfazem somente 28,6% do total.

A grande maioria dos profissionais atua em duas ou mais atividades, sendo as mais prováveis relacionadas às áreas administrativa e financeira e técnica e de produção. Estas são as duas áreas de maior atuação dos cartógrafos, e perfazem médias de 31,7% e 39,9%, respectivamente, em relação a todas as amostras. A relação das áreas de atuação é mostrada na figura 4.

As abreviações das classes adm/fin, tec/prod, vcdm e acad/cien correspondem às áreas “administrativa e financeira”, “técnica e de produção”, “vendas, consultoria, divulgação e marketing” e “acadêmica e científica”, respectivamente.

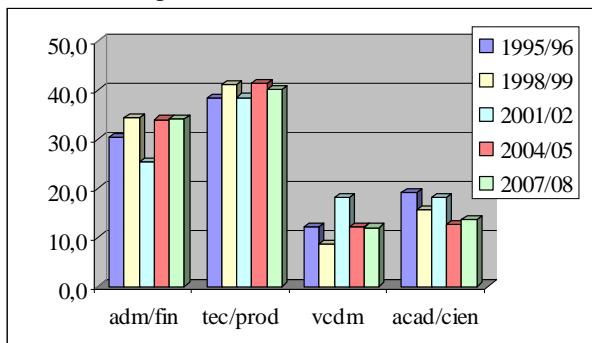


Fig. 4 – Áreas de atuação do cartógrafo em relação a cada levantamento.

As questões que abordam as atividades cotidianas desenvolvidas pelo profissional e o campo de atuação da sua organização passaram a constar nos questionários somente a partir do terceiro levantamento. Observando-se a tabela 8, nota-se que coordenação, produção cartográfica e planejamento são as atividades mais citadas e se revezam nos levantamentos, nas três primeiras posições quando ao número de ocorrência. Estas atividades cotidianas ocorrem, na grande maioria dos casos, em organizações que os empregam ou que contratam projetos, os quais são executados por profissionais autônomos ou independentes. Os campos de atuação das organizações têm em mapeamento fundamental e temático seus principais projetos de trabalho. Meio ambiente também é um campo que merece destaque na pesquisa. Ao que parece, devido à crescente importância dos ideais de preservação ambiental difundidos por todo o mundo, e com as agências de fiscalização ambiental passando a utilizarem os recursos cartográficos para controle e detecção de desastres ambientais, abriu-se um novo campo no mercado para as empresas, o que, pelo que

nos mostra a pesquisa, vem sendo bem explorado.

TABELA 8 – PRINCIPAIS ATIVIDADES COTIDIANAS DESENVOLVIDAS PELOS CARTÓGRAFOS.

2001/02	2004/05	2007/08
Coordenação	Produção Cartográfica	Planejamento
Produção Cartográfica	Coordenação	Coordenação
Planejamento	Planejamento	Produção Cartográfica
Manuseio de Cartas	Treinamento	Levantamento Topográfico
Administração	Consultoria	Banco de Dados

Os cinco campos de atuação das organizações mais citados nos levantamentos encontram-se na tab. 9.

TABELA 9 – CAMPO DE ATUAÇÃO DAS ORGANIZAÇÕES.

2001/02	2004/05	2007/08
Mapeamento Fundamental	Mapeamento Temático	Mapeamento Temático
Meio Ambiente	Planejamento	Meio Ambiente
Planejamento	Meio Ambiente	Mapeamento Fundamental
Computação e Informática	Mapeamento Fundamental	Planejamento
Pesquisa Tecnológica	Limites Territoriais	Gestão Territorial

6.5 Rendimentos

Os rendimentos médios dos profissionais estão próximos a ultrapassar os R\$5.000,00 mensais. A tab. 10 traz as informações referentes aos rendimentos máximos, médios e mínimos de cada levantamento.

TABELA 10 – RENDIMENTOS MÁXIMOS, MÉDIOS E MÍNIMOS APURADOS A CADA LEVANTAMENTO.

Ano	Máximo	Médio	Mínimo
1995/96	R\$ 5.052,63	R\$ 1.960,00	R\$ 541,28
1998/99	R\$ 10.000,00	R\$ 2.480,00	R\$ 500,00
2001/02	R\$ 10.000,00	R\$ 3.600,00	R\$ 720,00
2004/05	R\$ 11.000,00	R\$ 3.840,00	R\$ 855,00
2007/08	R\$ 21.000,00	R\$ 4.900,00	R\$ 500,00

É possível que os rendimentos mínimos sejam referentes a bolsistas e “treineiros” que possam ter respondido a pesquisa, uma vez que tais valores encontram-se muito abaixo do padrão do mercado para profissionais contratados formalmente.

As organizações públicas, atualmente, remuneram melhor seus funcionários em comparação às empresas privadas. A primeira apresenta média de

R\$5.430,00 contra R\$ 4.383,00 da segunda. Mas como, ao contrário das empresas privadas, a maioria dos contratados por empresas públicas possui algum tipo de pós-graduação (78,9%), tal resultado assim pode ser justificado.

Os rendimentos iniciais podem ser observados na tab. 11. Os valores referentes aos levantamentos de 1998/9, 2004/5 e 2007/8 foram obtidos de profissionais que se formaram no mesmo ano da pesquisa, e, portanto, recém empregados. Já os valores correspondentes aos anos de 1995/99 e 2001/02 foram obtidos, um, através da média calculada entre os mínimos e máximos, e outro, apurando rendimentos de profissionais com até três anos de formado

TABELA 11 – RENDIMENTOS INICIAIS MÉDIOS APURADOS A CADA LEVANTAMENTO.

1995/96	R\$ 1.240,00
1998/99	R\$ 1.440,00
2001/02	R\$ 1.950,00
2004/05	R\$ 2.050,00
2007/08	R\$ 1.750,00

Fica evidente, no último levantamento, que houve queda nos salários iniciais dos formandos atuais em relação aos de anos anteriores. Mas deve-se levar em conta que os profissionais que se encontram há mais de um ano no mercado apresentam rendimentos médios aproximados de R\$2.800,00, significando um aumento de 60% sobre o inicial.

Os cotistas de capital representam minoria dentro do mercado. Na média dos levantamentos, com exceção ao levantamento de 2001/02, os cotistas de capital são apenas 9% da amostra.

Uma das maiores preocupações dos cartógrafos é a questão da diminuição da renda média em relação ao salário-mínimo. Há aproximadamente seis anos o rendimento em salários mínimos do profissional caiu de uma média de 19 para 14 salários mínimos, como visto nas duas últimas amostras. A tabela 12 traz os valores. Evidentemente, é preciso acompanhar o tema com dados e informações confiáveis para orientar os profissionais sobre a expectativa de renda futura e suas relações com outras variáveis do cenário econômico e social do país.

TABELA 12 – RENDIMENTOS MÉDIOS EM REAIS E EM SALÁRIOS MÍNIMOS (SM).

Ano	Média	Valor SM	SM
1995/96	R\$ 1.960,00	R\$ 100,00	19,6
1998/99	R\$ 2.480,00	R\$ 130,00	19,1
2001/02	R\$ 3.650,00	R\$ 180,00	19,8
2004/05	R\$ 3.840,00	R\$ 260,00	14,8
2007/08	R\$ 4.900,00	R\$ 350,00	14,0

Finalmente, questionados sobre as condições do mercado de trabalho nos próximos cinco anos, a maioria dos participantes (63,6%) da última pesquisa apresenta-se otimista.

7. SITUAÇÃO DOS EGRESOS DA UFRGS NO MERCADO DE TRABALHO

Os egressos da UFRGS contam cinco participantes na amostra de 2004/05 e seis em 2007/08. São considerados novatos no mercado de trabalho da engenharia cartográfica, onde, na média, os profissionais estão formados há mais de 12 anos. Em razão de a amostra gaúcha ser pequena, evidentemente, as análises e as interpretações são feitas com reservas, aceitando-se, porém, que os resultados podem ser tomados como indicadores temporários.

Preliminarmente, os formados desta instituição apresentam as maiores idades (médias) de formatura, indicando que entraram na universidade com uma idade um pouco mais avançada (tab. 13).

TABELA 13 – IDADE MÉDIA, TEMPO MÉDIO DE FORMADO E IDADE MÉDIA DE FORMATURA.

Amostra	IM	TMF	IMF
2004/05 UFRGS	30,0	1,2	28,8
2007/08 UFRGS	32,8	3,5	29,3
Média Nacional	36,5	12,2	24,3

A resposta à questão do gênero está prejudicada, porque os números são ainda pouco expressivos. Em 2004/05, contaram-se quatro homens e uma mulher (80% de presença masculina, portanto). Mas no levantamento mais recente, a proporção foi de um para uma, 50%, número discrepante da média habitual.

O número de pós-graduados é pequeno, mas crescente. No último levantamento, três participantes apresentavam-se como mestres e todos na área de Sensoriamento Remoto (SR).

Na análise das disciplinas mais citadas houve pequenas alterações, mas que não representam grandes discrepâncias em relação à Cartografia nacional. Os dados podem ser vistos na tabela 14.

TABELA 14 – DISCIPLINAS MAIS CITADAS.

2004/05 UFRGS	2004/05 Nacional	2007/08 UFRGS	2007/08 Nacional
Cart	Cart	Cart	Cart
SIG	Geod	SIG	Topo
PDI	GPS	Geod	Geod
SR	Topo	Ajust	GPS
Geod	SIG	Topo	SIG

Apenas 50% dos formandos permanecem no estado do Rio Grande do Sul. Os outros 50% dividem-se, principalmente, entre os estados das regiões Sul e Sudeste. Há também um participante que se encontra em Brasília (DF).

No levantamento de 2004/05, as porcentagens relacionadas aos tipos de organização ficaram com 60% nas públicas e 40% nas privadas. Em 2007/08, 40% nas

públcas, 40% nas privadas e 20% outras. Assim, na média, são 50% públcas, 40% privadas e 10% outras, aproximando-se das médias das outras amostras.

A área de atuação mais citada foi a técnica e de produção, sendo a função de engenheiro a mais exercida dentre os profissionais. Nenhum informou atuar na área acadêmica e científica. Assim como na amostra nacional, os formandos da UFRGS também atuam em mais de uma área, sendo as áreas técnica e de produção e administrativa e financeira as mais citadas (tab. 15).

TABELA 15 – ÁREA DE ATUAÇÃO DOS PROFISSONAIOS.

Área	2004/05	2007/08
Adm/Fin	3	3
Tec/Prod	3	6
VCDM	1	0
Acad	0	0

A tab. 16 apresenta um comparativo entre as atividades cotidianas mais desenvolvidas pelos egressos da UFRGS e a amostra nacional. Basicamente, diferenciam-se pela presença da atividade de cálculo de ajustamento nas duas amostras com participantes desta IES.

TABELA 16 – TAREFAS DESENVOLVIDAS PELOS PROFISSONAIOS.

2004/05 UFRGS	2004/05 Nacional	2007/08 UFRGS	2007/08 Nacional
Produção Cartogr.	Produção Cartogr.	Planejam.	Planejam.
Planejam.	Coorde- nação	Produção Cartogr.	Coorde- nação
Banco de Dados	Planejam.	Cálculos de Ajustam.	Produção Cartogr.
Cálculos de Ajustam.	Treinamento	Banco de Dados	Levantam. Topográfico
Manuseio de Cartas	Consultoria	Coorde- nação	Banco de Dados

Os rendimentos médios situam-se abaixo da média nacional. Enquanto que na última média nacional os rendimentos foram de R\$4.900,00, para a mesma época os formando da UFRGS não apresentaram rendimentos médios superior há R\$3.500,00. O fato não é alarmante e nem desestimulador para os universitários e profissionais do Sul por causa da jovialidade da amostra. Basta citar que o cartógrafo da UFRGS tem pouca experiência no mercado, sendo poucos os profissionais com cinco ou seis anos de trabalho, enquanto que na amostra nacional encontram-se profissionais com até 30 anos de experiência. E, além disto, há também a questão da pós-graduação, que agrega renda ao profissional, cujos títulos vêm com o tempo. As tabelas 17 e 18 apresentam, respectivamente, os rendimentos máximo, médio e mínimo, nas duas últimas pesquisas e a comparação das médias com a amostra nacional.

TABELA 17 – RENDIMENTOS MÁXIMOS, MÉDIO E MÍNIMOS DOS PROFISSIONAIS FORMADOS PELA UFRGS.

Ano	Max	Méd	Mín
2004/05	R\$ 4.800,00	R\$ 2.690,00	R\$ 850,00
2007/08	R\$ 5.020,00	R\$ 3.486,00	R\$ 1.700,00

TABELA 18 – RENDIMENTOS MÉDIOS DOS FORMANDOS DA UFRGS E DA AMOSTRA NACIONAL.

Ano	Média UFRGS	Média Nacional	SM* UFRGS	SM* Nacional
04/05	R\$ 2.690,00	R\$ 3.840,00	10,3	14,8
07/08	R\$ 3.486,00	R\$ 4.900,00	10,0	14,0

*SM = Salário mínimo.

Retirando-se uma sub-amostra de cada um dos levantamentos com participação dos egressos da UFRGS, contendo somente profissionais formados após 2002 e com título igual ou inferior a mestre, constrói-se a tab. 19.

TABELA 19 – COMPARATIVO DE RENDIMENTOS ENTRE EGESSOS A PARTIR DE 2002.

Ano	UFRGS	Nacional
2004/05	R\$ 2.690,00	R\$ 2.380,00
2007/08	R\$ 3.480,00	R\$ 3.310,00

Da comparação vê-se que os rendimentos dos egressos sulistas são pouco maiores do que a média nacional, quando se comparam os salários dos mais novos no mercado de trabalho. Será uma questão de tempo para que tais profissionais atinjam a experiência média do mercado de trabalho e então se insiram nos padrões das médias nacionais conforme a situação levantada junto aos egressos dos outros cursos.

8. CONCLUSÃO

Conforme visto durante os anos de pesquisa, o mercado de trabalho do engenheiro cartógrafo concentra-se nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, e, principalmente, nesta última. Restringindo a análise à divisão estadual, São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná, respectivamente, têm os maiores números de ocorrências, sugerindo forte presença de organizações do ramo nestes estados.

Após constantes quedas ao longo das pesquisas, a oferta de empregos no setor público está próxima de uma possível estabilização com metade das oportunidades de trabalho do mercado e o setor privado vindo logo atrás.

O setor público apresenta números de maior estabilidade empregatícia do que o setor privado, além de remunerar melhor. Verifica-se que este é o setor com maior presença de pós-graduados, logo, terá mais chance de conquistá-lo o profissional que prolongou seus estudos além do curso de graduação.

A versatilidade do cartógrafo é muito exigida pelo mercado. Dificilmente caberá a este atuar em apenas uma tarefa. A maioria dos profissionais acumula funções dentro das organizações, sendo responsáveis, principalmente, por funções administrativas, técnicas e de produção.

O empreendedorismo na Cartografia ainda é tímido. Os cotistas de capital perfazem menos que 10% da amostra e o número de autônomos (2,4%) também é pequeno.

A ascensão da importância da disciplina Sensoriamento Remoto, a grande ocorrência de citação em campo de atuação em meio ambiente e também o crescente interesse por aperfeiçoamento em tópicos relacionados com estes temas sugerem a possibilidade de concluir sobre a existência de um vínculo entre eles. Sensoriamento Remoto tem-se tornado uma poderosa ferramenta na proteção e fiscalização da natureza e o mercado cartográfico mostra-se atuante neste campo de trabalho.

A queda do poder de compra do cartógrafo foi realmente comprovada no último levantamento, mas o fato parece não ter desanimado os profissionais, que afirmam estarem otimistas em relação ao futuro.

Finalmente, sobre a participação dos egressos da UFRGS, embora ainda em números pequenos de modo a não influenciar significativamente as amostras, percebe-se que os primeiros resultados indicam adequação aos padrões das médias nacionais no que concerne à maioria dos parâmetros avaliados. Quanto aos poucos itens em que há alguma discrepância, deve-se aguardar e acompanhar os próximos levantamentos para extrair conclusões melhor fundamentadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Prof. Marcelo Tomio Matsuoka que os honrou com o convite para participar desta publicação em comemoração aos 10 anos do curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS. Agradecem também a FAPESP por amparar este trabalho com os projetos de pesquisa (07/50199-7) e bolsa de iniciação científica (07/50135-9).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, J. F. C. **Caracterização do mercado de trabalho do engenheiro cartógrafo.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v.47, p.62-76, 1996.

SILVA, J. F. C.; BASSETTO, C. **Diagnóstico profissional do engenheiro cartógrafo.** In: Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente, 2002. **Livro de resumos.** Presidente Prudente: UNESP, p.61, 2002.

_____. **O Engenheiro cartógrafo no mercado de trabalho.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v.54, n.1, p.10-21, 2002.

SILVA, J. F. C.; SANTOS, I. R. O. **Mercado de trabalho da engenharia cartográfica: situação em 2005.** In: Semana da Engenharia Cartográfica, 2005. 41 slides. Disponível em <http://www2.prudente.unesp.br/dcartog/ec/mercado_bdmec.htm>. Acesso 6 de agosto de 2008.

_____. **O panorama da profissão - quinto levantamento do programa de acompanhamento do mercado de trabalho do engenheiro cartógrafo.** In: XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, 2007. **Anais.** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 7p., 2007.

SILVA, J. F. C.; SPINELLI NETO, A. **Atualização do banco de dados do mercado da engenharia cartográfica.** In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Recife, 1999. **Anais.** Recife: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1999.

_____. **Situação do engenheiro cartógrafo no mercado de trabalho.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v.52, p.76-87, 2000.

UMA ABORDAGEM CRÍTICA DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO TOPOGRÁFICO BRASILEIRO

Claudia Robbi Sluter¹, Deise Regina Lazzarotto¹

¹ *Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. {robbi@ufpr.br} {deiselazza@gmail.com}*

RESUMO: A importância fundamental para o país de mapeamento topográfico como uma base de dados cartográficos qualitativamente adequada às atividades de planejamento e ocupação ordenada e responsável do território nacional motivaram a construção deste artigo. As questões aqui apresentadas são voltadas a alguns aspectos do mapeamento topográfico sistemático essenciais para que este alcance um alto grau de eficiência, e consequentemente uma relação ótima de custo/benefício. O conhecimento descrito neste artigo é contextualizado na visão da Cartografia voltada ao uso dos mapas. Inicialmente são apresentados conceitos sobre a cartografia topográfica e o mapeamento sistemático brasileiro. Em seguida são descritos conceitos relacionados à definição de cartas topográficas, convenções cartográficas e atualização cartográfica.

Palavras chaves: mapeamento sistemático, carta topográfica, atualização cartográfica.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento técnico e científico em Cartografia tem tradicionalmente sido construído e desenvolvido em duas linhas: a cartografia topográfica e a cartografia temática. A primeira sendo estudada e realizada nas áreas voltadas a levantamentos terrestres e fotogramétricos; e a segunda nas áreas dedicadas às análises espaciais. Esta divisão foi percebida no desenvolvimento das técnicas de automatização da Cartografia nas décadas de 1960, 1970 e parte da década de 1980, quando ocorre o surgimento e aprimoramento dos programas computacionais para cartografia automatizada, denominados de CAC – Cartografia Apoiada por Computador, e para análises espaciais, denominados de SIG – Sistemas de Informações Geográficas.

Esta separação da Cartografia em Topográfica e Temática pode ser a causa de idéias conceitualmente infundadas, tais como, “a cartografia topográfica é precisa e realizada em escalas médias e grandes e a cartografia temática não é precisa e usualmente os mapas se apresentam em escalas pequenas”, ou que “cartas são produtos da cartografia topográfica” e “mapas são produtos da cartografia temática”. Para esclarecer alguns problemas destas afirmações deve-se entender que todas as questões relacionadas tanto à Cartografia Topográfica quanto à Cartografia Temática fazem parte de uma única ciência que é a Cartografia.

A Cartografia é a ciência que tem como objeto de estudo o raciocínio espacial. O desenvolvimento do raciocínio espacial é que nos permite conhecer o mundo em que vivemos, para a nossa sobrevivência. A sobrevivência exige que possamos nos abrigar, produzir nossos alimentos e nos agasalhar. Estas necessidades

primitivas de nós, seres humanos, é que estimulou a construção do conhecimento do mundo em que vivemos, através de representações gráficas. Os chamados “mapas primitivos”, aqueles criados antes mesmo da invenção da escrita, nos mostram que a sobrevivência depende fortemente do conhecimento do espaço em que vivemos.

A necessidade de conhecer aonde habitamos, de forma que possamos nos localizar, e portanto navegar no meio em que vivemos, estimulou o surgimento e o desenvolvimento da Cartografia. Com a Cartografia nós somos capazes de documentar o conhecimento sobre a superfície terrestre. Este conhecimento engloba todos os elementos, conceitos ou fenômenos cujas localizações em relação à superfície terrestre são conhecidas. O que é, então, Cartografia? Atualmente, em seu documento intitulado “Um Plano Estratégico para a Associação Cartográfica Internacional 2003-2011(ICA, 2003), a ICA apresenta duas definições para Cartografia, as quais foram denominadas de “definição curta” e “definição longa”, apresentadas abaixo, respectivamente:

“A arte, ciência e tecnologia de mapeamento e uso dos mapas.”

“O único meio que proporciona (empregando tanto estruturas superficiais como sub-superficiais) criar e manipular representações visuais (ou virtuais) do geo-espac – mapas – que permitem a exploração, a análise, o conhecimento e a comunicação de informações sobre o espaço.”

A “definição curta” nos mostra que Cartografia é mapeamento, entendendo mapeamento como a geração dos documentos cartográficos. Isto significa que a Cartografia engloba as atividades seqüentes ao levantamento e processamento das informações sobre a superfície terrestre, sendo estas atividades desempenhadas nos trabalhos referentes à Geodésia, à Fotogrametria, ao Sensoriamento Remoto. Esta definição inclui o uso dos mapas também como base para a geração do conhecimento, a Cartografia como ciência, e para o desenvolvimento de métodos e técnicas, a Cartografia como tecnologia. Explicitar o “uso dos mapas” na definição de Cartografia, tanto para o desenvolvimento dos projetos cartográficos, quanto para a proposição e testes de técnicas para apoiar as análises espaciais, denota a visão moderna da Cartografia como ciência, que tem como fundamento a percepção e cognição visual.

A importância de se compreender o uso dos mapas é contemplada na segunda definição, chamada de “definição longa”, no que diz respeito a permitir “a exploração, a análise, o entendimento e a comunicação de informações sobre o espaço”. Neste sentido a distinção entre a Cartografia Topográfica e a Cartografia Temática não está na diferenciação das feições representadas e nos métodos de representação, mas no uso da informação cartográfica, reafirmando que a Cartografia é uma única e grande área do conhecimento. As cartas topográficas são um tipo de mapa de referência geral, nos quais a ênfase no uso da informação está no conhecimento da localização das feições, cujo propósito é a referência espacial, o que permite a orientação e a navegação no espaço.

O uso dos mapas temáticos tem como propósito o conhecimento da variação e do comportamento espacial de fenômenos espaciais. Mapas temáticos podem ser construídos para representar qualquer conhecimento que possa ser georreferenciado. Os conhecimentos representados são relacionados a fatos, objetos ou conceitos, que quando georreferenciados são denominados de feições do mapa. Assim, a construção de mapas temáticos depende diretamente da cartografia topográfica sistemática, que fornece e mantém a base cartográfica do país. Além disso, o mapeamento topográfico é a base para qualquer projeto e implementação da infra-estrutura, bem como para a ocupação e a preservação ambiental, pois deve servir a toda a sociedade (rodovias, barragens, açudes, exploração de recursos minerais, agricultura, etc.)

A compreensão do uso da informação espacial na Cartográfica Topográfica é evidenciado na definição do Mapeamento Sistemático Brasileiro, pelo IBGE (2008), na qual os usuários são descritos em 2 grupos: interno e externo. Os usuários internos são os responsáveis pelas demais funções do IBGE, para as quais são necessárias cartas topográficas. Os usuários externos são aqueles que desempenham outras funções na sociedade, e que também necessitam de cartas topográficas. Entre os usuários externos está a “sociedade em geral” (IBGE, 2008). Aqui encontramos

a resposta do porque cartas topográficas. Esta resposta está na obrigatoriedade do mapeamento sistemático servir a toda a sociedade. Portanto, este mapeamento não é realizado para um único usuário, ou para um grupo de usuários, e consequentemente, não possui uma finalidade específica. Ao contrário, o mapeamento sistemático deve ser de uso geral, ou seja, deve servir a qualquer possível necessidade da sociedade. Então, as cartas do mapeamento sistemático, para serem úteis a qualquer possível atividade desempenhada em nossa sociedade, devem mapear o território nacional com a mais alta acuracidade e precisão possível, dentro dos limites de suas escalas. Os tipos de mapas que atendem a estas exigências são as cartas topográficas.

O relacionamento entre as cartas topográficas do mapeamento sistemático ocorre em função de algumas características que devem ser obrigatoriamente definidas para estas cartas. Estas características são explicitadas no objetivo do Mapeamento Sistemático Brasileiro estabelecido pelo IBGE (2008), sendo este:

“Congrega o conjunto de procedimentos que têm por finalidade a representação do espaço territorial brasileiro, de forma sistemática, por meio de séries de cartas gerais, contínuas, homogêneas e articuladas, elaboradas seletiva e progressivamente, em consonância com as prioridades conjunturais, nas escalas-padrão de 1:1.000.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000.”

De acordo com o objetivo definido pelo IBGE (2008), as características essenciais das cartas topográficas que compõem o mapeamento sistemático devem ser tais que resultem no mapeamento contínuo, homogêneo e articulado do território nacional. A homogeneidade é obtida pela normatização das escalas, da projeção cartográfica, da simbologia (convenções cartográficas) e do padrão de exatidão cartográfico. A continuidade do mapeamento é resultado de atualização cartográfica.

2. CARTAS TOPOGRÁFICAS

As cartas topográficas são assim denominadas porque representam a topografia. Topografia, segundo KEATES (1973) “são todas as feições identificáveis da superfície da Terra, tanto naturais como artificiais, para as quais é possível estabelecer uma posição específica, expressa em relação à superfície terrestre”. As cartas topográficas são de propósito geral, e portanto, devem servir a qualquer usuário, ou seja, a toda a sociedade. Assim, devem ser úteis, aos planejadores, aos engenheiros e até ao público em geral. Sendo assim, a ênfase do mapeamento topográfico deve estar no posicionamento acurado e preciso das feições representadas. Neste aspecto um projeto de cartas topográficas difere de qualquer outro projeto cartográfico.

Num projeto cartográfico temático, as informações a serem representadas, suas classificações,

a escala e a qualidade geométrica (acuracidade e precisão) da representação dependem das necessidades do usuário, as quais definem o uso dos mapas. Portanto, os mapas resultantes de um projeto cartográfico devem servir, e ser adequados, ao desenvolvimento de uma determinada atividade. Por outro lado, as cartas topográficas devem servir a qualquer atividade, e assim, a qualquer possível uso. Por isso, a acuracidade e precisão devem ser compatíveis com a escala de representação.

A representação da topografia, ou seja, do conjunto de “todas as feições identificáveis da superfície terrestre”, o que significa representar “tudo” que vemos, depende da escala da carta. A escala da carta, por sua vez, determina o nível de detalhamento da representação cartográfica, que é realizado pela generalização cartográfica. Uma analogia que pode auxiliar o raciocínio de generalização cartográfica é imaginarmos olhar a paisagem pela janela de um edifício de 2 andares, no topo de um edifício de 15 andares, ou da janela de um avião em vôo, a 5km ou a 10km de altura. Nestas diferentes situações, os diferentes níveis de detalhamento com que vemos o que existe na superfície terrestre é correspondente às representações topográficas em diferentes escalas, e portanto, em diferentes níveis de generalização. Por isso, KEATES (1973) afirma que “O propósito fundamental das cartas topográficas é representar as feições em suas posições corretas (acuracidade e precisão), dentro dos limites da escala”.

Por ser fundamental a toda a sociedade, o mapeamento topográfico é executado de acordo com normas que regularizam o mapeamento sistemático topográfico nacional, incluindo as convenções cartográficas.

3. CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

As Convenções Cartográficas, também denominadas “Normas para Emprego dos Símbolos”, do mapeamento sistemático brasileiro, estão publicadas no Manual Técnico T 34-700 da DSG – Divisão do Serviço Geográfico do Exército (BRASIL, 1998, 2000). De acordo com o Decreto-Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, “as prescrições contidas neste manual são de uso obrigatório por todas as organizações, civis ou militares, que venham a executar, em território nacional, os documentos cartográficos referidos como”:

“A representação dos acidentes naturais e artificiais destinados à confecção de cartas topográficas e similares nas escalas 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000.”

Como as convenções cartográficas são de uso obrigatório, estas devem explicitar quais feições devem ser representadas nas cartas topográficas, ou seja, quais feições compõem o que denominamos de acidentes artificiais e naturais; como estas feições estão agrupadas em classes e subclasses; e para cada feição, a sua definição. Além disso, podemos encontrar, nas

convenções cartográficas, soluções para diferentes situações nas quais a feição ocorre. As feições incluídas em acidentes artificiais são: sistema de transporte, infraestrutura, edificações, limites, pontos de referência e localidades. Como acidentes naturais constam: hidrografia, altimetria e vegetação.

Após a definição e classificação das feições, num projeto cartográfico segue-se a etapa de definição e aplicação da simbologia. A simbologia deve retratar graficamente tanto os aspectos que caracterizam a que conjunto de feições pertence a uma determinada classe, como também as características que individualizam cada feição da classe. Um dos aspectos gráficos que identifica as classes de feições do mapeamento sistemático é a variável visual, tom de cor. Assim temos os “acidentes artificiais” representados em preto e vermelho, a hidrografia em azul, o relevo em sépia e a vegetação em verde. As demais características das feições que compõem cada classe são representadas pelas variáveis visuais, forma, tamanho e luminosidade. Portanto, a representação cartográfica das cartas topográficas é definida segundo os conceitos de projeto cartográfico e linguagem cartográfica, sendo este conhecimento fundamental ao entendimento e a construção deste tipo de mapeamento.

4. ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

A atualização cartográfica é essencial para que o mapeamento sistemático cumpra seus objetivos. Um programa institucional para realizar o mapeamento topográfico nacional está fadado ao insucesso se não houver, conjuntamente, um programa para atualização cartográfica. Cartas topográficas geradas sem a previsão de atualização já estão, no momento que são finalizadas, destinadas a se tornarem documentos históricos, uma vez que o meio é dinâmico, e o mapa é o retrato de uma região num instante de tempo. O instante de tempo retratado no mapa é o momento do levantamento das informações cartográficas, o qual é realizado consideravelmente antes da edição final do mapa.

Para entendermos atualização cartográfica é importante estabelecermos a diferença entre atualização e remapeamento. Na atualização cartográfica os mapas existentes são alterados de acordo com as mudanças ocorridas no meio, ou seja, preserva-se o mapeamento original, e sobre este mapeamento as feições são atualizadas. No processo de atualização cartográfica as alterações no mapa podem ser:

- feições que não mais existem são eliminadas do mapa;
- feições que passam a existir são acrescentadas ao mapa;
- feições cujos atributos mudaram têm sua simbologia alterada.

No remapeamento, ou novo mapeamento, não se considera as mudanças ocorridas na região, pois estas não são acrescentadas aos mapas originais, e sim refaz-se todo o trabalho gerando novos mapas. As condições

do mapeamento que determinam a realização de remapeamento são:

- com o desenvolvimento tecnológico as metodologias e equipamentos atualmente disponíveis proporcionam melhores resultados em relação à época de edição das cartas topográficas atualmente em uso;
- alguns problemas justificam um novo mapeamento, o qual não seria mais oneroso que o trabalho de atualização, considerando o custo/benefício
- novos símbolos foram reprojetados, alterando as convenções cartográficas;
- a precisão das feições atualizadas é pior que a precisão do mapa original, e o remapeamento é necessário para a homogeneização da acuracidade e precisão de todo o mapeamento.

O processo de desatualização das cartas topográficas é contínuo, uma vez que esta retrata o meio num determinado instante de tempo e este meio é dinâmico. Conseqüentemente no processo de atualização novos elementos devem ser adicionados à carta, o que se faz por meio de duas operações principais (VAN ZUYLEN, 1976):

- detecção de mudanças;
- processo de atualização propriamente.

Um programa de atualização cartográfica deve ser planejado, implantado e realizado considerando-se diferentes metodologias, adequadas às diferentes demandas do mapeamento topográfico. A metodologia é composta de diferentes tipos e sistemas de atualização cartográfica, os quais são definidos em função das escalas das cartas, das necessidades de uso do mapeamento, e das características das alterações do meio. Quanto ao tipo, as atualizações podem ser (VAN ZUYLEN, 1976, 1980):

- atualização rápida: é a atualização das feições consideradas importantes, e exige a definição de critérios que determinem o grau de importância;
- atualização parcial: é a atualização de algumas regiões selecionadas, e também exige a definição de critérios para se estabelecer a necessidade de atualização;
- atualização completa: de todos as feições que sofreram alterações.

Os métodos de atualização são diferenciados em relação à quando realizar a atualização, e podem ser:

- atualização cíclica: realizada a intervalos de tempo pré-determinados e, consequentemente, nos períodos entre duas atualizações dos mapas não há edições que contemplam as mudanças das feições;
- atualização seletiva: a realização da atualização é determinada por uma ordem de prioridade que pode estar relacionada à urgência de demanda ou taxa de mudança do meio;
- atualização contínua: neste sistema a carta topográfica é sempre atualizada, pois a qualquer mudança ocorrida esta é imediatamente revisada.

Num programa de atualização os 3 métodos devem ser considerados, conjunta e complementarmente, pois a sua eficiência depende da

escala da carta e das características da região. Parâmetros para orientar um programa deste porte podem ser (PROCTOR e NEWBY, 1988):

- escala básica: determinada na proposição do plano cartográfico municipal, estadual ou nacional, é a maior escala a ser publicada para cada região, e a atualização das cartas nas escalas básicas determina a atualização das escalas derivadas;
- “unidade de mudança”: a definição desta unidade permitirá a quantificação das mudanças, e dependerá da definição de critérios de equivalência, tais como, avaliação da importância da feição no uso do mapeamento topográfico, necessidade de atualização, tempo gasto no levantamento da feição. Estas unidades podem ser lote, trecho de rodovia, ferrovia, oleoduto, linhas de transmissão de energia, áreas de classes da vegetação.
- informações sobre as mudanças no meio: informação sobre a idade e localização das mudanças, além de suas quantificações, são essenciais para o planejamento eficiente dos recursos e para as decisões sobre as técnicas apropriadas para a atualização.

4. CONCLUSÕES

A utilização de dados espaciais tem acompanhado o crescimento econômico e as atividades de planejamento, no entanto, a produção e qualidade destes dados não se encontram em sintonia com o ritmo acelerado em sua demanda. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, os Censos Demográficos de 1980 e 2000 demonstram que nos últimos 20 anos os grandes aglomerados humanos, em especial os centros urbanos, brasileiros têm evidenciado uma alta taxa de crescimento. A ocupação humana de nosso território e a implantação de infra-estrutura para suporte ao desenvolvimento econômico, são efetuadas de forma precária e sem a formalização técnica cadastral adequada. Isto se deve à situação do acervo cartográfico brasileiro que, na maioria das vezes, é desatualizado, insuficiente ou até mesmo inexistente, dificultando as ações de planejamento e administração da ocupação do território.

Os produtos de mapeamento não possuem fins em si mesmos, mas, são necessários, principalmente, no apoio a decisões relativas à ocupação e preservação do meio. É necessário que as informações espaciais estejam isentas de proposições errôneas para viabilizar a eficácia em sua utilização.

Para o pleno desenvolvimento de um país é fundamental o uso amplo e correto dos conhecimentos relacionados ao meio. É oportuno reafirmar que esse conhecimento do meio só é possível através dos mapas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL – Ministério do Exército – Divisão do Serviço Geográfico do Exército (DSG). **MANUAL TÉCNICO T34-700 Convenções Cartográficas (1^a parte)**
Normas para o Emprego de Símbolos, 2^a ed., 1998.

BRASIL – Ministério do Exército – Divisão do Serviço Geográfico do Exército (DSG). MANUAL TÉCNICO Convenções Cartográficas (2ª parte) Catálogo de Símbolos, 2ª ed., 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Mapeamento Topográfico <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_topo_int.shtml?c=1> acesso em setembro de 2008.

ICA – International Cartographic Association A Strategic Plan for the International Cartographic Association 2003-2011, 2003

KEATES, J.S Cartographic Design and Production.
Longman. Nova York. 1988. 2ª ed. 261p.

PROCTOR, D.W. e NEWBY, P.R.T. Revision of Large Scale Maps at the Ordnance Survey. The 16th International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing. Kyoto. 1988. v27(B4), pp.298-307.

VAN ZUYLEN, L. Map Revision. ITC Journal, 1976(3), pp.490-502.

VAN ZUYLEN, L. Map Revision. ITC Journal, 1980(1), pp.130-137.