

REDES ESTADUAIS GPS: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVA FUTURA

ALBERTO LUIS DA SILVA
MARCO AURÉLIO DE ALMEIDA LIMA
SONIA MARIA ALVES COSTA

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Diretoria de Geociências - DGC
Coordenação de Geodésia - CGED
{alberto.luis, marco.almeida, sonia.alves}@ibge.gov.br

RESUMO – Desde 1991, com o estabelecimento do Projeto GPS no então Departamento de Geodésia (hoje Coordenação de Geodésia), o IBGE passou a empregar, exclusivamente o sistema de posicionamento por satélites GPS – *Global Positioning System* – em suas atividades de implantação e densificação da rede planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB. Com essa nova tecnologia, nasceram às denominadas redes estaduais GPS, caracterizadas por um conjunto de marcos geodésicos, tipo pilar de concreto, com dispositivo de centragem forçada em seu topo, distribuídos geograficamente de forma homogênea nos estados. Em 1992 foi implantada a primeira rede estadual GPS, localizada no estado de São Paulo. Atualmente (junho de 2008) existem 17 redes estaduais abrangendo 21 estados brasileiros. Além disso, das redes GPS, seis já passaram por densificações. Esse artigo tem como objetivo, apresentar a situação atual das redes GPS, sua importância para a sociedade e a perspectiva de implantação de novas redes para os próximos anos.

ABSTRACT – Since the establishment of the GPS Project in the Department of Geodesy (today Coordination of Geodesy) in 1991, IBGE uses exclusively GPS for the implementation and densification of the horizontal network of the Brazilian Geodetic System (Sistema Geodésico Brasileiro - SGB). This new technology gave rise to state GPS networks which are characterized by a set of geodetic marks mounted on concrete pillars equipped with forced centering devices and are homogeneously distributed within the states. The first state network was implemented in 1992 in the state of São Paulo. Currently (June 2008), 17 state networks covering 21 Brazilian states exist. Moreover, 6 of these networks have gone through a densification process. This article aims to present the current situation of the GPS networks, their importance for society and the outlook for the coming years.

1 INTRODUÇÃO

O IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – na responsabilidade de gestor do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB é o órgão responsável pela implantação e manutenção das redes geodésicas pertencentes ao SGB.

As redes geodésicas do SGB podem ser classificadas em três tipos: planimétrica, a qual é definida por um conjunto de marcos com coordenadas planimétricas, latitude e longitude de alta precisão; altimétrica, responsável por fornecer altitude ortométrica de alta precisão para os marcos definidores dessa rede; e gravimétrica a qual fornece informações gravimétricas.

A rede planimétrica (figura 1), objeto de estudo desse artigo, começou a ser implantada em 1944. Nessa época, iniciava-se o estabelecimento sistemático do SGB

que se deu através da materialização de um conjunto de pontos (pilares, marcos ou chapas) situados sobre a superfície terrestre onde eram obtidos latitude e longitude através do método de triangulação e a densificação pelo método de poligonização. As altitudes, de precisão inferior às precisões das coordenadas planimétricas, eram obtidas através do nivelamento trigonométrico. Tais métodos, denominados de "clássicos", foram aplicados até meados da década de 90 e os equipamentos utilizados eram os teodolitos e medidores eletrônicos de distâncias.

Concomitantemente, na década de 70, iniciaram-se as operações de rastreamento de satélites artificiais do sistema *Navy Navigation Satellite System* (NNSS) da Marinha Americana, também conhecido por sistema TRANSIT (Monico, 2000). Tal metodologia foi inicialmente aplicada no estabelecimento de estações geodésicas na Amazônia, onde os métodos clássicos eram impraticáveis devido às dificuldades impostas pelas características da

região. Iniciava-se uma nova era no estabelecimento de redes geodésicas, onde passaram a ser obtidas coordenadas tridimensionais através de um único método.

Com o desenvolvimento das tecnologias de posicionamento por satélites artificiais, o IBGE através do Departamento de Geodésia passou a utilizar desde 1991 o Sistema de Posicionamento Global - GPS, ao adquirir 4 receptores, abandonando assim, a determinação das coordenadas planimétricas das estações geodésicas pelos métodos clássicos (COSTA, LIMA; 2005). Dentro desse conceito, surgiram as redes estaduais GPS.

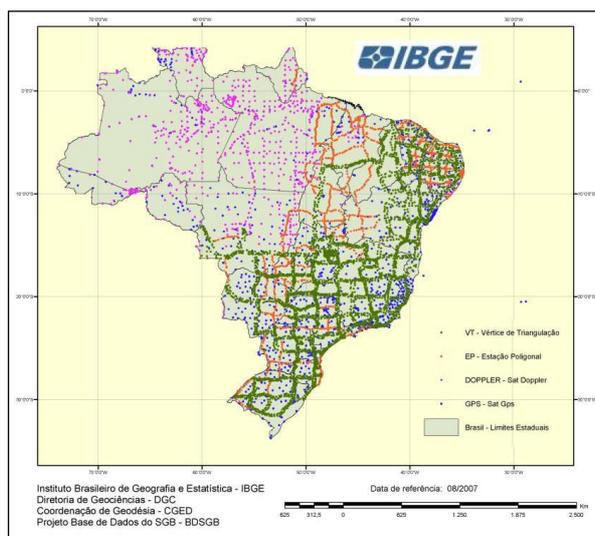


Figura 1 – Rede Planimétrica Brasileira (agosto de 2007).

As redes estaduais GPS procuram suprir as demandas atuais da sociedade, que são cada vez mais ampliadas devido à utilização das técnicas de posicionamento por satélites artificiais. Como exemplo pode-se citar a Lei 10.267/01, estabelecida pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, visando georreferenciar todas as propriedades rurais existentes no país, tendo como referência o SGB. Além do INCRA, os Institutos de Terras dos estados utilizam as informações das redes estaduais GPS em seus trabalhos.

Uma rede estadual GPS consiste em uma estrutura geodésica composta por marcos de concreto tipo pilar nos quais são cravados dispositivos de centragem forçada no seu topo, e são distribuídos de forma homogênea, visando atender boa parte dos trabalhos de georeferenciamento nos estados. Grande parte dos estados brasileiros já possui uma estrutura geodésica bem definida. Entretanto, ainda há alguns estados que não possuem uma estrutura geodésica capaz de assegurar aos usuários de informações espaciais, coordenadas de marcos com boa qualidade e integrados ao SGB.

A implantação de várias das redes estaduais GPS contaram com a colaboração de outras instituições, na

forma de parceria, tornando possível a implantação dessas redes em seus respectivos estados.

2 REDES ESTADUAIS GPS – SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVA FUTURA

Iniciada em 1992, a implantação das redes estaduais GPS passou a ser a principal forma de densificação da rede planimétrica brasileira. Desde seu início até os dias atuais, foram implantadas 730 estações geodésicas distribuídas em 17 redes estaduais e 6 densificações, abrangendo 21 estados brasileiros. A tabela 1 apresenta todas as redes estaduais GPS e suas densificações, a quantidade de marcos implantados em cada uma, a data de sua medição e as instituições parceiras.

Tabela 1 – Redes Estaduais GPS

Rede Estadual GPS	Qtd	Data	Parceria
Rede AC	17	2005	ITERACRE
Rede BA	50	2003	SEI
Rede CE	44	2003/2004	-
Rede ES	08	1999	ESCELSA
Rede GO	50	2007	INCRA
Rede MG	28	2001	IGA/UFV/USP
Rede MS*	81	2004	-
Rede MT	56	2000	INTERMAT
Rede NE	49	2005	INCRA
Rede PA	51	2006	INCRA
Rede PE*	14	2005	INCRA
Rede PR	19	1994/1995	SEMA/IAP
Rede RJ	08	1999	DER-RJ
Rede RO*	18	2006	-
Rede RS	49	2002	SAA/RS
Rede SC	15	1998	SDE
Rede SP	23	1992/1994	ITESP/USP
Dens. Rede ES	49	2005	INCRA, CREA-ES e CEFETES
Dens. Rede NE/AL	06	2007	INCRA
Dens. Rede PR	33	2007	ITCG
Dens. Rede RS	12	2006	SAA/RS
Dens. Rede SC	23	2002/2005	SDE
Dens. Rede SP*	27	2001/2002	ITESP

* homologação de marcos

Dentre todas as redes estaduais apresentadas na tabela 1, em quatro não houve participação do IBGE nas atividades de campo (reconhecimento, construção e medição), cabendo somente ao IBGE o processamento e ajustamento e inclusão no Banco de Dados Geodésicos – BDG. São elas: redes MS, PE, RO e densificação SP. A primeira foi realizada pelo exército brasileiro, a segunda e terceira, foi um trabalho realizado por empresas particulares contratadas pelos governos dos estados de Pernambuco e Rondônia respectivamente e a densificação em São Paulo foi realizada pelo instituto de terras do estado - ITESP. Vale ressaltar que nesses quatro casos, apesar de estarem sendo consideradas redes estaduais GPS, elas estão inseridas dentro de um processo de homologação de marcos, ficando sob responsabilidade de seus idealizadores.

A rede NE apesar de estar inserida em um contexto de rede estadual GPS, ela abrange cinco estados: Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte (Burity et al., 2007). Implantada em 2005 ela foi ajustada juntamente com a rede PE que também foi implantada em 2005, só que apenas homologada pelo IBGE. Em 2007 a rede NE foi densificada em Alagoas, com a implantação de mais 6 marcos geodésicos.

A densificação das redes estaduais GPS, surgiu da necessidade de diminuir os espaços entre os marcos geodésicos implantados, aumentando assim a distribuição espacial das redes, e conseqüentemente o número de estações geodésicas disponíveis para o usuário de informações espaciais, possibilitando também, o uso de receptores de uma frequência, não havendo para alguns casos, a necessidade de transporte de coordenadas. A figura 2 apresenta a distribuição atual (junho de 2008) das redes estaduais GPS e suas densificações.

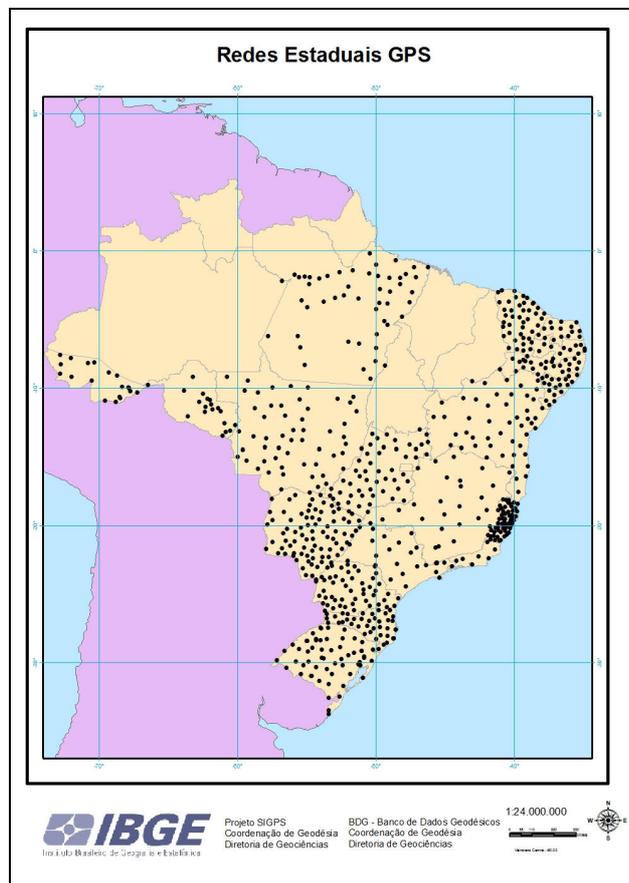


Figura 2 – Redes Estaduais GPS (junho de 2008).

Atualmente, já foram realizadas seis densificações das redes estaduais GPS, sendo que apenas as densificações das redes GPS do Espírito Santo e de Santa Catarina não mantiveram os mesmos padrões de marco da rede principal. A densificação da rede GPS do ES é composta por marcos tipo tronco piramidal com chapa identificadora cravada no seu topo. Na densificação da rede GPS em SC foram utilizados dispositivos de

centragem forçada adaptados em bases de granito, que por sua vez, eram fixados sobre caixas d'água. Em ambos os casos, a estabilidade dos marcos são inferiores às da rede GPS.

Além das redes estaduais GPS apresentadas na figura 2, já foram construídos 40 marcos tipo pilar no estado do Maranhão (figura 3), cuja etapa de medição, está programada para ser realizada ainda em 2008. Assim, até o final do ano, a região nordeste terá mais uma rede estadual GPS.

Está programado para ser realizado também em 2008, a construção e medição da rede GPS do Tocantins, que será composta por 40 estações geodésicas. Esse projeto já está em fase de planejamento, ficando apenas no aguardo do fechamento do convênio entre o IBGE e o INCRA para 2008.

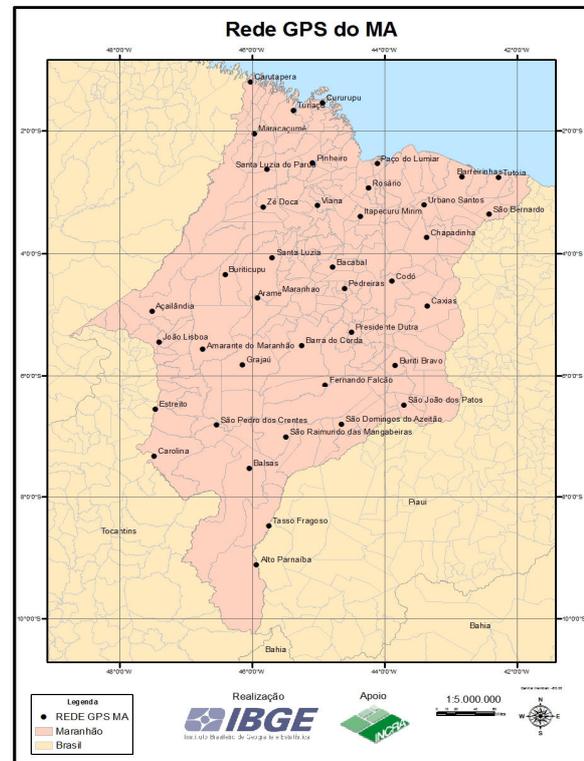


Figura 3 – Rede GPS do Maranhão (construção).

3 MATERIALIZAÇÃO DAS REDES ESTADUAIS GPS

Após a conclusão das etapas de planejamento e reconhecimento, os marcos geodésicos que compõem as redes estaduais GPS, são em sua grande maioria, representados no terreno, através de pilares de concreto medindo entre 1 e 1,5 metros de altura, com dispositivos de centragem forçada em seu topo (figura 4).

Além dos marcos principais, a maioria das redes estaduais GPS possuem marcos de azimute, os quais são representados no terreno através de marcos de concreto na forma de tronco piramidal. Estes marcos tem como

objetivo dar suporte aos trabalhos de topografia clássica para aqueles usuários e profissionais que possuem equipamentos óticos-mecânicos, necessitando de uma orientação de partida para a execução de seus trabalhos. No descritivo da estação geodésica principal, disponível no BDG, é informada a distância e o azimute para o marco de azimute.

A identificação dos marcos de azimute está associada à identificação do marco principal com os caracteres AZ na frente informando que são marcos de azimutes. Estas informações estão cravadas na chapa. Além da identificação do marcos de azimute, está estampada na chapa uma seta orientada para a estação principal (figuras 5 e 6).



Figura 4 – Marco da rede GPS do Pará (SAT93857).



Figura 5 – Identificação do marco principal.



Figura 6 – Identificação do marco de azimute.

4 METODOLOGIA

Desde a identificação da necessidade de implantação de uma rede estadual GPS, até a sua finalização é preciso passar por cinco etapas: planejamento, reconhecimento, construção (ou materialização), medição e processamento/ajustamento das observações GPS. No planejamento são identificadas as principais características da rede, como por exemplo, quantidade de marcos, locais/municípios para a implantação desses marcos, tempo de rastreamento das observações GPS, logísticas das equipes de campo, tempo para a execução das atividades de campo, definição dos custos, entre outros.

Após a identificação, no planejamento, de todas as características da rede, parte-se para a materialização ou construção desses marcos no campo. Os locais escolhidos para a implantação dos marcos são preferencialmente públicos, com boa visibilidade para os satélites, de fácil acesso e boa preservação da estrutura física.

Definido a implantação dos marcos, parte-se para a medição destes, que é realizada com receptores GPS de dupla-freqüência, e dividido em sessões de rastreamento que variam de campanha para campanha. As medições são realizadas de forma simultânea entre as equipes de campo, definindo assim as linhas de base.

O processamento e ajustamento das observações GPS, assim como a divulgação das coordenadas no BDG, compõem a última etapa da implantação de uma rede estadual GPS.

5 PROCESSAMENTO E AJUSTAMENTO DE REDES ESTADUAIS GPS

Após a realização das medições em campo, os dados coletados por cada equipe são enviados para a Coordenação de Geodésia – CGED lotada no Rio de Janeiro, para análise da qualidade, processamento das observações GPS e ajustamento das linhas de base processadas nas diferentes sessões.

A avaliação da qualidade dos dados é realizada antes do processamento das observações, através do programa TEQC – *Translation, Editing and Quality Control*, desenvolvido pela *University Navstar Consortium* – UNAVCO (facility.unavco.org). Os parâmetros avaliados são:

- Quantitativo das observações GPS coletadas em cada sessão;
- Perdas de ciclo ocorridas nas observações;
- Avaliação da relação observações rastreadas e as observações perdidas;
- Multicaminhamento ocorrido nas portadoras L1 e L2 (MP1 e MP2 respectivamente);
- Avaliação da qualidade das observações para cada satélite envolvido, através do gráfico de rastreamento;
- Número total de satélites rastreados em cada sessão;

- Cálculo das coordenadas aproximadas obtidas através das observações em código ;
- Precisão aproximada do relógio do receptor;

O programa utilizado no processamento das observações GPS é o Bernese 5.0 desenvolvido pela *University of Bern* na Suíça (Hugentobler U. et al. 2006). Todas as estações presentes em uma sessão são processadas no modo relativo adotando-se sempre uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS - RBMC como referência, ou seja, as coordenadas da estação da RBMC são fixadas. Pelo menos uma estação da RBMC está presente em todas as sessões.

No processamento são utilizadas efemérides precisas e respectivos parâmetros de orientação terrestre, disponibilizados pelo IGS – *International GNSS Service* através do seguinte endereço eletrônico:

http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html

As observações são corrigidas da variação do centro de fase absoluto, informações estas fornecidas pelo IGS e disponíveis no arquivo ANTEX, maiores informações podem ser obtidas no seguinte endereço: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs/station/general/igs05.atx>.

Após a conclusão do processamento de todas as sessões, é iniciada a etapa de integração da rede estadual GPS ao SGB através do ajustamento das observações pelo método paramétrico. As observações ajustadas são as linhas de base processadas em cada sessão e sua respectiva matriz variância-covariância (MVC). O programa GHOST – *Geodetic adjustment using Helmert blocking Of Space and Terrestrial data*, desenvolvido pelo *Geodetic Survey Division (GSD) do Natural Resources Canada (NRCAN)* é utilizado no ajustamento.

Com o objetivo de analisar a precisão interna da rede, é realizado um ajustamento preliminar fixando as coordenadas de somente uma estação da RBMC (ajustamento de injeção mínima). Na etapa seguinte a variância a posteriori é introduzida como fator multiplicador da MVC. Este procedimento tem como objetivo fornecer resultados mais realísticos para a estimativa de precisão das coordenadas ajustadas (desvios padrão). Finalmente, para obter os dois resultados da rede, um em SAD69 e o outro em SIRGAS2000, são realizados dois ajustamentos e em cada um deles as coordenadas das estações da RBMC são injuncionadas nos seus respectivos desvios padrão.

6 RESULTADOS

Após todos os procedimentos de campo, avaliação dos dados observados, processamento e ajustamento, os resultados são apresentados através dos relatórios de estação geodésica. Esses relatórios são os resultados oficiais e podem ser acessados através do BDG, disponível no site do IBGE, no seguinte endereço: <http://mapas.ibge.gov.br/website/geodesia2/>. Nele são apresentadas as coordenadas geográficas e UTM da

estação geodésica em dois sistemas de referência diferentes: SIRGAS2000 e SAD69. Além disso, há dois tipos de altitudes apresentadas no relatório, a geométrica e a ortométrica. A altitude geométrica é aquela referida ao elipsóide de referência, enquanto que a altitude ortométrica, referida ao geóide. Quando esta última não é determinada por nivelamento geométrico, faz-se necessário conhecer o valor da ondulação geoidal. O IBGE disponibiliza na internet o programa MAPGEO2004, com o qual pode ser obtido o valor da ondulação geoidal para uma determinada posição, através de um sistema de interpolação (Lobianco et al., 2005).

Além das coordenadas, o relatório de estação geodésica apresenta a localização, descritivo, itinerário e foto do marco. Além disso, caso esse marco tenha um marco de azimute associado a ele, essa informação também constará em seu relatório (figura 7).

Apesar de terem sido determinadas de forma precisa, as coordenadas dos marcos geodésicos não devem ser consideradas imutáveis ao longo do tempo. Com a definição de um novo sistema, ou mesmo a atualização do sistema atual, uma nova coordenada pode ser definida para as estações. Portanto, recomenda-se que o usuário realize consultas freqüentes ao BDG, principalmente antes de iniciar as suas atividades de campo, mantendo-se assim atualizado.

Estação Visada	Azimute	Tipo	Distancia (m)
AZ93846	43° 48' 54,1242"	Geodésico	788,361

Figura 7 – Relatório de Estação Geodésica.

7 PROBLEMAS ENCONTRADOS

O principal problema encontrado na rede estadual GPS e geralmente em redes geodésicas, é quanto à manutenção da integridade física desses marcos no campo. Apesar dos marcos geodésicos das redes estaduais

GPS terem uma configuração mais robusta, é comum encontrar marcos completamente ou parcialmente destruídos (figura 8).

É comum que os marcos geodésicos das redes GPS sejam construídos em locais previamente seguros e de fácil acesso, como instituições públicas, escolas, praças, garantindo assim, uma maior segurança na integridade física do marco. Entretanto, apesar de todos os cuidados tomados, alguns marcos ainda são destruídos.



Figura 8 – Marco destruído (SAT93157)

Informações das condições físicas dos marcos devem ser encaminhadas para o IBGE, para que o BDG possa ser atualizado, assim como as futuras medições nos locais destruídos possam ser planejadas, para suprir as demandas dos usuários naquela região.

8 CONCLUSÃO

A implantação e manutenção de uma rede estadual GPS é de extrema importância para o desenvolvimento de um município, estado ou país. Ela fornece uma estrutura posicional precisa, capaz de apoiar a praticamente todas as atividades que utilizam tais informações, principalmente àquelas relacionadas à engenharia e regularização fundiária. Além disso, visa estabelecer uma estrutura referida aos atuais padrões de precisão do Sistema Geodésico Brasileiro com a adoção de um sistema de referência geocêntrico, o SIRGAS2000, dando suporte para que todos os trabalhos sejam referidos a esse sistema.

A parceria firmada entre o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e as demais instituições são de fundamental importância para que os trabalhos de implantação e manutenção das redes estaduais GPS possam ser realizada de forma satisfatória.

No futuro, esperamos que todos os estados brasileiros tenham uma rede GPS bem distribuída, em boas condições de uso. É importante, que haja uma verificação da realidade física dos marcos, mantendo o banco de dados geodésicos atualizados.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem às Gerências de Cartografia e Geodésia do IBGE localizadas nos estados do Pará, Ceará, Bahia, Santa Catarina, Goiás e no Distrito Federal, por todo o apoio na implantação das redes estaduais GPS. A todos os parceiros do IBGE pelo apoio e participação nas atividades.

REFERÊNCIAS

BURITY, E.F.; ANDRADE, E.D.V.; LINS, H.B.; RIBAS JÚNIOR, N.S.; MELO JÚNIOR, J.C.: **Rede GPS Nordeste: Planejamento, Implantação e Processamento**, Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, 2007.

COSTA, S.M.A.; LIMA, M.A.A.: **Ajustamento da Rede Planimétrica Brasileira em SIRGAS2000**. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – IV CBCG, Curitiba, 2005.

HUGENTOBLE, U. et al.; **Bernese GPS Software Version 5.0**. Astronomical Institute University of Berne, Berne, 2006.

LEI 10267/2001 – **Lei Federal Nº 10.267, de 28 de agosto de 2001**, Lei de georeferenciamento de imóveis rurais.

LOBIANCO, M.C.B.; BLITZKOW, D.; MATOS, A.C.O.C.: **O Novo Modelo Geoidal para o Brasil**, IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – IV CBCG, Curitiba, 2005.

MONICO, J.F.G.: **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. Ed. Da Unesp, São Paulo, 2000.

<http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>
(acessado em 26/06/2008);

<http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs05.atx>
(acessado em 26/06/2008);

<http://mapas.ibge.gov.br/website/geodesia2/> (acessado em 26/06/2008);

<http://facility.unavco.org/software/teqc/tutorial.html>
(acessado em 26/06/2008);