

INTEGRAÇÃO DAS REDES DE MONITORAMENTO CONTÍNUO: UMA NECESSIDADE?

Comissão Técnica II – Agrimensura, Geodésia, Astronomia e Topografia

Kátia Duarte Pereira
IBGE/Departamento de Geodésia
Av. Brasil 15.671, Rio de Janeiro
Tel. 21 – 2514 4929 Fax: 21 – 2481 2747
katiaduarte@ibge.gov.br

Leonardo Castro de Oliveira
IME/ Departamento de Eng. Cartográfica
Praça General Tibúrcio 80, Rio de Janeiro
Tel. 21 – 2546 7063 Fax: 21 – 2546 7069
leonardo@aquarius.ime.eb.br

RESUMO

Com o advento da Geodésia à Satélite, e principalmente com o aparecimento do *Global Positioning System* – GPS as redes geodésicas passaram por profunda transformação. Se até a década de 80 era necessário a ocupação de um de seus marcos para referenciar um levantamento, os anos 90 representaram independência da rede, pois com o aparecimento e desenvolvimento de redes ativas, também denominadas de monitoramento contínuo, o usuário não mais necessita ocupar os marcos já existentes para referenciar seu trabalho. Porém esta nova componente exige que cuidados sejam tomados, particularmente no que se relaciona ao referencial empregado e a precisão das coordenadas.

No Brasil existem diferentes redes e estações de monitoramento, estabelecidas e operadas por instituições públicas e particulares. Entretanto, na maior parte dos casos não há uma ligação entre elas e o Sistema Geodésico Brasileiro – SGB.

Considerando o contexto, este trabalho tem por objetivo identificar algumas das principais redes e estações de monitoramento em operação no país, e, ao mesmo tempo, apresentar proposta para sua integração ao SGB.

ABSTRACT

The emersion of *Global Positioning System* – GPS, the geodetic network passed by ample transformation. If 80 decade was necessary to occupy the station. In the 90 decade was not. With the network for continuous monitoring of GPS, the usuary do not necessary to occupy the station, because the network that permanently track the satellites signals. :But this situation have problems: in the precision of coordinates and the geodetic referencial.

In Brazil exist very network for continuous monitoring GPS – public and private, but they not integrated of Geodetic Brazilian Syatem – SGB.

The objective of this work are identify this networks and propused your integration of SGB.

INTRODUÇÃO

Uma das mais tradicionais atividades da Geodésia é a implantação de redes geodésicas que, indiretamente, proporcionam informações sobre a forma da Terra. Estas redes geodésicas são formadas por estações materializadas no terreno, através de marcos de concreto, chapas cravadas, pilares ou qualquer outro tipo de monumentalização, cuja posição é determinada de acordo com objetivos definidos, segundo os métodos e especificações vigentes quando de sua medição. Além de fornecer informações sobre a forma da Terra, as redes geodésicas tem outra função importante: servir de referência posicional para qualquer atividade onde este tipo de informação seja pertinente, como por exemplo; no apoio à Cartografia, projetos de estradas e demarcação de terras.

Pode-se afirmar, portanto que as redes geodésicas caracterizam um território. Assim sendo, sua implantação, manutenção e densificação é normalmente, é uma atribuição governamental.

Com o advento da Geodésia Espacial (Geodésia à Satélite), e principalmente com o aparecimento do GPS, as redes geodésicas passaram por profunda transformação. Se até a década de 80 as redes eram passivas, ou seja, era necessário a ocupação de um de seus marcos para referenciar um levantamento, os anos 90 representaram o fim desta necessidade, com o aparecimento e desenvolvimento de redes ativas, também denominadas de monitoramento contínuo.

No Brasil existem diferentes redes de monitoramento *Global Positioning System* – GPS, estabelecidas e operadas por instituições públicas e particulares. Entretanto, na maior parte dos casos não há como garantir sua integração ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB.

Considerando este contexto, o objetivo deste trabalho é identificar algumas das principais redes de monitoramento em operação no país, e, ao mesmo tempo, apresentar proposta para sua integração ao SGB.

Através da integração destas redes ao SGB é possível garantir:

- a compatibilidade entre todos os tipos de levantamentos posicionais realizados no território brasileiro;
- a qualidade das coordenadas iniciais empregadas nos levantamentos.

REDES PASSIVAS

As redes geodésicas implantadas segundo os métodos clássicos e a satélite (Doppler ou GPS), apresentam como principal característica, o seu caráter “passivo”, uma vez que é necessário ocupar um o mais marcos constituintes para se referenciar os novos levantamentos à rede existente (FORTES, 1997). Outra característica destas redes é a falta de homogeneidade, pois geralmente foram estabelecidas através do emprego de diferentes metodologias, representado, de certa forma, a evolução histórica dos métodos e equipamentos utilizados ao longo do tempo.

A rede brasileira reflete esta situação. Segundo OLIVEIRA (1998), a evolução histórica do estabelecimento da Rede Planimétrica Brasileira (RPB), pode ser assim resumida: as primeiras estações foram implantadas através da medição de ângulos horizontais e verticais, efetuados com instrumentos óticos (teodolitos) caracterizando o método de triangulação. Posteriormente, empregaram-se os métodos astronômicos para controle de orientação que requeriam, ainda, a medição de distâncias (bases) efetuadas com fita de invar, para permitir a determinação linear. O aparecimento dos medidores eletrônicos de distâncias (distanciômetros) permitiu o surgimento da trilateração, que em conjunto com o emprego de teodolitos, fez surgir a poligonização eletrônica. No final da década de 70, surgiram as técnicas baseadas na observação de satélites artificiais. Inicialmente, empregou-se o sistema TRANSIT ou NNSS (*Navy Navigation Satellite System*) e depois o *Global Positioning System* – GPS. Estes três métodos, clássicos e de satélites artificiais são responsáveis pela determinação planimétrica das redes geodésicas. A componente altimétrica da rede contínua, até hoje, a ser determinada pelo nivelamento geométrico, ou em alguns casos, pelo nivelamento trigonométrico.

Além da diversidade de metodologias no seu estabelecimento, a RPB foi constituída oficialmente, por dois referencias e três materializações, cada qual a seu tempo, e que foram empregados durante sua densificação. Inicialmente a rede estava referida ao Sistema Córrego Alegre, que perdurou até 1977, quando este sistema foi substituído pelo SAD 69. Em 1996, quando do reajustamento global, toda a rede continuou a estar referida ao SAD 69, porém na realização 1996 (COSTA, 1999).

REDES ATIVAS

A utilização da tecnologia GPS provocou uma verdadeira revolução nesta última década, nas atividades ligadas a navegação e posicionamento. Os trabalhos geodésicos e topográficos, que antes ressentiam-se de todas as dificuldades, perigos e limitações das metodologias clássicas de levantamento, passaram a ser realizadas de forma mais rápida, precisa e econômica. Tais vantagens vêm aumentando cada vez mais, a medida em que os equipamentos, os métodos de observação e as técnicas de processamento evoluem, enquanto que os custos baixaram. Este fato tornou necessário redefinir a componente planimétrica da rede geodésica, dotando a estação geodésica de um caráter “ativo”. Segundo esta nova conceituação, associa-se a uma estação geodésica de referência, além dos dados característicos disponíveis em uma estação convencional (coordenadas de alta precisão e descritivos de localização), as observações GPS coletadas 24 horas por dia, todos os dias do ano. Com a possibilidade de obter alta precisão relativa, o conceito de rede “ativa” começa a ter validade, onde, de maneira simplificada, os usuários não necessitam ocupar as estações da rede para iniciar o transporte de coordenadas geodésicas, só é necessário ocupar as estações a serem determinadas pois a estação de “partida” já se encontra ocupada permanentemente coletando dados. Desta forma, conforme é destacado por FORTES (1997) “*não é mais necessário ocupar as referidas estações para conectar às mesmas, novos levantamentos realizados com GPS, uma vez que as observações coletadas na estação de referência estarão disponíveis aos usuários que buscam o posicionamento relativo*”.

Enquanto que nos anos 80, o conceito que norteou a aplicação do GPS na Geodésia foi a instalação de umas poucas estações permanentes, para contribuir com eventuais campanhas regionais; os anos 90 marcaram o aparecimento e rápida proliferação das redes de monitoramento contínuo. Diversos fatores alteraram esta concepção, tais como:

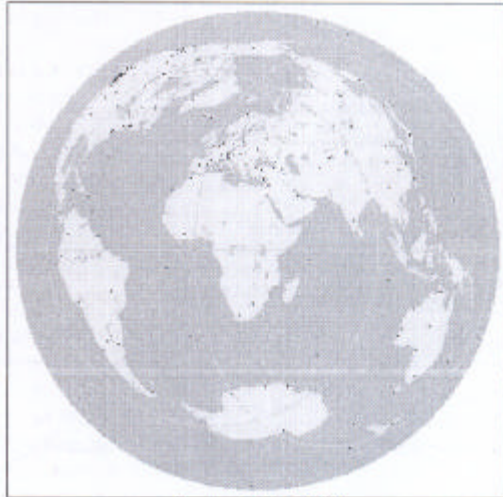
- os custos decrescentes das campanhas;
- os custos decrescentes dos receptores;
- expansão da Internet;
- possibilidade de prever, antecipadamente, alguns fenômenos naturais.

Em 1991, quatro eventos destacaram a importância que o GPS assumiria:

- ◆ a realização da *First GPS IERS and Geodynamycs Experiment 1991 – GIG91* que durou três semanas e contou com a instalação de mais de 100 estações ao redor do mundo;
- ◆ a instalação de cinco estações permanentes de monitoramento GPS com finalidade geodésica na Califórnia Meridional (*Permanent GPS Geodetic Array – PGGA*);
- ◆ a operacionalização de uma rede mundial de monitoramento permanente do GPS em consequência do GIG’91, deu-se o início da Rede IGS;
- ◆ o advento de *workstations* de alta velocidade, que proporcionaram o desenvolvimento de programas de análises de grandes volumes de dados.

A operacionalização da Rede IGS teve início em dezembro de 1991 e teve por objetivo avaliar o serviço operacional contínuo de forma a prover dados, órbitas e parâmetros geodésicos globais diários para o GPS. Em junho de 1992, mais de 25 estações permanentes espalhadas em todo o mundo estavam em operação, contando com sete centros de processamento, e empregado seis diferentes sistemas para análise do enorme fluxo de dados gerados diariamente (SEEBER, 1993).

No final dos anos 90, a Rede IGS era composta por mais de 100 estações, conforme pode ser verificado no esquema apresentado pela FIG.1.



Fonte: IGS, 2000
FIG. 1 - Esquema da Rede IGS

Dessa forma, o PGGGA na Califórnia Meridional foi densificado para a rede *Southern California Integrated GPS Network* (SCIGN), congregando cerca de 30 estações, tendo planos de expandi-la para 250 nos próximos anos. O Japão está instalando duas redes que somam mais de 940 estações, enquanto a Austrália possui 15 estações, que constituem a *Australian Regional GPS Network* (ARGN), incluindo 5 na Antártica. Podem ser citadas ainda as redes existentes no Canadá (*Canadian Spatial Reference System* – CSRS), Dinamarca, França, Grécia, Suíça, Suécia, Polónia e Noruega. (SEEBER, 1993).

Na América do Sul, diferentes redes de monitoramento também estão sendo estabelecidas. A Argentina, o Chile e o Uruguai desenvolvem estudos para a sua implantação. No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, iniciou em 1996 o estabelecimento da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS – RBMC.

De maneira a ter-se uma homogeneidade nos levantamentos baseados nestas redes, é necessário afetar uma integração entre elas e a componente ativa do SGB, a RBMC, de maneira que sejam gerados resultados mais preciosos para suas coordenadas.

REDES EXISTENTES NO BRASIL

Desde 1986, diversos órgãos e empresas do setor público e privado empenham-se em estabelecer redes de monitoramento, de maneira a atender suas necessidades de posicionamento. Além da RBMC também podem ser destacadas no Brasil, as redes de monitoramento do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, da Marinha do Brasil e das empresas Santiago & Cintra, SIGHT e Manfra.

Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS – RBMC

Seguindo a tendência mundial do estabelecimento de redes permanentes, o IBGE, através de seu Departamento de Geodésia (DEGED), e em colaboração com a do Fundo Nacional de Meio Ambiente (FNMA) e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), estabeleceu, em 1996, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), que recobre grande parte do território brasileiro. As estações da RBMC apresentam a seguinte configuração:

- ◆ Receptores de dupla frequência, armazenam, continuamente, observações de código e fase da onda portadora;
- ◆ Estação: pilar estável dotado de um pino com dispositivo de centragem forçada;
- ◆ Antena *Choke Ring* para a minimizar os efeitos de multicaminhamento;
- ◆ Micro Computador PC, responsável pelo controle e operação da estação;
- ◆ Sistemas diversos de fornecimento de energia;
- ◆ Sistema de comunicação para controle das estações e transferência dos arquivos dados.

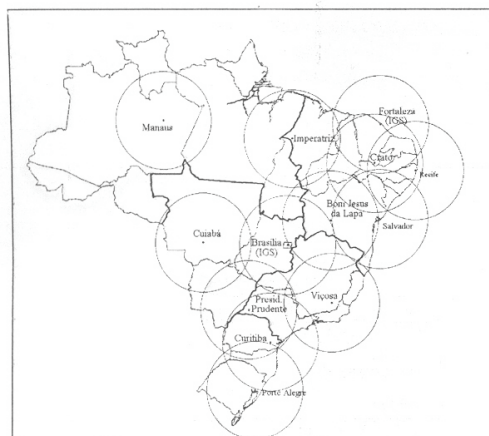
As coordenadas das estações apresentam precisão da ordem de ± 5 mm. A TAB.1 fornece um quadro resumo com as informações referentes à localização, estabelecimento e *status* de cada estação componentes da rede.

TAB.1 - Estações RBMC

Estação	Código	Estado	Estab.	Status
Fortaleza (IGS)	FORT	CE	05/93	em operação
Brasília (IGS)	BRAZ	DF	03/95	em operação
Curitiba	PARA	PR	12/96	em operação
Presidente Prudente	UEPP	SP	12/96	em operação
Bom Jesus da Lapa	BOMJ	BA	02/97	em operação
Manaus	MANA	AM	04/97	em operação
Viçosa	VICO	MG	05/97	em operação
Cuiabá	CUIB	MT	06/97	em operação
Imperatriz	IMPZ	MA	02/98	em operação
Porto Alegre	POAL	RS	10/98	em operação
Salvador	SALV	BA	05/99	em operação
Recife	RECF	PE	07/99	em operação
Crato	CRAT	CE	04/00	em operação
Rio de Janeiro	RIOD	RJ	07/01	em operação

Fonte: IBGE, 2000

Enquanto a FIG.2 identifica as estações em operação e suas áreas de abrangência. As estações FORT, BRAZ, PARA, UEPP, BOMJ, MANA, VICO, CUIB, IMPZ E RIOD fazem parte da Rede de Referência SIRGAS. Outro fato importante a ser destacado é que as observações destas estações vêm contribuindo, desde 1997, para a densificação regional da Rede IGS, garantindo uma maior qualidade dos produtos IGS, garantido uma maior qualidade dos produtos IGS, e em consequência, para quem os usa no Brasil. Para maiores esclarecimentos consultar IBGE (1997).



Fonte: IBGE, 2000

FIG. 2 Distribuição das estações RBMC

A operação das estações da RBMC é efetuada automaticamente. As observações são organizadas em arquivos diários. As sessões têm duração de 24h com intervalo de observação de 15seg. Os arquivos são disponibilizados em formato RINEX2, o acesso aos dados é efetuado via solicitação telefônica e/ou e-mail.

Segundo a distribuição das estações da RBMC, usuários GPS em qualquer lugar do país não se encontram a mais de 500km de uma das estações, excetuando a região Amazônica. Na prática, isso significa dizer que o limite de afastamento de receptores móveis em relação a estações RBMC para o transporte de coordenadas, com precisão em torno de 1 a 2 ppm, é determinado pela classe do receptor, ou seja, sua capacidade de rastrear a fase da portadora em uma ou nas duas frequências, isto é:

- ◆ utilizando receptores mono-frequenciais, capaz de rastrear apenas a portadora LI, o comprimento máximo das linhas de bases é de aproximadamente 60Km, em razão dos erros causados pela refração ionosférica;
- ◆ para distâncias maiores que 60km, deve-se utilizar receptores de duas frequências, afim de manter a precisão relativa dentro da tolerância prescrita no modo estático.

Usuários de DGPS pós-processado, ou seja, de base GPS que possibilite geração de correção às pseudo distâncias, dependendo do tipo de receptor e do *software* utilizado, podem se distanciar em mais de 100km, mantendo a precisão relativa na casa sub-métrica.

Deve ser destacado o fato de que a RBMC vem sendo empregada no desenvolvimento de trabalhos científicos, técnicos e práticos, tanto pelo IBGE como por diferentes universidades e centros de pesquisa, tais como: Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Paraná, Universidade do Hawaii, Instituto Militar de Engenharia e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Rede INCRA de Bases Comunitárias (RIBaC)

A RIBaC quando totalmente estabelecida será composta por 82 estações. Atualmente, 44 estações já se encontram implantadas ao longo do território, e têm por objetivo auxiliar a execução dos serviços desenvolvidos, direta ou indiretamente, pelo INCRA quando do emprego do sistema GPS. Emprega aparelhos de uma frequência (L1), sendo seu raio de ação estimado em 30km. Os arquivos de observação são disponibilizados via Internet. Há necessidade de cadastro para ter acesso aos dados. A FIG. 3 indica a distribuição das estações da RIBaC.



Fonte: INCRA, 2000
 FIG. 3 - Rede INCRA de Bases Comunitárias

Rede de Rádio Faróis da Marinha

A Rede de Rádio Faróis da Marinha é composta por estações localizadas ao longo da costa, empregando aparelhos de uma frequência. Possibilita o posicionamento em tempo real, pois as correções diferenciais são disponibilizadas em tempo real. Como os dados não são armazenados, não há como utilizar estas estações para aplicações GPS que envolvem pós-processamento. A FIG. 4 indica a localização das estações de rádio farol no território brasileiro.



Fonte: INCRA, 2000
 FIG. 4 - Distribuição das estações de Rádio Faróis da Marinha

Redes SIGHT e Santiago & Cintra

Estas redes são particulares e têm o propósito de auxiliar a execução dos serviços de agrimensura, locação, agricultura de precisão e outros que requeiram posicionamento. Empregam aparelhos de uma frequência (L1), sendo seu raio de ação estimado em 30km. Os arquivos de observação são disponibilizados via Internet. Há necessidade de cadastro para ter acesso aos dados. A Rede SIGHT é composta por 5 estações localizadas segundo o indicativo na FIG.5; enquanto que a FIG.6 indica a localização das 7 estações que compõem a Rede Santiago & Cintra.



Fonte: SIGHT, 2000
 FIG. 5 - Distribuição das estações da Rede SIGHT



Fonte: Santiago & Cintra, 2000
 FIG. 6 - Distribuição das estações da Rede Santiago & Cintra

Rede MANFRA

Esta rede é composta por estações localizadas no estado do Paraná. Atualmente já estão estabelecidas duas, uma em Curitiba, no CEFET e outra na cidade de Guarapuava. Empregam receptores de alta precisão (geodésicos) de duas frequências (L1), sendo seu raio de ação estimado em 300km, para precisão submétrica. Os arquivos de observação são disponibilizados via Internet. (INFOGEO, 2000)

Outras Redes e Estações

Também podem ser destacadas estações de monitoramento, como as pertencentes ao DER/MG e às empresas SPG e TRIMBASE.

O Departamento de Estradas e Rodagem de Minas Gerais (DER/MG) também possui uma estação de monitoramento contínuo, localizada em Belo Horizonte.

A estação de monitoramento permanente da empresa SPG está localizada em Porto Alegre, e emprega um aparelho de uma frequência. Seus dados podem ser obtidos via Internet. (SPG, 2000)

A empresa TRIMBASE possui uma estação localizada no Rio de Janeiro, emprega receptor de dupla frequência. Seus dados podem ser obtidos através da Internet. (TRIMBASE, 2000)

CONCLUSÃO

Considerando o exposto e verificando a localização das estações das diferentes redes, constata-se que muitas vezes, existe mais de uma estação de monitoramento em uma mesma cidade. Como por exemplo, pode ser citada a cidade do Rio de Janeiro, onde co-existem estações da RBMC, Marinha, TRIMBASE, Santiago & Cintra e RIBaC (planejada).

Este fato pode ser considerado sobre dois aspectos distintos:

1. otimização do serviço através de uma única estação, baixando com isso o custo de manutenção e permitindo a re-alocação dos demais equipamentos em outras áreas;
2. manutenção da integridade e garantia permanente da disponibilidade do serviço, através da operação de diferentes estações na mesma área.

Independente do aspecto a ser considerado, e que não cabe ser discutido neste trabalho, constata-se que as redes existentes não são excludentes, ao contrário, são complementares. As redes em conjunto permitem uma cobertura ampla de todo o território, possibilitando assim, diferentes aplicações do sistema GPS. Entretanto, para que essas aplicações sejam eficazes faz-se necessário que todas as estações encontra-se referenciadas a um único sistema, e com igual qualidade de suas coordenadas. E neste contexto que o IBGE, através de seu Departamento de Geodésia, apresenta sua proposta de integração para as redes de monitoramento.

PROPOSTA IBGE

Devido a liberação dos arquivos de dados para a comunidade, é necessário que as coordenadas das estações contínuas encontrem-se referidas ao SGB, de maneira que seu uso signifique o emprego de um único sistema de referência, homogêneo e válido em todo o país.

A proposta apresentada pelo IBGE à Comunidade vem de encontro a recomendação do XIX CBC, de que a instituição validasse as coordenadas das estações de monitoramento contínuo existentes no país.

Como o que se deseja é integrar as estações ao SGB e determinar suas coordenadas com alta

precisão, seria necessário promover a ocupação das estações com receptores de dupla frequência, conectando-as a componente ativa do SGB, a RBMC. Na seqüência, as coordenadas das estações serão determinadas através do emprego de *software* científico e de efemérides precisas. Posteriormente, os resultados obtidos serão divulgados e passarão a integrar o Banco de Dados Geodésicos do IBGE – BDG. Cabe ressaltar que, para cada integração de estação será necessário gerar especificações técnicas distintas, de forma a respeitar as características individuais de cada uma.

Deve ser destacado que esta proposta não significa uma absorção das redes ou estações pelo IBGE e que sua aceitação depende da colaboração das instituições que mantêm estas redes e/ou estações. Para que o processo tenha continuidade será necessário uma oficialização entre as partes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, Sônia M. A . **Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres**. 1999 a. 156 p. Tese (Doutorado Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1999.

FORTES, Luiz P. S. **Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC)**. 1997. 152 p. Dissertação (Mestrado Cartografia Automatizada) – Instituto Militar de Engenharia. 1997.

IBGE. **SIRGAS – Relatório Final**. Rio de Janeiro. 1997. 99 p. ISBN 85-240-0647-1

IBGE. **Rede Brasileiro de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS**. Rio de Janeiro: 2000.6 p.

INCRA. **RIBaC**. 2000. Disponível em <http://www.incra.gov.br>. [capturado em 02 jun. 2000]

INFOGEO. **Navegando**, Revista INFOGEO Nº 15. Curitiba. p. 09. Setembro/Outubro. 2000.

OLIVEIRA, Leonardo C. **Realização do Sistema Geodésico Brasileiro associadas ao SAD 69** – Uma proposta metodológica de transformação. 1998. 209p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica 1998.

SANTIAGO & CINTRA. **Estações de Monitoramento Contínuo**. 2000. Disponível em <http://www.santiagoocintra.com.br>. [capturado em 28 set. 2000].

SEEBER, Günter. **Satellite Geodesy** – Foundations, Methods and Applications. 1st ed. Berlin: Walter de Gruyter. 1993. 531 p. ISBN 3-11-012753-9.

SIGHT. **Rede e Rádio Faróis**. 2000. Disponível em <http://www.sightgps.com.br/servicos>. [capturado em 28 set. 2000].

SPG. **Estação de Monitoramento**. Disponível em <http://www.spg.com.br> [capturado 28 mar. 2001].

TRIMBASE. Estação de Monitoramento contínuo. 2001. Disponível em <http://www.trimbase.com.br>. [capturado em 08 jan. 2001].