

## Capítulo 1

### INTRODUÇÃO GERAL

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) iniciou a implementação, no final da década de setenta, do sistema NAVSTAR/GPS; um sistema de navegação que tornou possível um rápido, econômico e preciso posicionamento em qualquer lugar do globo terrestre, independentemente da hora do dia e das condições atmosféricas.

Este sistema vem sendo largamente utilizado em Cartografia, Fotogrametria e Geodésia, ciências que se ocupam diretamente do mapeamento da superfície terrestre, substituindo em muitas situações os métodos clássicos.

Para que uma região seja mapeada, e para várias outras aplicações em engenharia, existe a necessidade de definir, estabelecer e manter um determinado sistema de referência. A materialização - ou fixação no espaço - de um sistema cartesiano tridimensional pode ser feita utilizando, em princípio, três pontos. No entanto, para tornar o sistema útil, prático e confiável, necessita-se de um conjunto maior de pontos devidamente materializados no campo, com densidade e espaçamento convenientes e com suas coordenadas determinadas com precisão. Este conjunto de pontos é denominado rede geodésica.

Este capítulo tem como objetivo fornecer uma visão geral do estágio atual de densificação da rede geodésica nacional por GPS e do mapeamento sistemático no estado de Minas Gerais, além de descrever os objetivos e justificativas desta tese.

#### 1.1- Estado da arte

A partir de 1988 o *International Earth Rotation Service (IERS)* passou a materializar, anualmente, os sistemas de referências terrestres internacionais ITRF<sub>y</sub> – *International Terrestrial Reference Frame*. O ITRF97, por exemplo, é materializado pelas coordenadas geocêntricas, e suas velocidades, de mais de 550 estações, em 325 localidades, distribuídas pelo mundo todo (Monico, 2000). A Figura 1.1 mostra as estações que fazem parte do ITRF2000. Já a Figura 1.2 ilustra as 50 estações, localizadas em regiões de placas rígidas, e quarenta e uma em regiões

com deformações, que são utilizadas no monitoramento da variação da orientação do ITRF2000.

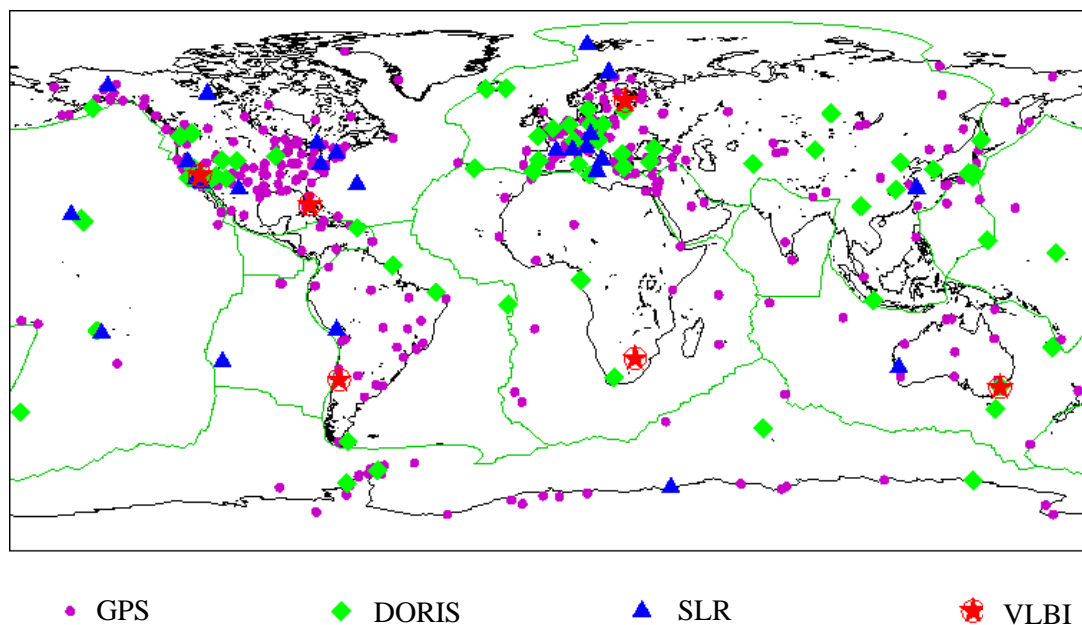


Figura 1.1 – Estações que fazem parte do ITRF2000.  
 Fonte: “<http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000/datum.html>”  
 Acesso em 05/02/02.

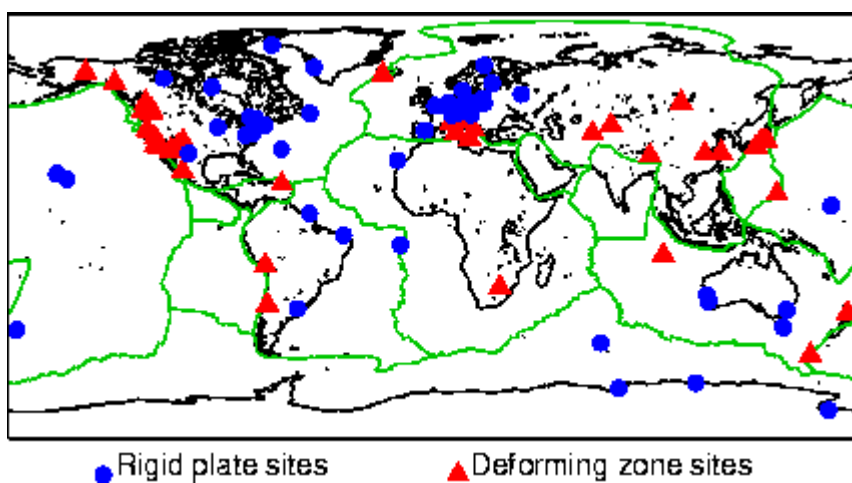


Figura 1.2 – Estações que monitoram a orientação do ITRF2000.  
 Fonte: “<http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000/datum.html>” .  
 Acesso em 05/02/02.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) vem desenvolvendo um projeto, com a participação de diversos países das Américas, denominado Sistema de Referência Geocêntrico das Américas (SIRGAS). A primeira realização

SIRGAS foi composta por cinquenta e sete estações distribuídas pelo continente e observadas pelo GPS no período de 26 de maio a 4 de junho de 1995. Atualmente, as coordenadas finais desta realização estão referidas ao ITRF94, na época 1995.4. Novas coordenadas, para a época 2000, estão previstas para outubro de 2002. Existe a previsão de que esta rede será observada a cada cinco anos. A Figura 1.3 mostra as estações que compõem o SIRGAS em 2000.

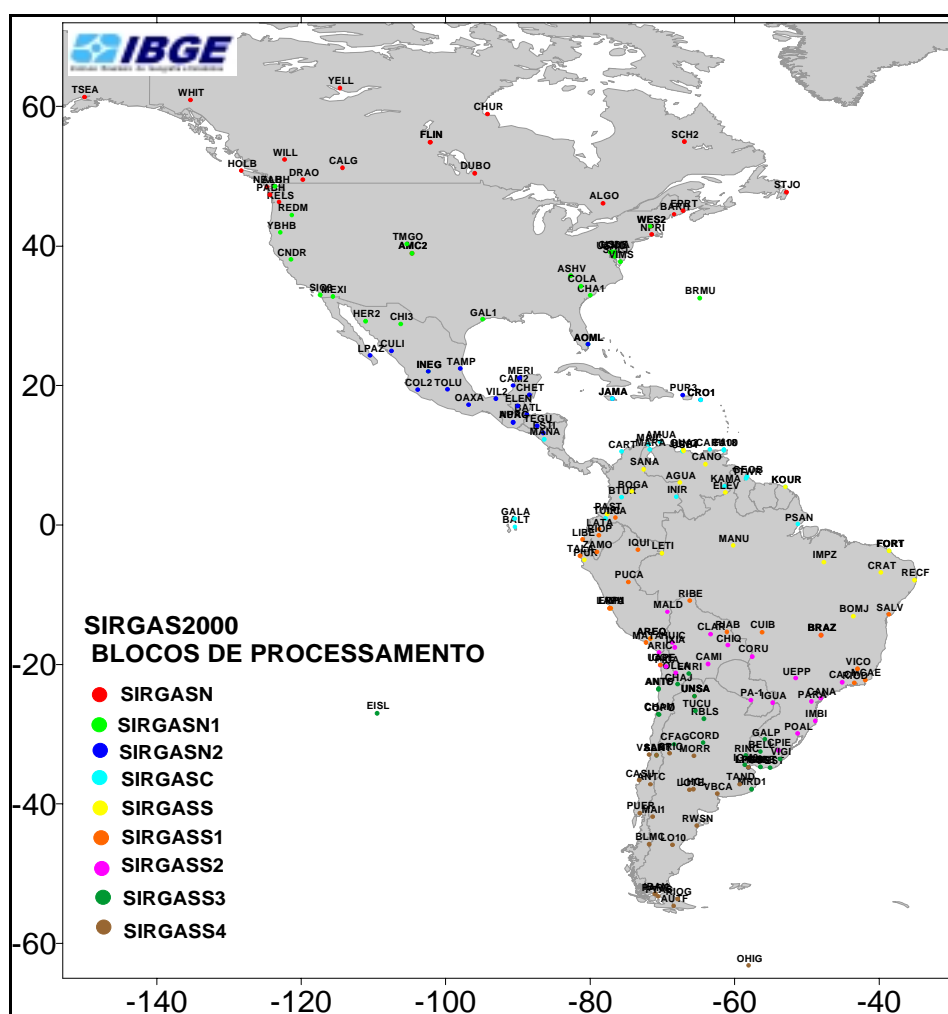


Figura 1.3 – Estações que compõem o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas em 2000 – SIRGAS 2000. Fonte: IBGE/DEGED

Além do SIRGAS, o IBGE implantou a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), composta, inicialmente, por 8 estações GPS permanentes (Manaus; Imperatriz; Viçosa; Cuiabá; Curitiba; Presidente Prudente; Bom Jesus da Lapa e Brasília), operadas diretamente pelo IBGE, com o apoio de diversas instituições, e uma estação (Fortaleza) operada pelo INPE. A operacionalização desta

rede, em 1996, viabilizou o conceito de redes ativas, onde, em princípio, satélites do sistema GPS são rastreados continuamente e todos os dados, coletados diariamente, são transferidos automaticamente e disponibilizados aos usuários em formato RINEX, alguns dias após a coleta.

Em Janeiro de 2002, estavam também em operação as estações de Porto Alegre, Recife, Salvador, Rio de Janeiro e Crato (Ceará).

A Figura 1.4 mostra as estações em operação, as previstas de acordo com o projeto SIVAM e aquelas em fase de implantação em junho de 1999. Descrições das estações da RBMC e seus dados podem ser encontrados na página [http://www2.ibge.gov.br/ibge/ftp/ftp.php?dir=/Rede Brasileira de Monitoramento Continuo](http://www2.ibge.gov.br/ibge/ftp/ftp.php?dir=/Rede%20Brasileira%20de%20Monitoramento%20Continuo), de responsabilidade do IBGE.

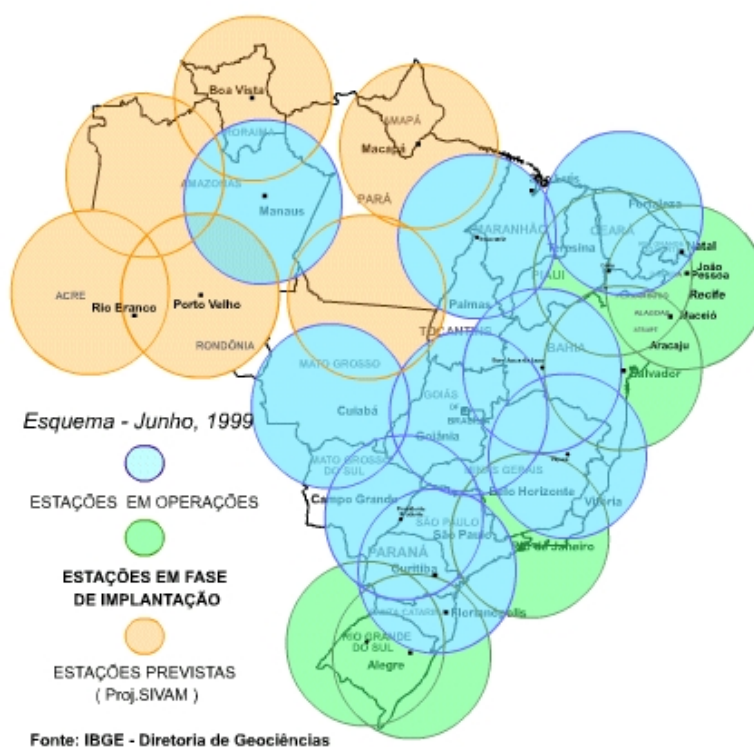


Figura 1.4 – Estações da RBMC

Fonte: <http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/geodesico/rbmc.shtm>.

Acesso em 07/01/02

Por outro lado, vêm sendo implantadas, no Brasil, diversas redes municipais e estaduais, empregando a tecnologia GPS, antes mesmo de se concluir a rede

nacional. Isto se justifica pelo fato de as redes estaduais e municipais serem do interesse direto de muitos usuários.

O Estado de São Paulo possui uma rede geodésica GPS composta de 25 vértices. A mesma foi concluída em 1994 num esforço conjunto entre a Escola Politécnica da USP e o Departamento de Geodésia do IBGE.

O Estado do Paraná, semelhantemente, através da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos, em colaboração com o Departamento de Geodésia do IBGE, completou em 1996, sua rede geodésica composta de 20 vértices.

Além de São Paulo e Paraná, os estados do Espírito Santo e Santa Catarina já dispõem de suas redes geodésicas GPS. Os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul estão para implantar as suas.

A Figura 1.5 mostra os pontos, no País, determinados por satélites dos sistemas Transit e GPS, até abril de 2001, divulgados pela página do IBGE na internet.

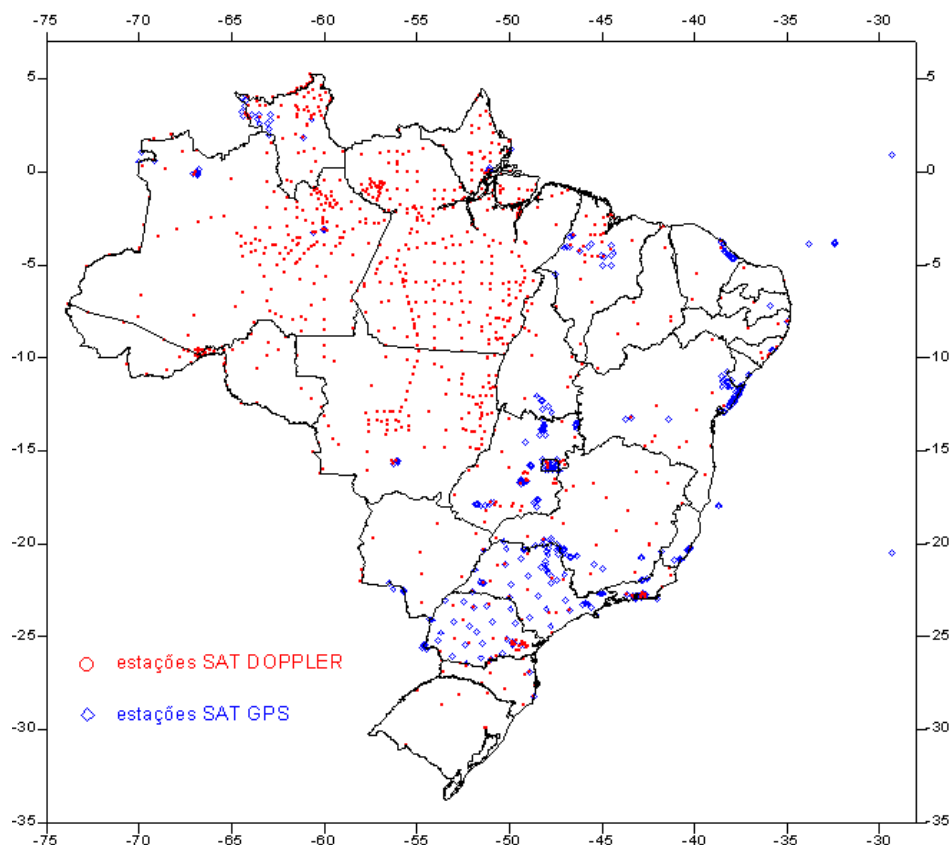


Figura 1.5 – Pontos determinados por satélites no Brasil até abril de 2001.

Fonte: <http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/images/rdopgps.gif>.

Acesso em 07/01/02

Alguns municípios, como Guarulhos, Campinas, Poços de Caldas, etc, já implantaram suas redes cadastrais empregando o sistema GPS.

Em Minas Gerais, por não haver ainda uma rede geodésica GPS oficial, estão sendo implantadas diversas redes, exclusivas para determinados fins. Esta diversidade de redes torna o sistema de mapeamento do Estado caótico, impreciso e oneroso.

A grande maioria dos municípios mineiros não possui um Sistema Cartográfico Municipal e, portanto, não há normas e nem formas que garantam um mapeamento sistemático confiável. A regulamentação das leis 10.257/01 – Estatuto da cidade – e 10.267/01 – Lei de criação do sistema público de registro de Terras – aumenta, sem dúvida, a demanda por sistemas de informações geográficas informatizados, atualizados e confiáveis. No entanto, os municípios mineiros estão totalmente despreparados para contratar e fiscalizar a elaboração de seus mapas.

A Figura 1.6 reflete a situação do mapeamento sistemático do estado de Minas Gerais, na década de 70, sendo que a atual não difere muito disso.

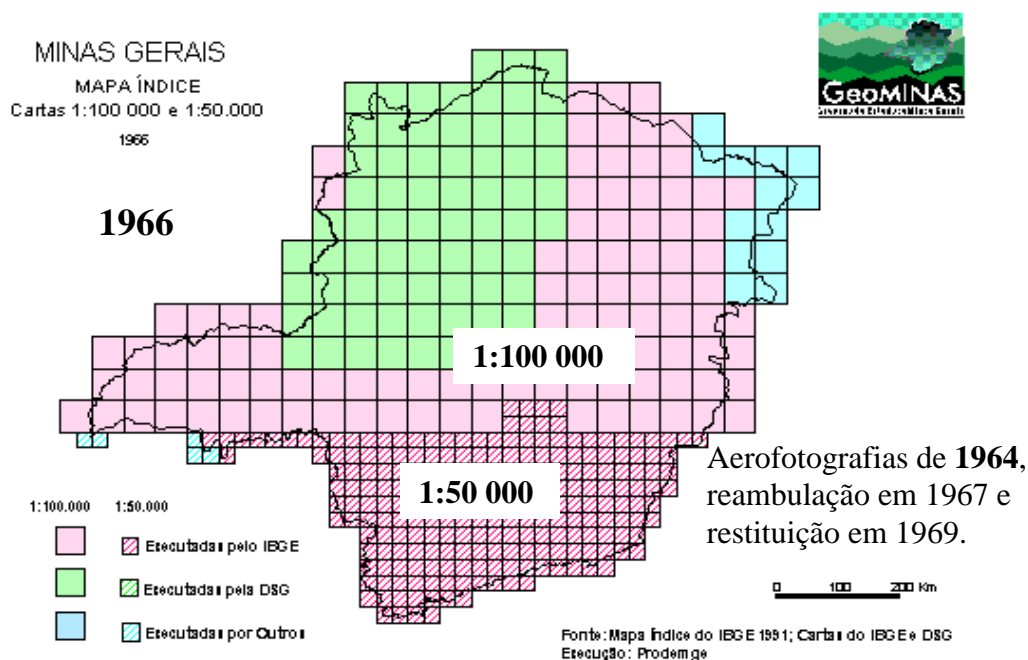


Figura 1.6 – Mapa índice das cartas 1:100.000 a 1.50.000 do estado de Minas Gerais

Fonte:

[http://www.geominas.mg.gov.br/kit\\_desktop/kit2/paginas/mapas/mg\\_serie.html](http://www.geominas.mg.gov.br/kit_desktop/kit2/paginas/mapas/mg_serie.html).

(Acesso em 07/01/02)

## 1.2- Objetivos

De uma forma geral o objetivo deste trabalho é, além de contribuir com o mapeamento sistemático do País e do estado de Minas Gerais, absorver e gerar conhecimentos sobre o processo de implantação de redes geodésicas, o que inclui as fases de planejamento e implantação da rede; levantamento, processamento, ajustamento e análise dos dados e resultados.

Os objetivos específicos desta tese são:

- Implantar uma rede de vértices geodésicos de referência no Estado de Minas Gerais a partir de observações de sinais transmitidos por satélites do sistema GPS. Doravante, neste trabalho, esta rede passará a ser denominada somente “Rede Minas”;
- Comparar os resultados do ajustamento utilizando um programa científico que considera a matriz variância-covariância completa, levando em conta as correlações entre vetores; com os resultados obtidos por outro programa que considera apenas as correlações entre as componentes de um mesmo vetor.
- Verificar a influência da eliminação de vetores considerados *outliers* no resultado final do ajustamento;
- Comparar os resultados obtidos com os ajustamentos feitos considerando os vetores no WGS84 e ITRF97. Atualmente os vetores resultantes do processamento de dados GPS utilizando efemérides precisas, calculadas pelo NGS, referem-se ao ITRF97. Os programas normalmente desprezam este fato e ajustam os vetores como se eles se referissem ao WGS84.
- Verificar a influência da escolha de diferentes conjuntos de vetores independentes, no resultado final do ajustamento;
- Analisar a qualidade das coordenadas de pontos da rede já conhecidos oficialmente e
- Comparar os resultados da Rede Minas obtidos com injunções mínimas, com aqueles obtidos fixando CHUÁ, BRAZ, VICO e as estações AVER, FRAN e LIMO da rede do estado de São Paulo.

### 1.3- Justificativa

A materialização de sistemas de referências com redes geodésicas nacionais, estaduais e municipais, torna o país, os estados e os municípios independentes de sistemas de referência associados a sistemas de satélites implantados e controlados por outros países.

As redes geodésicas estabelecidas através do GPS, além de possibilitarem a atualização e a produção de mapas, com mais detalhes e maior confiabilidade, facilitam todos os trabalhos de campo referentes aos apoios geodésicos para obras de engenharia civil, elétrica, sanitária, ambiental, etc. Propiciam também maior confiabilidade e precisão quando comparadas com as redes antigas, bastante destruídas.

Uma rede geodésica estadual possibilita o apoio geodésico confiável para os diversos tipos de levantamentos geográficos ou topográficos, unificando o sistema de referência, padronizando, uniformizando e organizando o sistema de mapeamento do estado. A partir das redes estaduais é possível implantar redes de referência cadastral nos municípios - que servem para apoiar a elaboração e atualização contínua de plantas cadastrais municipais, referenciar todos os serviços topográficos de demarcação, de cadastros imobiliários e de obras de engenharia em geral e controlar a qualidade das plantas confeccionadas.

Portanto, uma rede geodésica estadual, além de evitar a multiplicação de esforços e o desperdício de recursos, atenderia aos interesses e necessidades de diversas instituições como, no estado de Minas Gerais:

- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEAMAD, na elaboração de produtos cartográficos destinados ao desenvolvimento de estudos e projetos ambientais, monitoramento de uso do solo, de cursos d'água e de cobertura vegetal e projetos de recuperação de bacias hidrográficas;
- Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG e FURNAS Centrais Elétricas S/A, na implantação de linhas de transmissão, monitoramento de lagos reservatórios e no desenvolvimento de estudos e anteprojetos de construção de barragens e usinas hidrelétricas;



- Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, na elaboração de projetos e saneamento básico, redes de captação e distribuição de água;
- Instituto de Geociências Aplicadas de Minas Gerais - IGA, na elaboração de cartas topográficas para uso geral e organização do sistema de mapeamento do estado;
- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, na elaboração e demarcação de projetos de parcelamento e assentamento rural;
- Prefeituras Municipais, na execução e manutenção de cadastros imobiliários.

Verifica-se ainda hoje a necessidade de aprofundar os estudos relacionados ao processamento e ajustamento de redes geodésicas implantadas através do GPS.

#### **1.4- Sumário da tese**

##### Capítulo 1: INTRODUÇÃO GERAL

O texto da tese inicia-se apresentando muito brevemente o conceito de redes geodésicas, seus objetivos, tipos e atual estágio de densificação da rede geodésica nacional pelo GPS, além de descrever os objetivos e justificativas deste trabalho. Após a presente introdução geral seguirão os seguintes capítulos:

##### Capítulo 2: SISTEMAS DE REFERÊNCIA EMPREGADOS NA IMPLANTAÇÃO DE REDES GEODÉSICAS NO BRASIL

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais sistemas de referência terrestres empregados na implantação de redes geodésicas por GPS no Brasil, bem como as relações entre sistemas globais, regionais e locais, juntamente com as equações de propagação das variâncias e covariâncias entre os diferentes sistemas. A compreensão tanto dos conceitos envolvidos nas definições dos diferentes sistemas, quanto das transformações de coordenadas e das propagações de variâncias, é fundamental para o processamento das observações a satélites de navegação, para o ajustamento dos vetores e para a interpretação e análise dos resultados.

Um dos objetivos específicos deste capítulo é mostrar como as componentes de um vetor podem ser transformadas do sistema ITRF97 para o WGS84.

### Capítulo 3: FASE DA PORTADORA E SUAS COMBINAÇÕES LINEARES

Este capítulo tem por finalidade apresentar brevemente as principais medições realizadas por receptores de sinais do GPS, citar as diferentes fontes de erros, e descrever as combinações lineares das fases observadas que reduzem ou eliminam os efeitos desses erros. Neste capítulo são indicadas referências bibliográficas para o devido aprofundamento dos estudos nestes assuntos.

### Capítulo 4: CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DAS OBSERVAÇÕES INDEPENDENTES

Este capítulo trata da organização das observações, da formação da matriz dos pesos, da equação linear e da matriz das derivadas parciais e dos critérios para a escolha das observações independentes a serem utilizadas no processamento de bases simples ou de várias estações.

### Capítulo 5: AJUSTAMENTO DOS VETORES OBSERVADOS

Este capítulo trata da organização dos diversos vetores independentes processados, da formação da matriz dos pesos para estes vetores e do ajustamento deles em rede.

### Capítulo 6: OS PROGRAMAS OMNI E ADJUST

Este capítulo tem como objetivo fazer uma breve apresentação dos programas *OMNI* e *ADJUST*, ambos desenvolvidos pelo “U. S. National Geodetic Survey - NGS” e utilizados nesta tese para determinar as coordenadas dos pontos da Rede Minas e fazer as comparações e análises propostas. Sendo programas científicos, de domínio público, inclusive o código fonte, podem ser úteis para outras pesquisas.

### Capítulo 7: METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DA REDE GEODÉSICA DE MINAS GERAIS

Este capítulo apresenta a rede geodésica do estado de Minas Gerais e descreve as fases de planejamento, captação de recursos, construção dos marcos, levantamento de campo e organização dos dados para processamento.

## Capítulo 8: PROCESSAMENTO, RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo é apresentada a metodologia de processamento dos dados da Rede Minas e são analisadas as qualidades das observações e dos resultados.

## Capítulo 9: AJUSTAMENTO, RESULTADOS, COMPARAÇÕES E ANÁLISES

Este capítulo tem como objetivo descrever o processo de ajustamento de uma rede geodésica utilizando dois diferentes programas e apresentar os resultados dos diversos processamentos e ajustamentos realizados, bem como as comparações que possibilitarão as análises e as conclusões que atendam os objetivos deste trabalho.

## Capítulo 10: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Finalizando o trabalho são apresentadas conclusões quanto aos resultados obtidos na implantação da rede geodésica do estado de Minas Gerais e são feitas recomendações para pesquisas futuras visando a ampliação e o aprofundamento do trabalho aqui desenvolvido.