

MAURO ISSAMU ISHIKAWA

**POTENCIALIDADES DE USO DE IMAGENS
IKONOS/GEO PARA APLICAÇÕES EM
ÁREAS URBANAS**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciências Cartográficas para a
obtenção do Título de Mestre em
Ciências Cartográficas pela
Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade Estadual Paulista.

Orientador : Prof. Dr. Erivaldo Antonio da Silva

Presidente Prudente
2001

I77p

Ishikawa, Mauro Issamu.

Potencialidades de uso de imagens IKONOS/GEO para aplicações em áreas urbanas / Mauro Issamu Ishikawa. Presidente Prudente: [s.n], 2001.

82 p. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado). UNESP, Faculdade de Ciências Tecnologia, Presidente Prudente, 2001.

Orientador: Prof. Dr. Erivaldo Antonio da Silva.

1. Ikonos. 2. Imagens de alta resolução.
3. Sensoriamento remoto. 4. Qualidade dos dados.

I. Título.

CDD. 18ª ed. 623.72

*À minha esposa Luri e aos filhos
Maurício, Aline e Bruno.*

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pela saúde e pela vida.

À UNESP, pela oportunidade de realizar este trabalho.

À todos os amigos, pela compreensão e respeito demonstrado.

Às secretárias do Departamento de Cartografia, Graça e Cidinha, pelo apoio e carinho.

Aos Professores do Departamento de Cartografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia Arlete Aparecida Correia Meneguette, Júlio Kiyoshi Hasegawa, Maurício Galo, Nilton Nobuhiro Imai e Paulo de Oliveira Camargo, que sempre estiveram prontos para esclarecer quaisquer dúvidas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Erivaldo Antonio da Silva, pela competência e presteza demonstrada.

Ao meu amigo Erivaldo Antonio da Silva, pela amizade e compreensão.

À toda minha família, em especial à minha esposa Luri, pelo amor e pelo estímulo.

SUMÁRIO

| | | |
|------------------------|--|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | | <i>vi</i> |
| LISTA DE TABELAS | | <i>vii</i> |
| RESUMO | | <i>viii</i> |
| ABSTRACT..... | | <i>ix</i> |
| | | |
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Contextualização do problema..... | 1 |
| 1.2 | Objetivo..... | 6 |
| 1.3 | Justificativa..... | 7 |
| 1.4 | Conteúdo do trabalho..... | 8 |
| | | |
| 2 | IMAGEM IKONOS | 10 |
| 2.1 | Características técnicas da imagem e do satélite IKONOS..... | 12 |
| 2.2 | Níveis de correção da imagem IKONOS..... | 14 |
| 2.3 | Distorções geométricas..... | 16 |
| | 2.3.1 Distorções externas..... | 17 |
| | 2.3.2 Distorções internas..... | 20 |
| | | |
| 3 | SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – NAVSTAR/GPS | 22 |
| 3.1 | Técnicas de posicionamento GPS..... | 23 |
| | 3.1.1 Posicionamento por ponto..... | 23 |
| | 3.1.2 Posicionamento relativo..... | 24 |
| 3.2 | Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)..... | 27 |
| 3.3 | Sistema de referência..... | 29 |
| | 3.3.1 Sistema de referência associado ao GPS..... | 30 |
| | 3.3.2 Sistema Geodésico Brasileiro..... | 30 |
| | 3.3.3 Transformação de datum..... | 32 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | QUALIDADE DE DADOS ESPACIAIS | 35 |
| 4.1 | Controle de qualidade de dados espaciais..... | 35 |
| 4.2 | Acurácia posicional..... | 39 |
| 4.2.1 | Padrões de exatidão cartográfica..... | 41 |
| 4.2.1.1 | Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) no Brasil | 43 |
| 4.3 | Teste estatístico para análise de tendência e precisão | 47 |
| 5 | VIABILIDADE DE USO DE IMAGENS IKONOS/GEO EM APLICAÇÕES CARTOGRÁFICAS URBANAS | 52 |
| 5.1 | Área de estudo | 52 |
| 5.1.1 | Área de estudo na imagem IKONOS | 52 |
| 5.2 | Materiais utilizados | 55 |
| 5.3 | Coleta de dados GPS | 56 |
| 5.3.1 | Levantamento do ponto base e dos pontos de controle | 56 |
| 5.3.1.1 | Processamento e análise dos dados GPS | 60 |
| 5.4 | Georreferenciamento da imagem IKONOS/GEO | 64 |
| 5.5 | Extração dos pontos na imagem IKONOS/GEO | 66 |
| 5.6 | Discrepâncias entre as coordenadas GPS e da imagem IKONOS .. | 68 |
| 5.7 | Análise da qualidade posicional da imagem IKONOS/GEO | 70 |
| 5.7.1 | Análise de tendência | 71 |
| 5.7.2 | Análise da precisão | 73 |
| 6 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 75 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 79 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – Efeito provocado pela variação do <i>roll</i> | 17 |
| Figura 2.2 – Efeito provocado pela variação do <i>pitch</i> | 18 |
| Figura 2.3a – Efeito <i>yaw</i> de não alinhamento das varreduras | 18 |
| Figura 2.3b – Efeito <i>yaw</i> provoca superposição semelhante a um leque..... | 19 |
| Figura 2.4 – Efeito provocado pela variação da velocidade | 20 |
| Figura 2.5 – Efeito provocado pela rotação da Terra | 20 |
| Figura 2.6 – Arrastamento de um varredura | 21 |
| Figura 3.1 – Estações da RBMC..... | 28 |
| Figura 5.1 – Localização do município de Araçoiaba da Serra..... | 53 |
| Figura 5.2 – Área de estudo na imagem IKONOS/GEO..... | 54 |
| Figura 5.3 – Distribuição dos 36 pontos de controle..... | 59 |
| Figura 5.4 – Pontos utilizados no georreferenciamento da imagem..... | 65 |
| Figura 5.5 – Vetores das discrepâncias planimétricas..... | 69 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1 – Características técnicas da imagem e do satélite IKONOS..... | 12 |
| Tabela 2.2 – Exatidão e preços dos produtos IKONOS..... | 16 |
| Tabela 4.1 – Valores do PEC e EP conforme Decreto nº.817/84..... | 46 |
| Tabela 4.2 – Padrão de exatidão cartográfica e erro padrão planimétrico..... | 47 |
| Tabela 5.1 – Dados geométricos da imagem IKONOS utilizada..... | 55 |
| Tabela 5.2 – Coordenadas do ponto base ARAÇOIABA..... | 61 |
| Tabela 5.3 – Coordenadas dos pontos de controle no sistema SAD 69..... | 62 |
| Tabela 5.4 – Resultado do georreferenciamento da imagem..... | 66 |
| Tabela 5.5 – Pontos extraídos da imagem IKONOS/Geo..... | 67 |
| Tabela 5.6 – Discrepâncias entre as coordenadas GPS e IKONOS/Geo..... | 68 |
| Tabela 5.7 – Resultados para a análise de tendência..... | 72 |
| Tabela 5.8 – Resultados para a análise da precisão..... | 73 |

ISHIKAWA, M. I. *Potencialidades de uso de imagens IKONOS/GEO para aplicações em área urbanas*. Presidente Prudente, 2001. 82p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

O grande avanço tecnológico desta década, na área de Sensoriamento Remoto, pode ser percebido quando são observadas as grandes mudanças nas características dos sistemas orbitais mais tradicionais, bem como da nova geração de sistemas sensores desenvolvidos com o intuito de auxiliar, cada vez mais, as tarefas de identificação de alvos na superfície terrestre, devido à grande melhoria na resolução espacial. Produtos orbitais de alta resolução, com grau de detalhamento em torno do metro, permitem um melhor aproveitamento das imagens em aplicações cartográficas. O mercado de mapeamento urbano atualmente é ainda quase inteiramente baseado em fotografias aéreas. Porém, o Sensoriamento Remoto orbital vem passando por uma grande evolução tecnológica desde o final de 1999, quando foi lançado pela empresa norte-americana Space Imaging o satélite IKONOS. Este satélite possui sensores capazes de gerar imagens com 1 metro de resolução espacial no modo pancromático e 4 metros no modo multiespectral. Estas imagens permitem o mapeamento da cobertura e uso do solo de maneira detalhada e continuada, desde que sejam usados métodos e/ou técnicas apropriadas. Este trabalho teve como objetivo fazer um estudo do potencial de uso das imagens geradas pelo satélite IKONOS, produto *Geo*, no que diz respeito a escala máxima de utilização em aplicações cartográficas. O procedimento para verificar a exatidão cartográfica baseou-se na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas de pontos no terreno, obtidas através do GPS, e as coordenadas dos pontos homólogos extraídas da imagem IKONOS, através da análise da existência de tendências e da precisão. Como resultado final, chegou-se a conclusão que a imagem IKONOS/*Geo* utilizada é adequada a escala 1:50000 e menores.

Palavras-chave : IKONOS, Imagens de alta resolução, Sensoriamento remoto, Qualidade dos dados.

ISHIKAWA, M. I. *Potential use of images IKONOS/GEO for applications in urban areas*. Presidente Prudente, 2001. 82p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

ABSTRACT

The huge technological advancement that occurred in this decade, in the field of Remote Sensing, can be well perceived when we observe the great changes that occurred in the characteristics of the more traditional orbital systems, as well as of those which belong to the new generation of sensor systems developed with the aim of helping, more and more, the tasks of identification of targets on the Earth surface, due to the improvement on the spatial resolution. Orbital products of high resolution with the possibility of showing details of about one meter in size allow a better employment of imagery in cartographic applications. The urban mapping market is nowadays almost totally based on aerial photography. However, the orbital Remote Sensing is getting through a immense technological evolution since the end of 1999, when the satellite IKONOS was launched by a north American company called Space Imaging. This satellite has sensors capable of generating images with 1 meter resolution in the panchromatic mode and 4 meter resolution in the multispectral mode. These imagery allow mapping the land cover and use in a detailed and continuous manner, providing the appropriate methods and/or techniques are used. This dissertation aimed at studying the potential use of such imagery obtained by IKONOS satellite, Geo Product, specially with respect to the maximum scale of employment for cartographic applications. The approach for the checking the cartographic accuracy was based upon the statistical analysis of discrepancies between the coordinates on the ground, obtained by the use of GPS, and the coordinates of homologue points extracted from the IKONOS imagery, through the analysis of existence of trend and also by the analysis of precision. As a final result, it has been found that the IKONOS/Geo imagery is useful for mapping at 1:50.000 and smaller scales.

Keywords : IKONOS, High resolution imagery, Remote Sensing, Data of quality.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do Problema

O conhecimento atualizado da distribuição e da área ocupada pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, bem como informações sobre as proporções de suas mudanças, tornam-se cada vez mais necessários aos legisladores e planejadores. Neste contexto, o sensoriamento remoto utilizando-se de modernos sensores, equipamentos de transmissão e de processamento de dados, tem o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta em suas mais diversas manifestações sem o contato direto (Novo, 1989).

O advento dos satélites de sensoriamento remoto tem favorecido, a realização de levantamentos à distância de alvos da superfície terrestre em áreas extensas e inóspitas, favorecendo, principalmente, os mapeamentos e monitoramentos sazonais da superfície da Terra. A composição espectral do fluxo radiante provenientes da superfície da Terra produz informações sobre propriedades físicas, químicas e biológicas de solos, vegetações e águas que caracterizam o sistema terrestre (Huete, 1988).

Na década de 90, o uso de imagens orbitais no Brasil foi marcado pela crescente demanda de dados e por conseguinte o uso destas informações por empresas públicas e de iniciativa privada em diversos projetos. Imagens do satélite norte-americano LANDSAT, que “fotografam” a superfície terrestre com

resolução espacial de 30 metros, foram as mais usadas devido ao custo de comercialização e agilidade na obtenção dos dados, além da facilidade e prática dos profissionais na interpretação destas imagens. Atualmente, conta-se ainda com o Landsat 7, que oferece uma banda pancromática com 15 metros de resolução espacial. Entre outros satélites em operação, potencialmente utilizáveis em projetos de naturezas diversas, destacam-se o SPOT, ERS, JERS, RADARSAT e IRS-C (Silva, 1996).

Observa-se que a maior limitação técnica na utilização de imagens de satélite é o nível de detalhe que tais produtos oferecem. Cabe salientar que tal limitação está diretamente relacionada com o objetivo final. No caso de um município, se o objetivo do emprego de imagens de satélite for a obtenção de mapa temático que mostre a distribuição do uso atual do solo, imagens do LANDSAT ou SPOT seriam alternativas viáveis, tanto técnica quanto economicamente. Mas se o objetivo for a produção de mapas com maior detalhe cartográfico, capazes de fornecer informações substanciais sobre construções em propriedades rurais e áreas urbanas, as imagens dos satélites existentes não supririam a necessidade satisfatoriamente (Pachêco, 1999).

Porém, desde setembro de 1999, com o lançamento do satélite IKONOS, pela empresa norte-americana Space Imaging, encontram-se disponíveis imagens de alta resolução. O sensor que o satélite carrega a bordo pode gerar imagens pancromáticas com resolução de 1 m e multispectrais de 4 m, com uma visada *off-nadir* de até 60° em qualquer azimute, que o torna capaz de oferecer um período de revisita reduzido (dois a três dias) e a capacidade de gerar pares estereoscópicos (Toutin e Cheng, 2000).

As imagens são fornecidas em arquivos digitais, com diferentes especificações, de acordo com as necessidades dos usuários. A curta periodicidade da revisita a um mesmo ponto na superfície terrestre pelo satélite, em comparação aos demais, garante a obtenção das imagens em condições climáticas adversas, aumentando a possibilidade de coincidência com dias claros. A amplitude da cena, de 11 x 11 km, otimiza a coleta estabelecendo uma relação muito mais favorável para os custos das cartas a partir das imagens.

As imagens de alta resolução podem ser aplicadas em diversos mercados, incluindo governos estaduais e municipais, e em várias aplicações como mapeamento, agricultura de precisão, manejo florestal, serviços de infra-estrutura (energia, telecomunicações, saneamento, etc.), cadastro urbano e rural, etc.

Na prática, a cobertura que fornece atualizações de uma mesma área geográfica acontecerá numa base variável, segundo as demandas do mercado ou necessidades específicas de aplicação. Entretanto, a capacidade de repetição de visitas a determinadas áreas, tanto para atualizar como para ampliar a área de cobertura, modificará o modo pelo qual os projetos de mapeamento poderão ser implementados e mantidos. A agilidade da plataforma sensora permite a coleta de cenas, faixas e blocos de imagens numa única passagem, conforme seja requerido, para satisfazer as prioridades do rastreamento. A mesma agilidade, combinada com os sistemas de planejamento especializado de coleta, que integra informações meteorológicas obtidas com tempo nublado, permite o uso otimizado do tempo de satélite para obter informações úteis através de processamento de imagens.

O que se tem perguntado com grande frequência é o que acontecerá com a aerofotogrametria com o surgimento dessas imagens. Entende-se que, assim como

o surgimento do sistema NAVSTAR/GPS (NAVigation Satellite with Time and Ranging/Global Positioning System) não fez com que o teodolito e os distanciômetros desaparecessem. Pelo contrário, se desenvolveram ainda mais (um exemplo são os modernos sistemas completos de Estação Total), acredita-se que o mesmo ocorrerá com a aerofotogrametria. (Filho, 2000).

E o que se percebe de antemão é que realmente tem-se à disposição uma imagem de alta resolução. Entretanto ainda não foi testada o suficiente para que seus limites de utilização sejam bem definidos. Um problema que se constata de imediato é o que se refere a tomada de imagens isentas de nuvens. Nesse aspecto, o sistema não é tão versátil como a tomada de fotos aéreas com uma aeronave, pois passa imageando sistematicamente em torno da Terra independente de haver ou não nuvens. Desta forma, poderá ocorrer um problema de tempo até que se obtenha uma imagem em condições de uso, o que não ocorre com a foto aérea, onde a equipe de vôo estará sempre pronta para fotografar assim que o céu estiver limpo e no horário mais indicado. Um outro problema, é que diferentemente de outros satélites comerciais, a empresa Space Imaging não fornece as informações orbitais detalhadas (efemérides) do satélite IKONOS, impossibilitando avaliar a qualidade geométrica da imagem.

As imagens IKONOS são produzidas segundo diferentes níveis de processamento, *Geo*, *Geo Orto*, *Reference*, *Map*, *Pro*, *Precision* e o *Precision Plus*, todos com 1 metro de resolução espacial pancromática ou 4 metros multispectral, porém submetidos a tratamentos diversos para atender finalidades distintas, e que correspondem também, a diferentes custos de aquisição.

O preço das imagens IKONOS no Brasil ainda é elevado quando comparado a relação custo/benefício do satélite e da aerofotogrametria. Os preços dos produtos do tipo *Precision* são muito altos em comparação ao produto *Geo*, cerca de quatro vezes mais, segundo dados do Space Imaging Website (2001). O produto *Geo* é o mais simples dos produtos Carterra, onde o cliente recebe a imagem da forma como foi captada do satélite, sem qualquer tratamento adicional além da correção geométrica.

Portanto, ao se adquirir um produto tipo *Geo*, qual seria a escala máxima recomendável de ser utilizada? Segundo Toutin e Cheng (2000), este produto atenderá ao requisitos geométricos de um mapeamento na escala máxima de 1:100.000. Desta forma, conhecer a qualidade geométrica (por exemplo, através do Padrão de Exatidão Cartográfica) é de fundamental importância para determinar se a informação extraída do produto é confiável e pode ser utilizada pelo usuário.

Na medida em que a tecnologia utilizada nos procedimentos de mapeamentos desenvolve-se com espantosa velocidade, um grande número de usuários não especialistas em mapeamento também aumenta, e justamente em função de um certo desconhecimento a questão da qualidade geométrica é muitas vezes esquecida (Galo e Camargo, 1994).

Assim, visando determinar a qualidade do produto *Geo* e conseqüentemente a escala máxima de uso, utilizou-se do sistema NAVSTAR/GPS como ferramenta na aquisição das informações posicionais dos pontos de controle no terreno. A concepção desse sistema permite que um usuário em qualquer lugar da superfície terrestre, tenha a sua disposição, no mínimo,

quatro satélites para serem rastreados. Além da precisão oferecida, permite maior rapidez na coleta e processamento dos dados e na análise dos resultados (Monico, 2000).

Determinar a qualidade do produto inclui verificar a precisão das medidas horizontais e verticais dos pontos ou feições, no conjuntos de dados. A qualidade pode ser avaliada através da comparação de um conjunto de dados, formados por coordenadas dos pontos no terreno e as coordenadas dos pontos homólogos extraídas da imagem.

A avaliação quantitativa da qualidade do produto pode ser realizada através de testes estatísticos para a análise de tendência (erros sistemáticos) e análise de precisão, classificando-o, quanto a escala máxima de uso, de acordo com a normas do Decreto Lei nº 89.817 de 20 de Junho de 1984.

1.2 Objetivo

O objetivo principal desta dissertação é estudar a viabilidade de uso da imagem IKONOS, produto *Geo*, visando a definição da escala máxima de utilização destas imagens como bases planimétricas para aplicações cartográficas em áreas urbanas.

1.3 Justificativa

O presente trabalho justifica-se pela necessidade dos usuários de Cartografia em encontrar ou ter à disposição metodologias que o auxiliem na tarefa de produção e/ou atualização de produtos cartográficos nas diversas escalas.

A comunidade cartográfica, desde o surgimento desses primeiros sistemas de imageamento, esperava sistemas que oferecessem imagens com maior resolução, que permitissem a identificação de detalhes menores no solo e conseqüentemente a possibilidade de mapeamento em escalas maiores. O lançamento do satélite IKONOS reascendeu esta expectativa. O enorme impacto visual, técnico e gerencial causado por estas imagens é provavelmente a maior revolução recente da geoinformação, depois do advento do GPS. As imagens do IKONOS chegam a assemelhar-se com as que, até pouco tempo atrás, só eram obtidas através do processo de aerofotogrametria. Mas as semelhanças param por aí. Na realidade, os dois processos de imageamento são muito diferentes, e possuem suas peculiaridades e usos específicos, produzindo resultados igualmente diversos.

Por ser uma tecnologia nova, a comunidade cartográfica impõe uma certa resistência, dúvidas quanto ao potencial de uso deste tipo de imagem, quais detalhes poderão ser identificados e com que precisão e principalmente com que custo (Filho, 2000).

Quando a questão é relacionada aos preços das imagens, isso gera uma certa controvérsia. Néia (2000) afirma que dependendo das dimensões da área a ser imageada, os preços das imagens IKONOS vão se aproximando de um

aerolevante mais preciso, que gera mapas, até que, ao final, os valores tornam-se praticamente equivalentes.

Desta forma, os usuários tendem a adquirir a imagem IKONOS tipo *Geo*, que tem menor custo quando comparada ao tipo *Precision*. Salientando, que não é possível ao usuário, por enquanto, corrigir as imagens *Geo*, pois não é possível obter detalhes do satélite e das câmeras. Porém, qual seria a escala adequada para se trabalhar com uma imagem IKONOS tipo *Geo*?

Portanto, utilizando-se do sistema GPS determinou-se coordenadas de pontos no terreno e comparou-os com seus homólogos extraídos da imagem IKONOS. Através destas discrepâncias foram realizadas análises estatísticas até a classificação do produto no que se refere a escala a ser utilizada, obedecendo as normas do Decreto Lei nº 89.817/84.

1.4 Conteúdo do Trabalho

A descrição deste item tem a finalidade de indicar em que capítulo cada assunto é abordado.

O capítulo 1 visa definir e delimitar o tema, apresentar os objetivos e a justificativa para a pesquisa. No capítulo 2 são apresentados algumas das características das imagens e satélite IKONOS, bem como, as distorções geométricas existentes. No capítulo 3 são descritos alguns conceitos teóricos sobre o sistema GPS e transformações de coordenadas. O capítulo 4 aborda conceitos que envolvem a análise da qualidade geométrica planimétrica. O capítulo 5

descreve-se a área de estudo, os materiais utilizados, o resultados do processamento dos dados coletados com o GPS, o georreferenciamento da imagem IKONOS, as discrepâncias e a análise estatística. E no capítulo 6 são apresentadas as conclusões e recomendações deste trabalho.

2 IMAGEM IKONOS

Os produtos de Sensoriamento Remoto tem feito que cada vez pessoas, de diferentes áreas, participem do processo de transformação da energia registrado pelo sensor em informação, tornando possível que os resultados obtidos através do uso de produtos de sensoriamento sejam amplamente divulgados.

As imagens orbitais obtidas através de satélites artificiais possuem como características a visão panorâmica e a periodicidade que, para o monitoramento, são de grande valor.

Atualmente, os produtos disponíveis aos usuários encontram-se bastante diversificados, principalmente no que se relaciona a resolução.

Em Sensoriamento Remoto, o termo resolução é de fundamental importância e é classificado em quatro parâmetros (Silva, 1998):

- resolução espacial : corresponde a medida de menor separação angular ou linear entre dois objetos que um sistema sensor pode identificar.
- resolução espectral : é definida pelo número de bandas espectrais que o sistema possui e pela largura que cada banda ocupa ao longo do espectro eletromagnético. Quanto maior for a número de bandas e menor for a largura de cada banda, maior a resolução espectral do sistema sensor.
- resolução temporal : definida como o intervalo de tempo entre duas aquisições consecutivas de dados de uma mesma área.

- resolução radiométrica : é a quantidade em níveis digitais, representados através de níveis de cinza, sendo esse valores discretos que o sistema sensor possui. Quanto maior essa quantidade, maior a resolução radiométrica do sistema sensor.

Com o surgimento dos satélites de alta resolução, como o IKONOS, onde o grau de detalhamento oferecido por este sensor possibilita novos usos para as imagens de satélite, permitindo melhor aproveitamento em aplicações como agricultura, recursos naturais, telecomunicações, mapeamento, planejamento urbano e outros.

O satélite IKONOS foi lançado no dia 24 de setembro de 1999, e está operacional desde janeiro de 2000, é operado pela empresa norte americana Space Imaging que detém os direitos de comercialização a nível mundial.

As imagens de alta resolução, como as geradas pelo satélite IKONOS, são consequência direta da liberação tecnológica promovida em 1994 pelo governo americano. Anteriormente, essa tecnologia estava somente disponível para satélites de fins militares.

O principal atrativo para a comunidade de usuários em Cartografia é o pixel de 1 metro, que permite a identificação da maior parte das feições representadas nos produtos cartográficos digitais. A capacidade de visada *off-nadir* é também uma característica importante do satélite IKONOS, uma vez que permite a melhora do período de revisita sobre a mesma área , de dois a três dias, bem como, também permite a geração de pares estereoscópicos.

Porém, diferentemente de outros satélites comerciais, o IKONOS não fornece informações orbitais detalhadas.

2.1 Características Técnicas da Imagem e do Satélite IKONOS

O satélite IKONOS possui um sensor que permite obter imagens de alta resolução, que apresenta as seguintes características técnicas, segundo a empresa Space Imaging (2001), conforme pode ser visto na Tabela 2.1.

Tabela 2.1– Características técnicas da imagem e do satélite IKONOS

| | |
|------------------------------------|---|
| Altitude | 680 km |
| Inclinação | 98,1° |
| Velocidade | 7 km/s |
| Sentido de órbita | Descendente |
| Duração da órbita | 98 min |
| Tipo de órbita | Sol – síncrona |
| Ângulo de visada | Rápida alternância entre diferentes ângulos |
| Resolução no terreno de cada banda | Pancromática : 1m (considerando posição nominal de 26° fora do nadir) Multispectral : 4m (considerando posição nominal de 26° fora do nadir) |
| Bandas espectrais | Pan → 0,45 a 0,90μ Azul → 0,45 - 0,52μ Verde → 0,52 - 0,60μ Vermelho → 0,63 - 0,69μ Infra vermelho próximo → 0,76 – 0,90μ |

Continua ...

| | |
|-----------------------------|---|
| Tamanho das cenas sugeridos | Faixa de 11 km x 100 km até 11 km x 1000 km Mosaicos de até 12000 km ² Até 20000 km ² de área contínua imageada em uma única passagem |
| Acurácia métrica | <ul style="list-style-type: none"> - Correção de sistema sem pontos de controle cartográficos (tipo <i>Map</i>) <ul style="list-style-type: none"> . Horizontal : 12m . Vertical : 10m . Precisão relativa de pelo menos 90% da cena - Correção de sistema com pontos de controle cartográficos (tipo <i>Precision Plus</i>) <ul style="list-style-type: none"> . Horizontal : 2m . Vertical : 3m . Precisão relativa em pelo menos 90% da cena |
| Tempo de revisita | <p>Pan : 2,9 dias</p> <p>Multispectral : 1,5 dia</p> <p>Esses valores referem-se a alvos ao longo da latitude de 40°. O tempo de revisita para latitudes maiores será menor, enquanto que para latitudes próximas ao Equador, o tempo será mais longo</p> |

Mais algumas especificações das imagens IKONOS, segundo a Space Imaging Web (2001) :

- possibilidade de combinação de imagens preto e branco (*gray scale*) com dados multispectrais para a geração de imagens coloridas com 1m de resolução;
- radiometria de 11 bits (2048 níveis de cinza) aumenta o poder de contraste e de discriminação das imagens;

- as imagens possuem grande resolução espacial (discriminar alvos aumentando os detalhes) aliada a grande precisão cartográfica. A precisão cartográfica é obtida através da ortocorreção e/ou retificação das imagens;
- para se conseguir resolução espacial, as bandas espectrais dos sensores no visível são mais largas (quando comparadas com Landsat 5 e 7), permitindo uma maior penetração na atmosfera e maior poder de discriminação dos alvos terrestres, principalmente da cobertura vegetal, áreas sombreadas e de corpos d'água;
- capacidade de efetuar visadas no sentido e perpendicularmente a sua órbita, aumentando a frequência de revisita e possibilitando a aquisição de par estereoscópico, utilizados para trabalhos de restituição de altimetria;
- imagens com 4m de resolução espacial oferecem até 25 vezes mais informações que imagens com 20m de resolução;
- com imagens pancromáticas de 1metro é possível distinguir objetos do tamanho de $1m^2$.

2.2 Níveis de Correção da Imagem IKONOS

Segundo recomendações oficiais da Space Imaging, o produto mais avançado da linha Carterra, o *Precision Plus* (ainda não disponível no Brasil) pode operar em uma escala máxima de até 1 : 2500, usando pontos de controle terrestre e modelo digital de terreno para atingir um desvio padrão de apenas

1 metro. No Brasil, estão disponibilizadas algumas das variantes das imagens de satélite de alta resolução IKONOS, os produtos *Geo*, *GeoOrto*, *Reference*, *Pro* e *Precision*, todos com 1 metro de resolução espacial pancromática ou 4 metros no multispectral, porém submetidos a tratamentos diversos para atender finalidades distintas, segundo Filho (2000).

Na aquisição do produto *Geo*, o mais barato e com menor precisão, o cliente recebe a imagem da forma como foi captada do satélite, sem qualquer tratamento adicional, além da correção geométrica. Possui uma precisão de 50 m CE90 (CE90 é a precisão posicional circular com um nível de certeza de 90%), o que significa que qualquer ponto dentro da imagem está dentro de um raio horizontal de 50 metros a partir de sua posição verdadeira na superfície da Terra, em 90% dos casos. A precisão torna-se pior em áreas montanhosas, principalmente se as imagens forem adquiridas com uma visada *off-nadir* (Toutin e Cheng, 2000).

A imagem *Geo Orto* consiste da imagem tipo *Geo* integrado a um Modelo Geométrico de Imageamento (MGI). O MGI é constituído pela equação e os parâmetros de imageamento do sensor IKONOS no momento da tomada da imagem e, que são necessários para corrigir a imagem de suas deformações devidos ao relevo local. A precisão posicional do produto *Geo Orto* é idêntica ao do *Geo* (Space Imaging Web, 2001).

Já as imagens *Reference* passam por um processo mais elaborado de correção, são ortoretificadas e apresentam um erro de posicionamento padrão de 25 metros.

O produto *Pro*, também ortoretificada (correção do sistema através de uma reamostragem geométrica), apresenta um erro de posicionamento padrão de 10 metros (Toutin e Cheng, 2000).

No produto *Precision*, o usuário deve fornecer os pontos de controle e um modelo digital de terreno à Space Imaging para que esta gere uma imagem ortoretificada e o erro de posicionamento padrão deste produto é de 4 metros.

Na Tabela 2.2 pode ser visto um resumo das precisões dos produtos, bem como os preços dos produtos pancromático básico com 1m de resolução (Space Imaging Web, 2001).

Tabela 2.2 – Exatidão e preços dos produtos IKONOS (Fonte : Space Imaging)

| Produto | Exatidão CE90 | Preço em Dólar Americano por Km ² |
|-----------|---------------|--|
| Geo | 50 m | US\$ 35 |
| Geo Orto | 50 m | US\$ 62 |
| Reference | 25 m | US\$ 62 |
| Pro | 10 m | US\$ 98 |
| Precision | 4 m | US\$ 136 |

2.3 Distorções Geométricas

Qualquer imagem de satélite que venha a ser utilizada em mapeamentos temáticos ou na cartografia sistemática, deve preferencialmente, passar por um

processo de avaliação de sua qualidade. O sistema de imageamento é afetado por diversas fontes de erro, os quais introduzem distorções geométricas na imagem. Estes erros podem ser classificados em internos e externos.

2.3.1 Distorções Externas

Os erros externos são condicionados aos efeitos da plataforma e das condições de imageamento e segundo Machado e Silva et al., 1984, as distorções externas são :

a. Variação da atitude ao longo da cena

O ângulo *roll* (rolamento) é responsável por ligeira distorção na varredura, devido a não ortogonalidade da visada. Já a variação do *roll* ao longo da cena provoca o não alinhamento das varreduras consecutivas (Figura 2.1). Esta distorção afeta apenas a imagem no sentido da varredura.

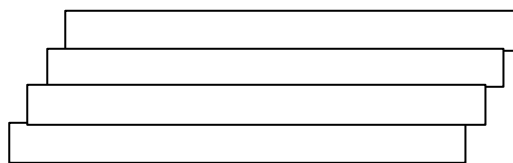


Figura 2.1 – Efeito provocado pela variação do *roll*

O ângulo *pitch* também é responsável por pequenas distorções na imagem, devido a não ortogonalidade da visada, enquanto que a variação do *pitch* ao longo

da cena provoca superposições, positivas ou negativas, entre varreduras consecutivas (Figura 2.2). Esta distorção afeta a imagem apenas no sentido transversal à varredura.

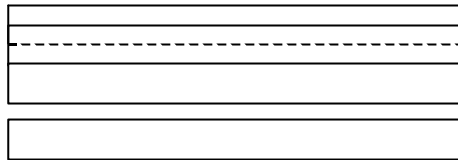


Figura 2.2 – Efeito provocado pela variação do *pitch*

O *yaw* é responsável por um não alinhamento das varreduras devido à rotação sofrida por cada umas destas (Figura 2.3a). A variação do *yaw* ao longo da cena pode provocar superposição positiva e negativa entre duas varreduras consecutivas, resultando num efeito semelhante a um leque (Figura 2.3b).

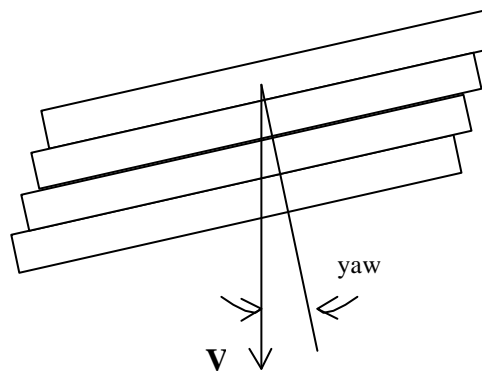


Figura 2.3 a – Efeito *yaw* de não alinhamento das varreduras

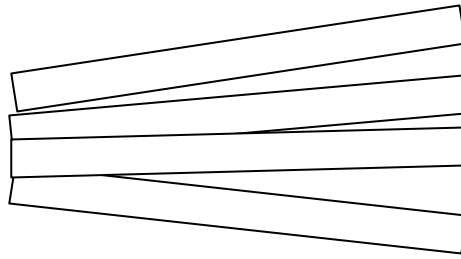


Figura 2.3 b – Efeito *yaw* provoca superposição semelhante a um leque

b. Variação da altitude ao longo da cena

A variação da altitude provoca um efeito de variação da escala, no sentido da varredura, ao longo da cena.

c. Variação da velocidade do satélite ao longo da cena

A velocidade do satélite pode provocar superposição, positiva ou negativa, entre varreduras consecutivas, provocando uma variação na escala da imagem no sentido transversal à varredura. A correção desta distorção leva em conta um valor nominal para a velocidade do satélite, de tal forma que com esta velocidade nominal haja uma perfeita justaposição das varreduras. Esta velocidade é função da frequência de varredura do espelho, e da dimensão da varredura ao longo da órbita.

Se a velocidade do satélite for menor que a nominal haverá superposição positiva das varreduras, caso contrário haverá superposição negativa (Figura 2.4).

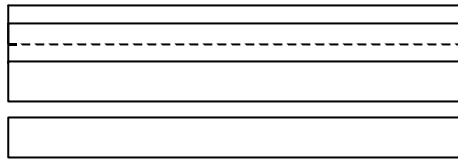


Figura 2.4 – Efeito provocado pela variação de velocidade

d. Rotação da Terra

O efeito provocado pela rotação da Terra deve-se ao movimento simultâneo entre o satélite e a Terra. Durante o movimento passivo do espelho, a Terra estará no seu processo natural de rotação, provocando o não alinhamento entre varreduras consecutivas (Figura 2.5).

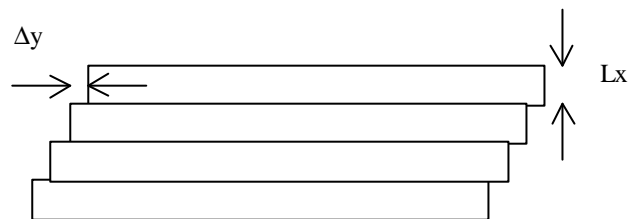


Figura 2.5 – Efeito provocado pela rotação da Terra

2.3.2 Distorções Internas

Os erros internos são aqueles causados por distorções inerentes ao sensor e segundo Machado e Silva, 1984, podem ser:

a. Arrastamento da imagem durante uma varredura

Esta distorção deve-se ao movimento simultâneo do satélite e do espelho, e caracteriza-se por um arrasto no sentido transversal à varredura. A distorção varia linearmente ao longo da varredura, conforme Figura 2.6.

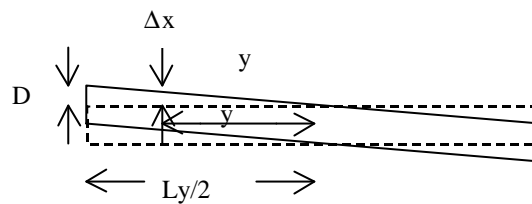


Figura 2.6 – Arrastamento de uma varredura

b. Variação no tempo útil de varredura

A variação no tempo útil da varredura provoca uma variação no número de pixels registrados na varredura, pois o intervalo de amostragem de pixels é constante. A consequência é uma aparente variação no comprimento da varredura. O efeito é uma variação de escala ao longo de varredura.

3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – NAVSTAR-GPS

O Sistema de Posicionamento Global, NAVSTAR – GPS, conhecido como GPS, é um sistema de rádio-navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, visando ser o principal sistema de navegação das forças armadas americana. Em razão da alta exatidão proporcionada pelo sistema e do alto grau de desenvolvimento da tecnologia envolvida, uma grande comunidade usuária emergiu nas mais variadas aplicações civis, por exemplo, posicionamento geodésico e topográfico.

Basicamente a navegação é realizada através da medida das chamadas pseudodistâncias entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência adequado, com três medidas de pseudodistância, é possível, do ponto de vista geométrico determinar as coordenadas da antena do receptor, no mesmo sistema de referência dos satélites, porém, devido ao não sincronismo entre os relógios responsáveis pela geração do código no satélite e sua réplica no receptor faz-se necessário a obtenção de no mínimo quatro medidas para esta determinação

Para os usuários da área de Topografia e Geodésia, uma característica importante da tecnologia GPS, em relação aos métodos de levantamento convencionais, é a não necessidade de intervisibilidade entre as estações, além de poder ser usado sob quaisquer condições climáticas.

O GPS utiliza normalmente duas observáveis fundamentais (Monico, 2000):

- a fase da onda portadora (portadoras L1 e L2) que é a diferença entre a fase do sinal do satélite recebido no receptor e a fase do sinal gerado no receptor, ambas no instante da recepção e;
- a pseudodistância (código P(Y) modulado nas portadoras L1 e L2 e C/A modulado na portadora L1) é obtida pela multiplicação do intervalo de tempo de propagação do sinal, resultante do processo de correlação (nesta técnica, o receptor correlaciona o código gerado por ele próprio com o código recebido do satélite), pela velocidade da luz.

3.1 Técnicas de Posicionamento GPS

O posicionamento geodésico pode ser realizado na forma absoluta (pontual) e relativa.

3.1.1 Posicionamento por Ponto

O posicionamento por ponto consiste na determinação das coordenadas tridimensionais de pontos sobre a superfície terrestre com relação a um sistema de referência tridimensional, cuja origem é o centro de massa da Terra. Este método é mais utilizado em navegação de baixa precisão e levantamentos expeditos. O posicionamento instantâneo de um ponto (tempo real), usando a pseudodistância derivada do código C/A, presente na portadora L1, apresenta precisão planimétrica em torno de 10 metros com 95 % de probabilidade (Monico, 2000).

Se a coleta de dados sobre um ponto estacionário for de longa duração, a

qualidade dos resultados não melhora significativamente, em razão dos vários erros sistemáticos envolvidos na observável utilizada. É possível incluir no processamento, além da pseudodistância, a fase da onda portadora, caso esteja disponível. No entanto, a utilização desta combinação não é uma prática muito comum neste tipo de posicionamento, pois para uma única época, não proporciona refinamento da solução (Monico, 2000).

Os diversos DOPs (*Dilution Of Precision*), freqüentemente usados em navegação, são obtidos a partir do conceito de posicionamento por ponto. O DOP auxilia na indicação da precisão dos resultados que serão obtidos. Os DOPs são números que refletem a geometria dos satélites no espaço com relação ao ponto que se quer utilizar para determinar as coordenadas, sendo tanto melhor quanto menor for seu valor. No geral, DOPs que indicam boa geometria, são aqueles que possuem valores por volta de 3, adequados para a maioria das aplicações (Monico, 2000). Existem vários tipos de DOPs, sendo eles:

- VDOP: para posicionamento vertical,
- HDOP: para posicionamento horizontal,
- TDOP: para determinação de tempo,
- PDOP: para posicionamento tridimensional,
- GDOP: para posicionamento tridimensional e de tempo.

3.1.2 Posicionamento Relativo

Atualmente, o usuário dispondo de apenas um receptor poderá efetuar posicionamento relativo. Isto é possível devido aos chamados Sistemas de

Controle Ativos (SCA), onde receptores continuamente rastreiam os satélites visíveis e os dados podem ser acessados via sistema de comunicação. Deverá para tal, acessar os dados de uma ou mais estações pertencentes ao SCA. Neste caso, o sistema de referência do SCA será introduzido na solução do usuário, via as coordenadas das estações utilizadas como estação de referência (Monico, 2000).

O posicionamento relativo permite obter posições com alto grau de acurácia, podendo variar do metro até poucos milímetros. O método é suscetível de ser realizado usando uma das seguintes observáveis:

- a pseudodistância,
- a pseudodistância suavizada pela portadora,
- a fase da onda portadora e
- a combinação da fase da onda portadora e pseudodistância.

Dentro do conceito de posicionamento relativo encontram-se diversas técnicas de levantamento, porém, de acordo com a necessidade do trabalho, limitar-se a dois métodos :

a. Posicionamento Relativo Estático

Trata-se da técnica mais utilizada em posicionamento geodésico, na qual os receptores (base e móvel) rastreiam simultaneamente os mesmos satélites por um período mínimo de 20 minutos e máximo de algumas horas.

Também, o tempo de ocupação da estação base depende muito da exatidão requerida. Pois, quanto melhor, maior será tempo de ocupação.

No posicionamento relativo estático o período de ocupação das estações base é longo, então, só as duplas diferenças da fase (diferença entre duas simples diferenças formadas entre dois receptores) da onda portadora serão incluídas como observáveis. Portanto, a outra observável do GPS que é a pseudodistância não melhora os resultados de forma significativa. Mas, mesmo assim, as pseudodistâncias devem estar disponíveis, pois são utilizadas no pré-processamento para estimativa do erro do relógio do receptor (Monico, 2000).

O posicionamento relativo estático é adequado para levantamento de linhas bases maiores que 10 km e permite obter precisão da ordem de 0,1 a 1,0 ppm, ou melhor.

b. Posicionamento Relativo Estático Rápido

É similar ao posicionamento estático. Neste caso, as ocupações não ultrapassam vinte minutos. Um receptor serve como base, permanecendo fixo sobre uma estação de referência, coletando dados, enquanto que um outro receptor percorre as estações de interesse, onde permanece parado para realizar a coleta dos dados, cerca de 5 a 20 minutos. Não há, porém, a necessidade de manter o receptor ligado durante o deslocamento entre as estações.

Os dados coletados simultaneamente nas estações de referência e nas estações a determinar, formando várias linhas bases, são processados. Para que os resultados apresentem razoável nível de precisão, o vetor ambigüidade, que é o número inteiro de ciclos entre o satélite e o receptor no início do período de

rastreio, envolvido em cada linha deve ser solucionado, isto é, fixado como inteiro (Monico, 2000).

O posicionamento relativo estático rápido é adequado para levantamento de linhas bases de até 10 km, e sob circunstâncias normais, sua precisão varia de 1 a 10 ppm.

3.2 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)

As redes geodésicas eram tradicionalmente “passivas” e, materializadas por vértices com coordenadas conhecidas, onde os usuários ocupavam todas as estações. Com o advento do GPS e sua capacidade de possibilitar 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 das coordenadas geodésicas; obtendo-se as medições da estação de partida simultaneamente de outros receptores GPS, que neste caso ocupam uma rede composta por estações de coleta permanente de dados GPS. A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) se insere dentro deste conceito (Fortes e Godoy, 1991).

A RBMC é uma rede que materializa um sistema geodésico de referência tridimensional, no qual os usuários não necessitam ocupar estações constituintes, estando a implantação, operação, manutenção, controle e distribuição dos dados sob a responsabilidade do IBGE. A RBMC, atualmente, é composta por treze estações, sendo que duas pertencem ao IGS (*International GPS Service*), conforme pode ser visto na Figura 3.1.



Figura 3.1 – Estações da RBMC

Ao final de sua implantação, os usuários GPS, em qualquer lugar do país, não se encontrarão a mais de 500 km de uma das estações pertencentes a RBMC. Na prática, isto significa que o limite de afastamento de receptores móveis em relação a estações da RBMC para o transporte de coordenadas, com precisão em torno de 1 a 2 ppm, é determinado pela classe do receptor, ou seja, pela capacidade de rastrear a fase da portadora em uma ou nas duas frequências.

Quando os receptores utilizados forem diferentes dos da RBMC (Trimble 4000 SSI), é necessário a conversão dos dados para o formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), o qual consiste de três arquivos ASCII, arquivo de observações, dados meteorológicos e de mensagens de navegação. Este

formato foi desenvolvido visando facilitar o intercâmbio de dados entre receptores de diferentes fabricantes.

Uma das estações da RBMC está localizada na Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP, Câmpus de Presidente Prudente.

3.3 Sistema de Referência

Os sistemas de referência utilizados para o posicionamento com o GPS devem ser bem definidos e consistentes, uma vez que estes servirão para modelar as observáveis, descrever órbitas, representar, interpretar e transformar resultados (Monico, 2000). Deve-se observar que a acuracidade do sistema escolhido deve ser compatível com o sistema de posicionamento.

Os sistemas utilizados no posicionamento via satélites são, em sua maioria, gerais e geocêntricos, uma vez que o movimento dos satélites ocorre em torno do centro de massa da Terra. As estações são representadas num sistema fixo à Terra, rotacionando com a mesma.

Deve-se conhecer a diferença entre um sistema de referência e a sua realização. Um sistema de referência é definido, através de vários fatores relacionados à deformação da Terra a nível global, regional e local; envolve, ainda, teorias fundamentais e padrões a serem adotados. Por sua vez, a realização do sistema refere-se a uma rede de pontos ou objetos com as respectivas coordenadas dos mesmos, para uma época em particular (Araújo, 1999).

3.3.1 Sistema de Referência associado ao GPS

O sistema de referência utilizado pelo GPS é o WGS 84 (*World Geodetic System 1984*). Sua origem é geocêntrica, ou seja, o centro de massa da Terra, sendo que seus eixos cartesianos X, Y e Z são coincidentes com os do Sistema de Referência Terrestre Convencional (CTRS) na época 1984,0.

Os parâmetros do sistema WGS 84 são:

- semi-eixo maior : $a = 6378137$ m
- achatamento : $f = 1 / 298,2572221$

3.3.2 Sistema Geodésico Brasileiro

A fixação de um elipsóide é feita através da escolha de um ponto origem de suas coordenadas geodésicas (ϕ, λ), bem como de um valor para a ondulação geoidal (N) e das componentes do desvio da vertical. A orientação é realizada através do azimute geodésico de uma direção inicial. Assim, é caracterizado um Datum Geodésico Horizontal e que conduz à idéia de Sistema Geodésico Definido.

Os métodos geodésicos clássicos ou as modernas técnicas permitem que sejam obtidas coordenadas em pontos materializados no terreno, vinculados ao ponto origem. O conjunto de marcos estabelecidos desta forma é chamado de Sistema Geodésico Materializado.

No Brasil, foi adotado durante anos, como origem, o Datum Córrego Alegre, localizado nas proximidades de Uberaba, e que constituía a sua origem.

Os elementos característicos deste vértice eram:

$$\phi_G = \phi_A = 19^\circ 50' 15,14'' \text{ S}$$

$$\lambda_G = \lambda_A = 48^\circ 57' 42,75'' \text{ W}$$

$$A_G = 128^\circ 21' 48,96'' \text{ SWNE}$$

$$N = 0,0 \text{ m}$$

sendo adotado como elipsóide de referência o de Hayford, cujos parâmetros eram:

$$a = 6\,378\,388,000 \text{ m}$$

$$f = 1 / 297,00$$

A partir de 1979 a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), adotou como referencial para as coordenadas geodésicas o chamado South American Datum 1969 (SAD 69), cuja origem é o vértice Chuá. Os elementos característicos deste vértice são:

$$\phi_G = 19^\circ 45' 41,6527'' \text{ S}$$

$$\lambda_G = 48^\circ 06' 04,0639'' \text{ W}$$

$$A_G = 271^\circ 30' 04,05'' \text{ SWNE}$$

$$N = 0,0 \text{ m}$$

sendo a componente meridiana $\xi = -0,31''$ e o componente 1º vertical $\eta = 3,52''$, e tendo como elipsóide o Sistema de Referência Internacional de 1967, cujos parâmetros são:

$$a = 6\,378\,160,000 \text{ m}$$

$$f = 1 / 298,25$$

O referencial altimétrico é coincidente com a superfície equipotencial que contém o nível médio dos mares, observado no marégrafo de Imbituba, litoral de Santa Catarina.

Considerando a definição e a realização do Sistema Geodésico Brasileiro e os sistema de referência WGS 84, conclui-se que tratam de diferentes sistemas. Como os documentos cartográficos no Brasil, na sua maioria, referem-se ao SAD 69, deve-se realizar transformações matemáticas de modo a definir uma representação única para os mapas.

3.3.3 Transformação de Datum

Ao definir um sistema de projeção é necessário determinar qual a superfície que está sendo adotada como modelo para a Terra, ou seja, se está sendo considerada a Terra como um esferóide ou um elipsóide. Na maioria das projeções a superfície que irá representar a Terra são os elipsóides, que melhor representam a superfície da Terra para uma mesma projeção ou sistema, é possível

ter diferentes sistemas geodésicos, o que torna necessário a realização de transformações matemáticas para definir a representação única do mapa.

O mapeamento do território nacional foi referenciado durante muitos anos ao Datum Córrego Alegre até sua mudança, a partir de 1979, para o Datum SAD69. Já o sistema de referência usado pelo GPS é o WGS 84, portanto diferente dos adotados no Brasil.

Em função da diversidade de *Data*, há necessidade do uso de parâmetros de transformação para que se possam realizar conversões entre eles. Vale ressaltar que se encontra em discussão a adoção no Brasil do SIRGAs (*Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas*), um novo sistema geodésico que pretende unificar os sistemas utilizados na América Central e do Sul, padronizando todos os países em um único sistema (Monico, 2000).

De acordo com os parâmetros oficiais adotados no Brasil têm-se :

- transformação das coordenadas do WGS 84 para o SAD 69 e vice-versa :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS84} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SAD69} + \begin{bmatrix} -66,87 \\ 4,37 \\ -38,52 \end{bmatrix} m$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SAD69} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS84} + \begin{bmatrix} 66,87 \\ -4,37 \\ 38,52 \end{bmatrix} m$$

- transformação das coordenadas do SAD 69 para o Córrego Alegre e vice-

versa :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{COR.ALEGRE} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SAD69} + \begin{bmatrix} 138,70 \\ -164,40 \\ -34,40 \end{bmatrix} m$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SAD69} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{COR.ALEGRE} + \begin{bmatrix} -138,70 \\ 164,40 \\ 34,40 \end{bmatrix} m$$

4 QUALIDADE DE DADOS ESPACIAIS

O tipo de produto oferecido, as necessidades que o originaram e o próprio usuário, impõem a necessidade de que seja alcançado um elevado nível de confiança do material resultante do processo cartográfico, o que só é possível através da utilização de um processo de controle de qualidade. Devido à grande quantidade de informação contida em cada documento produzido, torna-se inviável a realização de uma checagem em 100 % dos referidos documentos.

Nesse sentido, tem-se, como essência da discussão, os termos qualidade e controle.

4.1 Controle de Qualidade de Dados Espaciais

Com o avanço da tecnologia digital e a inserção da cartografia neste contexto, novos problemas começaram a surgir, como a falta de normas adequadas, parâmetros de avaliação e conversão de dados (Leal e Dalmolin, 1999).

A cartografia digital foi pensada e desenvolvida a princípio para acelerar a produção de mapas e tornar mais ágeis os processos de edição, incluindo as generalizações, correções, atualizações e todo um rol de procedimentos que no processo cartográfico convencional torna-se dispendioso e demorado.

A questão da manutenção e da melhoria da qualidade do produto surgiu como uma abordagem secundária, não que estas fossem menos importantes do que as demais, mas, principalmente, devido à necessidade de produção e pelo

dinamismo que domina as tecnologias digitais em termos de *software* e *hardware*. As necessidades de mapeamento são crescentes, enquanto as alternativas são paradoxais, pois quando se prioriza a produção, a qualidade tende a decrescer (Leal e Dalmolin, 1999).

Na busca de um equilíbrio entre qualidade e quantidade, desenvolveu-se a checagem com a ajuda da estatística, surgindo assim a teoria do controle de qualidade, que pode ser aplicada em todas as áreas, inclusive a Cartografia.

Essa teoria tem na probabilidade e estatística uma forte aliada na busca de seus objetivos. Atualmente, pode-se falar de controle de qualidade com conceitos e padrões próprios de uma área emergente e de ilimitados horizontes.

O termo “qualidade” pode ser definido como sendo o grau de perfeição a atingir. Comumente, encontra-se na literatura autores que definem qualidade como sendo satisfazer o cliente, ou seja, é a melhor forma de atender às necessidades explícitas ou implícitas do consumidor.

Para satisfazer as necessidades dos usuários é imperativo um cuidado maior nos processos que norteiam o produto, pois caso ocorram erros, haverá perda na qualidade e conseqüentemente, aumento no custo final (Burity, 1999).

A qualidade é afetada por vários fatores, dentre os quais destacam-se o mercado para o qual o produto é dirigido, o profissional que o produz, o dinheiro disponível para a produção, o tipo de administração e os materiais, máquinas e métodos empregados.

A meta do controle de qualidade é evitar, no processo de produção, itens de qualidade insatisfatória. Desta forma, a qualidade no processo produtivo não é somente a exatidão dos dados, mas também a diminuição dos custos e o aumento

(rapidez) da produção. Um sistema de controle de qualidade deve cumprir, em cada etapa de produção, todos os requisitos básicos exigidos conforme as especificações e as normas preestabelecidas. Portanto, são necessárias algumas mudanças no processo produtivo destes dados.

A comprovação da necessidade de mudanças na produção dos dados espaciais e na busca de qualidade, reflete-se na adoção das normas do ISO 9000.

O sistema de qualidade ISO 9000 foi oficializada em 1987 pela *International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Normalização Técnica), com sede em Genebra, Suíça. É um conjunto de regras escritas e mínimas que tem por objetivo organizar o funcionamento eficiente da função de qualidade na empresa. Tem o objetivo de orientar cada parte da empresa para que execute corretamente, e no tempo devido, a sua tarefa, em harmonia com as outras, estando direcionadas para um objetivo comum da empresa, que é normalmente o lucro. O modelo ISO 9000 é o que vem sendo cada vez mais adotado no mundo, pela sua simplicidade e eficácia (Sato e Silva, 1999).

No Brasil, o que se realiza em termos de controle de qualidade de produtos cartográficos difere dos padrões internacionais, visto que as nossas organizações não têm tradição neste tipo de procedimento e historicamente desenvolveram uma cartografia norteada pelos métodos analógicos tradicionais (Leal e Dalmolin, 1999).

Somente com o Decreto Federal nº 89.817 de 20 de junho de 1984, que ainda está em vigor, passou-se a ter um embasamento técnico e legal para a classificação de documentos cartográficos, quanto à sua exatidão. Este, no entanto, carece de normas complementares para o seu perfeito entendimento e

cumprimento, faltando ser fixada uma metodologia para a execução de operações de campo e de gabinete, que permita um seguro enquadramento do produto em uma das classes especificadas no Decreto ou, caso não alcance, que possibilite estimar o erro a temer em seu uso.

Outro grande problema é que os usuários não exercem o seu próprio controle, o que possibilitaria o surgimento de sugestões e críticas que chegando ao conhecimento dos órgãos e empresas produtoras praticamente obrigaria estes a se aprimorar em cada vez mais em relação a qualidade de seus produtos. Pode-se considerar que esta falta de ligação entre os produtores e os usuários, é responsável em grande parte pela manutenção de um nível de qualidade aquém do que se poderia atingir (Leal, 1998).

O termo qualidade, quando citado no contexto da Cartografia, confunde-se com a qualidade posicional em primeira instância. A qualidade posicional é inerente aos processos e métodos utilizados na produção de cartas. Porém, é sem dúvida a principal preocupação dos produtores (de mapeamento) e dela depende a classificação final do produto. É importante salientar que, independentemente do produto ser analógico ou digital, sua validação pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é a mesma (Francisco, 2001).

Mas vale ressaltar que, segundo Leal (1998), ocorre uma degradação na qualidade posicional de uma carta, à medida em que esta é transformada, do meio analógico, para o digital, através do processo de digitalização vetorial.

À medida em que a tecnologia utilizada nos procedimentos de mapeamento desenvolve-se com espantosa velocidade, o número de usuários não especialistas em mapeamento também aumenta, e justamente em função de um

certo despreparo dos mesmos, a questão da qualidade geométrica é muitas vezes esquecida, ou simplesmente considera-se que o produto utilizado é “geometricamente adequado”. É lógico que cada aplicação tem sua tolerância e à medida que ela aumenta esta preocupação pode-se tornar desprezível, mas mesmo assim é importante conhecer a qualidade do produto utilizado (Galo e Camargo, 1994).

Assim como a qualidade posicional, outros parâmetros fazem parte da qualidade de dados para a Cartografia. Dentre eles, pode-se citar como mais importante a linhagem, acurácia de atributos, completeza, consistência lógica, acurácia semântica e acurácia temporal (Guptill e Morrison, 1995). Dentro do contexto desse trabalho, apenas a acuracidade posicional será descrita.

4.2 Acurácia Posicional

A acurácia posicional pode ser definida como um parâmetro de qualidade indicador do afastamento esperado de um objeto em relação à sua posição real no terreno (Östman, 1997). O termo relaciona-se com a exatidão do resultado e se distingue da precisão.

É importante aqui diferenciar exatidão (acurácia) de precisão. A precisão está ligada à dispersão das observações em torno do seu valor médio, e possibilitará ao usuário da carta, a avaliação do erro médio cometido ao tomar direções e distâncias entre os diversos pontos nela representados (Brito, 1987); enquanto que, a exatidão ou acurácia está relacionada com o afastamento do valor real, ou seja, o afastamento das coordenadas retiradas da carta em relação às

coordenadas do terreno, referidas ao Sistema Geodésico no qual a carta foi produzida.

Como na cartografia a posição de uma entidade do mundo real é descrita por valores em um sistema de coordenadas apropriado, pode-se considerar a acurácia posicional como sendo a representação da proximidade desses valores para a posição “verdadeira” da entidade naquele sistema. É importante ressaltar que essa verdadeira posição pode ser obtida através de um mapa de melhor acurácia e das coordenadas provenientes de levantamento topográfico ou geodésico (Drummond, 1995).

A acurácia posicional pode ser classificada em:

- Base Matemática : Deve existir coerência entre os valores das coordenadas dos pontos de controle que definem o formato da carta (coordenadas de canto) e o grid, com seus valores teóricos. Ou seja, quando impressas as cartas, o erro de deslocamento deve ser menor que 0,1 mm, o que induz à utilização de plotters de precisão para essa tarefa. O erro gráfico, mais enfatizado na literatura da área, deve ser menor que 0,2 mm; e o erro ao longo da diagonal das cartas deve ser menor que 0,3 mm.

- Planimétrica : Está relacionada com a posição relativa das coordenadas em comparação com os pontos de controle no terreno. Para caso de pontos extraídos de cartas, estes são comparados com os mesmos medidos no terreno. Através de cálculos estatísticos, o resultado obtido

deve ser menor ou igual ao erro máximo permitido para a classe da carta.

- Altimétrica : Idem ao item anterior, considerando as informações altimétricas do terreno e observando as especificações de erro máximo admissível para posicionamento altimétrico.

- Entre Cartas Adjacentes : As informações contínuas contidas em cartas adjacentes devem ser naturalmente unidas, sem que exista deslocamento geométrico entre feições.

Notou-se, portanto, que para entender à acurácia posicional é necessário, em primeira instância, identificar os passos que contribuem à determinação das coordenadas dos pontos e, numa segunda etapa, determinar o erro introduzido em cada passo. Sendo assim, finalmente, o efeito cumulativo desses erros pode ser determinado.

4.2.1 Padrões de Exatidão Cartográfica

Entende-se por Padrões de Exatidão Cartográfica um conjunto de critérios e normas estabelecidas e que norteiam os processos de determinação e quantificação da exatidão de uma carta.

Na utilização de qualquer material cartográfico é aconselhável um conhecimento prévio de sua precisão, podendo a não observância desta

recomendação incorrer em resultados que fiquem aquém do objetivo desejado (Burity, 1999).

Uma forma de verificação da precisão de um dado de uma carta é a comparação entre as suas informações e as informações de campo, através de um processo de medição confiável.

Para tal comprovação são medidas a exatidão e precisão através de cálculos estatísticos das discrepâncias entre as coordenadas de pontos da carta e as coordenadas dos pontos homólogos obtidas a partir de observações realizadas no campo e consideradas como coordenadas de referência.

A verificação da exatidão dos pontos de uma carta, através de um teste de campo, baseado em uma amostra de pontos dessa carta, é feita de formas diferentes em cada país, pois este tipo de controle é muito influenciado pelas peculiaridades dos mesmos, como por exemplo: dimensão, situação econômica dentre outros.

Na literatura existente, pode-se verificar que na França, o número de pontos para o teste de campo tende a ser grande, o que não ocorre na Holanda, onde esse número tende a ser mínimo, embora sejam, ambos, países de dimensões reduzidas, o que poderia a priori, pressupor uma igualdade no número de pontos testados (Telles e Rodrigues, 1990).

No caso do Brasil, a legislação vigente, o Decreto nº 89.817/84, não trata desse assunto, e como nossas instituições produtoras de mapas têm pouca experiência nesse tipo de controle, não existe uma especificação que sugere o número de pontos que devam ser levantados em campo.

De acordo com Merchant (1982), a exatidão de um mapa deve ser verificada utilizando-se de pelo menos vinte pontos bem definidos, de modo a recobrir toda a área de estudo de forma homogênea e bem distribuídos espacialmente.

Ainda, segundo Merchant (1982), os testes específicos para a análise de exatidão de um mapa são realizados em função da exatidão cartográfica. Primeiramente, envolve um teste de detecção de tendências, que apura se os resultados estão isentos de erros sistemáticos. Em seguida, trata de uma análise de precisão, onde esses testes são baseados num nível de significância de 90%, segundo o Decreto Lei nº 89.817/84. A análise de tendência baseia-se na distribuição t de Student, enquanto que a análise de precisão na distribuição Qui-quadrado. Os testes de hipóteses são efetuados sobre a média e desvio padrão amostral das discrepâncias em E e N.

4.2.1.1 Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) no Brasil

No Brasil, o Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984 - Instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional se destinam a estabelecer procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de normas da Cartografia Nacional, bem como padrões mínimos a serem adotados no desenvolvimento das atividades cartográficas.

Apresenta-se em seguida, o Capítulo II, artigos 8º e 9º, as normas que estabelece a forma de classificar um documento cartográfico segundo sua qualidade geométrica.

- **Classificação de uma carta quanto à exatidão**

“Art. 8 : As cartas, quanto à exatidão, devem obedecer ao Padrão de Exatidão cartográfica, segundo o critério abaixo indicado:

- a. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico – Planimétrico - estabelecido.

- b. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico – Altimétrico - estabelecido.

Parágrafo Primeiro : Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico por dispersão, relativo a 90% (noventa por cento) de probabilidade, que define a exatidão dos trabalhos cartográficos.

Parágrafo Segundo : A probabilidade de 90% (noventa por cento) corresponde a 1,6449 vezes do Erro Padrão - $PEC = 1,6449 EP$.

Parágrafo Terceiro : O Erro Padrão isolado num trabalho cartográfico não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

Parágrafo Quarto : Para efeito das presentes instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro Padrão, Desvio Padrão e Erro Médio Quadrático.

- **Classes de cartas**

Art. 9 : As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas classes A, B e C, segundo os seguintes critérios:

a. Classe A

- Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico: 0,5mm na escala da carta, sendo de 0,3mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.
- Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro Padrão correspondente.

b. Classe B

- Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico: 0,8mm na escala da carta, sendo de 0,5mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.

- Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico: três quintos da distância entre as curvas de nível, sendo de dois quintos desta equidistância o Erro Padrão correspondente.

c. Classe C

- Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico: 1,0mm na escala da carta, sendo 0,6mm na escala da carta o Erro Padrão correspondente.
- Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas de nível, sendo a metade desta equidistância o Erro Padrão correspondente.”

A Tabela 4.1 apresenta um resumo dos diferentes valores do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erro Padrão (EP) – Planimétrico, conforme normas do Decreto 89.817/84.

Tabela 4.1 – Valores do PEC e EP conforme Decreto nº 89.817/84

| Classe | Planimetria | |
|--------|-------------|--------|
| | PEC | EP |
| A | 0,5 mm | 0,3 mm |
| B | 0,8 mm | 0,5 mm |
| C | 1,0 mm | 0,6 mm |

A seguir, Padrões de Exatidão Cartográfica e Erros Padrões planimétricos vigentes para algumas escalas podem ser observados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro Padrão Planimétrico

| ESCALAS | PRECISÃO PLANIMÉTRICA | | | | | |
|------------------|-----------------------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | CLASSE A | | CLASSE B | | CLASSE C | |
| | PEC | EP | PEC | EP | PEC | EP |
| 1:100.000 | 50,0m | 30,0m | 80,0m | 50,0m | 100,0m | 60,0m |
| 1:50.000 | 25,0m | 15,0m | 40,0m | 25,0m | 50,0m | 30,0m |
| 1:25.000 | 12,5m | 7,5m | 20,0m | 12,5m | 25,0m | 15,0m |
| 1:10.000 | 5,0m | 3,0m | 8,0m | 5,0m | 10,0m | 6,0m |
| 1:5.000 | 2,5m | 1,5m | 4,0m | 2,5m | 5,0m | 3,0m |
| 1:2.000 | 1,0m | 0,6m | 1,6m | 1,0m | 2,0m | 1,2m |

4.3 Teste Estatístico para Análise de Tendência e Precisão

A análise estatística da exatidão cartográfica planimétrica descrita por Merchant (1982) é composta pela análise de tendências para verificar a existência de erros sistemáticos e a análise de precisão. Tais procedimentos são baseados na realização de testes de hipótese sobre a média e o desvio padrão amostral das discrepâncias, obtidas através da diferença entre as coordenadas dos pontos no terreno e na imagem.

Nas equações apresentadas a seguir, ao denominar-se a variável X para um ponto, entende-se que este é válido tanto para as coordenadas E , quanto para as N .

a. Análise de Tendência

As coordenadas com índice superior r são referentes as coordenadas de referência (verdadeira) e as que possuem índice superior i foram obtidas da imagem em avaliação. Logo;

$$\Delta X_i = X_i^r - X_i^i \quad (4.1)$$

A média, bem como o desvio padrão das discrepâncias amostrais, deverão ser calculadas por:

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (4.2)$$

$$S_{\Delta X} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.3)$$

onde, n indica o número de pontos amostrais.

Na análise de tendência serão avaliadas as seguintes hipóteses:

$$H_0 : \overline{\Delta X} = 0, \text{ não é tendencioso} \quad (4.4)$$

$$H_1 : \overline{\Delta X} \neq 0 \text{ é tendencioso} \quad (4.5)$$

Para esta análise deverá ser obtida (valor tabelado) a estatística t de Student, e verificar se o valor de t_x amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula.

O valor de t_x amostral é calculado através de:

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} n^{1/2} \quad (4.6)$$

Normalmente utiliza-se a expressão (4.6) para calcular a estatística t_x amostral, porém parece mais razoável substituir o denominador pelo desvio padrão populacional (\mathbf{s}_x) estabelecido para a escala em análise, de modo a aumentar o rigor estatístico durante a análise (Francisco, 2001).

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{\mathbf{s}_x} n^{1/2} \quad (4.7)$$

onde \mathbf{s}_x corresponde ao desvio padrão ou erro padrão esperado para a coordenada X (planimétrico).

É importante observar que, no caso da análise ser feita sobre as resultantes, a equação é simplificada para:

$$\sigma_x = EP \quad (4.8)$$

O valor limite $t_{(n-1, \alpha/2)}$ é determinado através da tabela t de Student para um nível de confiança $(1 - \alpha)$. O intervalo de confiança é dado por:

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (4.9)$$

Cabe ressaltar, que a existência de tendência em alguma direção significa a ocorrência de problemas. Isto só acontecerá se a estatística t_x amostral não atender à desigualdade mostrada na expressão (4.9). Neste caso, é rejeitada a hipótese nula, isto significa que a imagem possui tendências significativas na coordenada testada, para um determinado nível de confiança.

b. Análise de Precisão

A análise da precisão, é realizada comparando-se o desvio padrão das discrepâncias com o Erro Padrão planimétrico (EP) esperado, para a classe na qual se deseja testar.

Portanto, o teste de hipótese a ser formulado é o seguinte:

$$H_0 : S_X^2 = \sigma_X^2, \text{ contra} \quad (4.10)$$

$$H_1 : S_X^2 > \sigma_X^2 \quad (4.11)$$

O valor de Qui-quadrado amostral é obtido através da equação:

$$c_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{s_X^2} \quad (4.12)$$

A hipótese nula é aceita se este valor satisfaz a seguinte desigualdade:

$$c_X^2 \leq c_{(n-1, \alpha)}^2 \quad (4.13)$$

Se a expressão (4.13) não for aceita, rejeita-se a hipótese nula de que a imagem atende à precisão preestabelecida.

5 VIABILIDADE DE USO DE IMAGENS IKONOS/GEO EM APLICAÇÕES CARTOGRÁFICAS URBANAS

Este capítulo visa apresentar a área de estudo e o materiais utilizados, bem como, detalhar a metodologia desenvolvida com o objetivo de definir a escala máxima de utilização da imagem IKONOS/Geo para aplicações em áreas urbanas.

5.1 Área de Estudo

Situa-se no município de Araçoiaba da Serra, SP, região de Sorocaba, distante 115 quilômetros da cidade de São Paulo, com uma altitude média de 625 metros e uma população aproximada, segundo estimativa do IBGE, de 35000 habitantes, sendo as principais atividades econômicas a agricultura e a apicultura. A Figura 5.1 ilustra a localização do município no Estado de São Paulo.

5.1.1 Área de Estudo na Imagem IKONOS

A imagem IKONOS disponibilizada para estudo é do tipo *Geo*, pancromática com 1,0 m de resolução espacial, foi obtida em 24 de março de 2000, abrangendo uma área de aproximadamente 64 km².

Considerando que o objetivo do trabalho é o uso de imagem de alta resolução como base planimétrica para aplicações em áreas urbanas, foi definida como área de estudo aquela contendo o perímetro urbano e os arredores da cidade de Araçoiaba da Serra. Esta área tem aproximadamente 36 km².

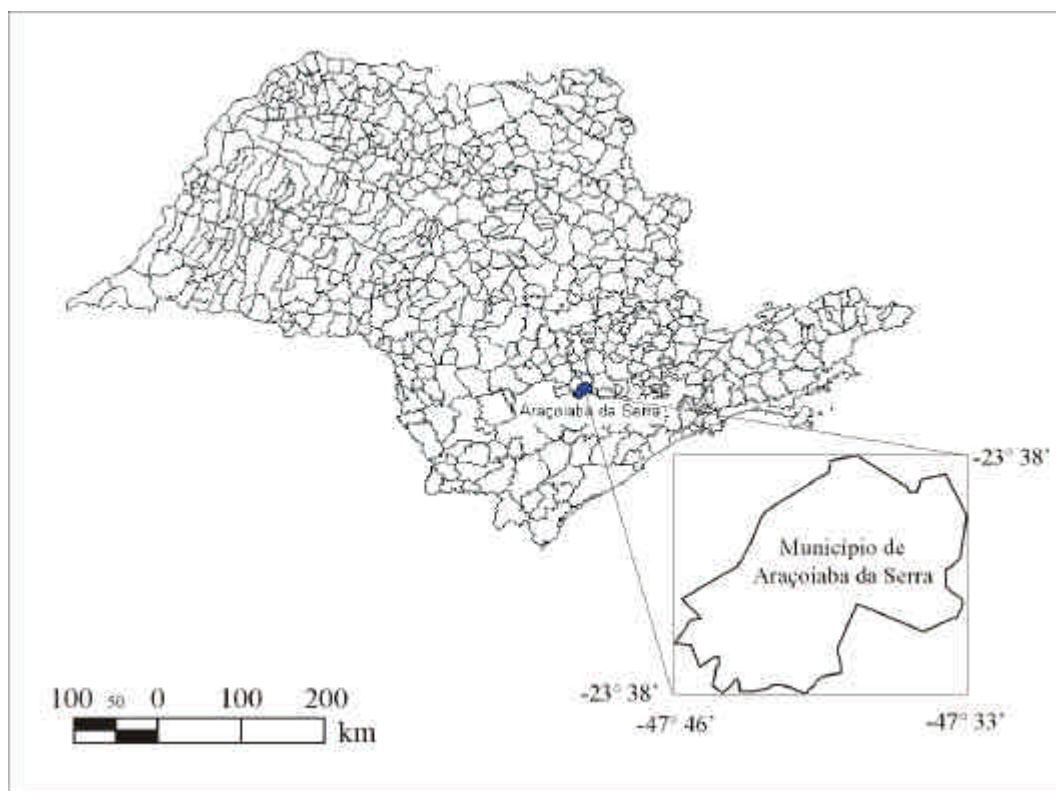


Figura 5.1 – Localização do município de Araçoiaba da Serra no Estado de São Paulo

Salienta-se que esta área, na cidade de Araçoiaba da Serra e arredores, em termos de relevo, é relativamente plana, possuindo uma variação em torno de 80 metros. A sub-imagem contendo a área efetivamente utilizada para o desenvolvimento do trabalho pode ser visualizada na Figura 5.2.

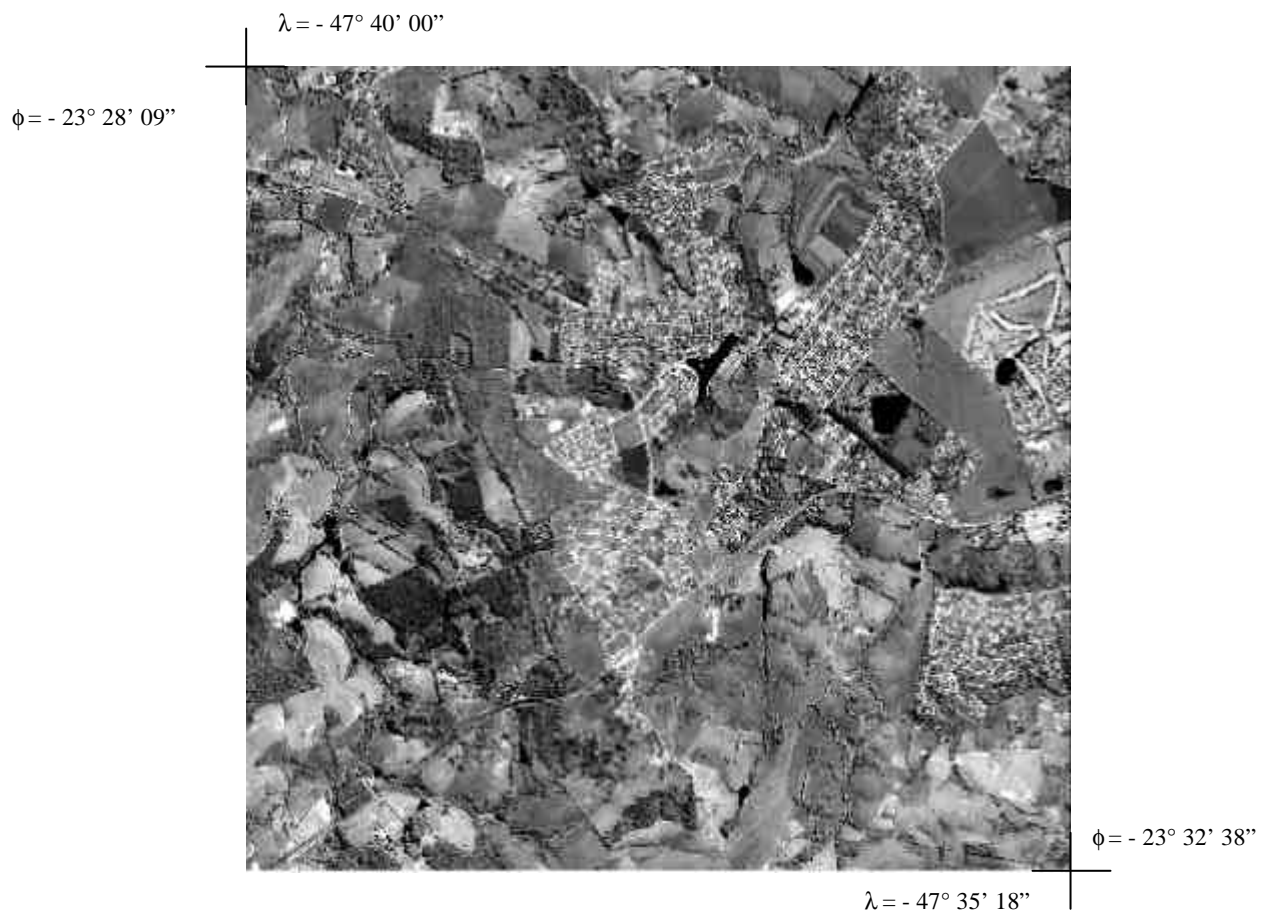


Figura 5.2 – Área de estudo na imagem IKONOS/Geo

Na Tabela 5.1 apresenta-se alguns dados geométricos da imagem IKONOS/Geo utilizada na área em estudo.

Tabela 5.1 – Dados geométricos da imagem IKONOS utilizada

| |
|---|
| Sensor : IKONOS-2 |
| Tamanho do pixel : 1 metro pancromático |
| Aquisição nominal |
| - Varredura transversal : 0,89 m |
| - Varredura longitudinal : 0,97 m |
| Direção de varredura : 0° |
| Ângulo azimutal do sol : 57,3621° |
| Ângulo de elevação do sol :48,66814° |

5.2 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram e os seguintes:

- Imagem IKONOS, produto *Geo*, pancromático, com 1 m de resolução;
- 1 receptor GPS Z12 da Ashtech;
- 1 receptor 4000 SSI da Trimble;
- 2 receptores 4600 LS da Trimble;
- Software GPSurvey 2.35a.;

- Software Reliance Processor 4.0;
- Software TRIMNET Plus;
- Software GNUPLOT 3.7;
- Software MicroStation;
- Módulos da linha MGE Intergraph;

5.3 Coleta de Dados GPS

A imagem IKONOS, tipo *Geo*, não recebe qualquer tratamento adicional além da correção geométrica, tornando o uso deste tipo de imagem restrita a aplicações que exigem maior precisão.

Desta maneira, uma forma de verificar a escala adequada, para utilizar esta imagem, é fazer uso de pontos de controle no terreno.

Assim, o sistema GPS seria a ferramenta indicada para a obtenção destes pontos, pois além da facilidade de aquisição, possibilita a redução de tempo entre a coleta, o processamento, e análise destas informações. Associada ao sensoriamento orbital, representa a possibilidade de um melhor aproveitamento das imagens, inclusive quanto ao aspecto de obtenção de informação posicional diretamente na imagem.

5.3.1 Levantamento do Ponto Base e dos Pontos de Controle

Segundo Merchant (1982), a exatidão de um mapa, é verificada a partir da comparação das coordenadas do terreno com as do mapa. Os pontos de controle a

serem utilizados, devem ser determinados por procedimentos nos quais os erros na determinação das suas coordenadas não sejam superiores a $1/3$ do erro padrão esperado para a classe da carta. Já que, 1σ equivale a uma probabilidade de 68,26%, enquanto que, 3σ equivale a uma probabilidade de 99,7%.

Desse modo, calculou-se a tolerância mínima para os pontos, tomando como parâmetro uma carta de classe A, ou seja, com um erro padrão planimétrico de 0,3 mm na escala da carta. Vale ressaltar que a pesquisa em estudo, foram considerados apenas os erros em relação á planimetria. Como no Brasil, o produto mais avançado baseado na imagem IKONOS é o *Precision* e que segundo Filho (2000) pode ser utilizado numa escala máxima de 1 : 5000, concluiu-se que os pontos deveriam ser determinados com precisão superior a 0,5 m.

Logo, o posicionamento relativo atende a tolerância exigia em relação ao erro padrão requerido no levantamento do ponto base e dos pontos de controle utilizando o sistema GPS. O método empregado foi o estático, visto que as distâncias entre o ponto base e os pontos de controle são maiores que 10 km.

Para a escolha dos locais do ponto base e dos pontos de controle, os critérios considerados foram :

- boas condições para a recepção de sinais emitidos pelos satélites, sendo que os sinais transmitidos podem ser absorvidos, refletidos ou refratados por objetos próximos à antena ou entre a antena e o satélite, para tanto, em virtude da grande quantidade de árvores na área urbana, considerou-se a máscara de elevação em torno da antena acima de um ângulo de 15° ;

- evitar, quando possível, pontos em locais próximos a estações de transmissão de microondas, radares, antenas de rádio receptoras e linhas de transmissão de alta voltagem, pois estes são fontes de interferência para os sinais GPS; e,
- que os pontos estivessem bem definidos na imagem IKONOS, e com uma distribuição homogênea por toda a área de estudo.

Desta forma, um ponto base e 36 pontos de controle foram selecionados em campo, sendo constituídos de cantos de quadras, cruzamento de ruas, bifurcações de estradas, cantos de piscina, cantos de quadra de esporte, etc., conforme pode ser visto na Figura 5.3.

No levantamento desses pontos foram utilizados os seguinte receptores GPS : no ponto base (ARAÇOIABA), implantado próximo a cidade de Araçoiaba da Serra, um receptor ZXII da Ashtech de dupla frequência e na determinação dos pontos de controle dois receptores 4600 LS da Trimble de uma frequência. O receptor Trimble 4000 SSI, de dupla frequência, da estação UEPP, localizada em Presidente Prudente e pertencente a RBMC, foi utilizado com a finalidade de determinar as coordenadas do ponto base.

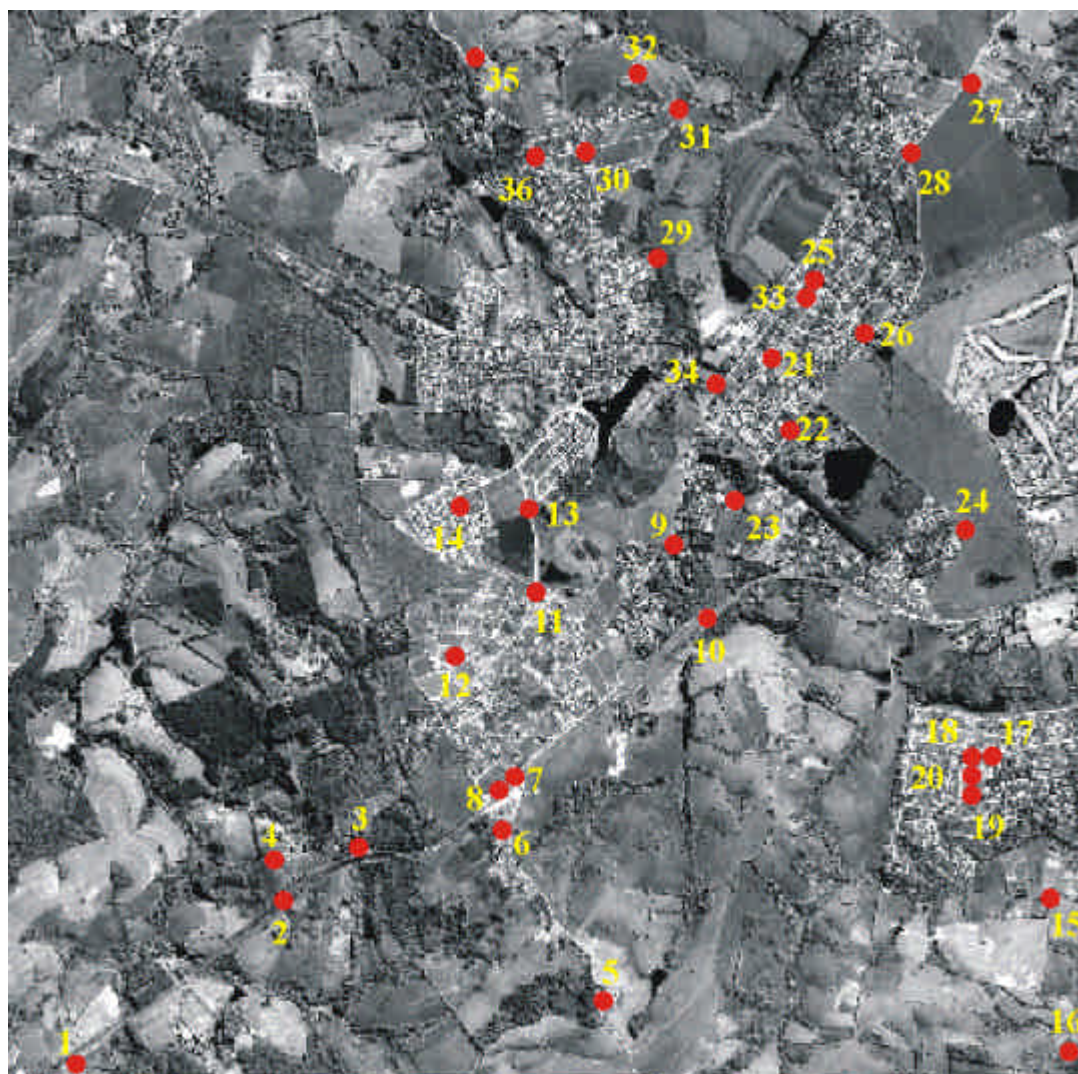


Figura 5.3 – Distribuição dos 36 pontos de controle

O ponto ARAÇOIABA foi rastreado durante três dias (período de 17 a 19 de outubro de 2000), ao mesmo tempo em que os pontos de controle foram rastreados. Para a coleta dos pontos, foram utilizados dois receptores, desta forma, dois pontos puderam ser rastreados sempre ao mesmo tempo. A taxa de rastreo dos receptores foi de 15 segundos e o tempo de ocupação no ponto variou de 20 a 40 minutos, dependendo da existência de obstruções próximas ao local do rastreo (grandes árvores, construções, etc.).

5.3.1.1 Processamento e Análise dos Dados GPS

Os dados coletados foram transferidos para um computador, utilizando-se dos softwares GPSurvey 2.35a e Reliance Processor 4.0 e em seguida processados.

a. Processamento do Ponto Base

O processamento dos dados foi efetuado no software GPSurvey 2.35a. De modo a aumentar a confiabilidade do resultado das coordenadas do ponto ARAÇOIABA, este ponto foi processado juntamente com as estações PRUDENTE, VIÇOSA e CURITIBA, todas pertencentes a RBMC.

Foram processadas as linhas de base PRUDENTE → ARAÇOIABA, VIÇOSA → ARAÇOIABA e CURITIBA → ARAÇOIABA. Em seguida, as componentes ΔX , ΔY e ΔZ , resultantes dos processamentos das bases, foram ajustadas, de modo a obter uma solução única para a posição do ponto, bem como estimar a precisão da solução adotada. Para o ajustamento desta rede foi utilizado o programa TRIMNET Plus.

O resultado do ajustamento das coordenadas do ponto ARAÇOIABA pode ser observado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Coordenadas do ponto base ARAÇOIABA

| PONTO BASE | COORD. GEODÉSICAS (WGS 84) | DESVIO PADRÃO (σ) |
|------------|---|-------------------------------|
| ARAÇOIABA | $\phi = -23^{\circ} 35' 45.162682''$ | 0,0082 m |
| | $\lambda = -47^{\circ} 44' 08.853681''$ | 0,0180 m |
| | H = 557,9780 m | 0,0443 m |

O resultado do processamento foi aceito no teste χ^2 (Qui-quadrado) do programa TRIMNET Plus. O TRIMNET calcula com um nível de significância de 95% para a rede ajustada, sendo considerado aceito se o fator de referência (variância a posteriori) estiver próximo a 1. No ajustamento do ponto base ARAÇOIABA o fator de referência foi igual a 1,05. Desta forma, este ponto pode ser utilizado como base para a determinação dos pontos de controle.

b. Processamento dos Pontos de Controle

Determinada as coordenadas do ponto ARAÇOIABA, a próxima etapa consistiu em determinar as coordenadas dos pontos de controle que serviram de referência para o estudo da utilização da imagem IKONOS.

Neste processamento, foi utilizado o software GPSurvey 2.35a. Fixou-se o ponto ARAÇOIABA, introduzindo suas coordenadas como origem e definiu-se as linhas de base para os 36 pontos de controle a serem determinados.

Durante o processamento dos dados foi convencionado para o teste *Ratio* um valor maior ou igual a 1,5. O *Ratio* é uma avaliação estatística e representa a razão entre segunda e a primeira melhor solução inteira da ambigüidade, deste

modo, quanto maior o valor da dessa razão, mais confiável será a solução. O teste *Ratio* segue a distribuição F, já que trata da razão entre duas variâncias. Ou seja, quando o resultado for maior ou igual ao valor definido para o teste *Ratio*, diz-se que a solução é FIX (*fixed*), do contrário a solução é FLT (*float*).

Dos 36 pontos de controle rastreados, 35 pontos tiveram solução FIX, ou seja, passaram pelo teste *Ratio* e apenas um (ponto 29) teve solução FLT.

As coordenadas dos pontos de controle e seus respectivos desvios padrão, transformadas para o sistema SAD 69, podem ser observadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Coordenadas dos pontos de controle no sistema SAD-69

| PONTOS | E (m) | σ_E | N(m) | σ_N |
|--------|-------------|------------|--------------|------------|
| 01 | 230200,7736 | 0,0032 | 7394310,6566 | 0,0016 |
| 02 | 231457,7157 | 0,0070 | 7395220,1940 | 0,0070 |
| 03 | 231746,8133 | 0,0036 | 7395397,1003 | -0,0026 |
| 04 | 231366,9392 | 0,0063 | 7395319,9667 | 0,0069 |
| 05 | 233101,6928 | 0,0037 | 7394620,5017 | 0,0015 |
| 06 | 232592,4393 | 0,0033 | 7395478,0871 | 0,0012 |
| 07 | 232615,3101 | 0,0058 | 7395806,5396 | 0,0019 |
| 08 | 232537,6581 | 0,0489 | 7395737,6838 | 0,0179 |
| 09 | 233485,4945 | 0,0045 | 7397076,2018 | 0,0013 |
| 10 | 233661,7070 | 0,0059 | 7396695,2749 | 0,0020 |
| 11 | 232750,8676 | 0,0056 | 7396857,9953 | 0,0423 |
| 12 | 232305,6739 | 0,0054 | 7396436,8257 | 0,0029 |
| 13 | 232703,2742 | 0,0035 | 7397277,1200 | 0,0020 |
| 14 | 232308,0190 | 0,0031 | 7397342,8656 | 0,0017 |
| 15 | 235624,4124 | 0,0032 | 7395174,7622 | 0,0009 |
| 16 | 235638,1626 | 0,0022 | 7394507,2408 | 0,0009 |
| 17 | 235283,4381 | 0,0037 | 7395848,9930 | 0,0032 |
| 18 | 235263,3861 | 0,0029 | 7395849,4412 | 0,0027 |
| 19 | 235244,0968 | 0,0055 | 7395814,5240 | 0,0035 |
| 20 | 235243,1207 | 0,0044 | 7395832,6943 | 0,0020 |
| 21 | 234056,9133 | 0,0042 | 7398072,4788 | 0,0013 |
| 22 | 234164,6541 | 0,0041 | 7397688,2823 | 0,0013 |
| 23 | 234116,4281 | 0,0064 | 7397189,0689 | 0,0036 |
| 24 | 235093,1019 | 0,0039 | 7397176,8653 | 0,0023 |

Continua...

| | | | | |
|--------------|-------------|---------|--------------|---------|
| 25 | 234233,9387 | 0,0093 | 7398499,1611 | 0,0028 |
| 26 | 234516,4412 | 0,0063 | 7398264,9512 | 0,0020 |
| 27 | 235106,0479 | 0,0050 | 7399544,3057 | 0,0018 |
| 28 | 234796,6795 | -0,0007 | 7399145,3887 | 0,0004 |
| 29 | 233238,4545 | 0,0501 | 7398459,8694 | 0,0194 |
| 30 | 233039,9133 | 0,0088 | 7399200,8360 | 0,0052 |
| 31 | 233526,1547 | 0,0052 | 7399366,9940 | -0,0255 |
| 32 | 233325,8351 | 0,0054 | 7399615,6003 | 0,0025 |
| 33 | 234234,1301 | 0,0044 | 7398486,2139 | 0,0024 |
| 34 | 233803,2176 | 0,0044 | 7397969,5552 | 0,0022 |
| 35 | 232366,7578 | 0,0071 | 7399639,4193 | 0,0059 |
| 36 | 232718,9062 | 0,0054 | 7399236,9400 | 0,0047 |
| | | | | |
| Média | | 0,0072 | | 0,0037 |

Analisando a Tabela 5.3 verifica-se que os valores médios dos desvios padrão σ_E e σ_N , foram de 7,2 mm e 3,7 mm, respectivamente, atendendo plenamente a precisão de 0,50 m no terreno. Sendo que o maior valor obtido em E foi de 5 cm e em N de 1,9 cm, no ponto 29.

Monico (2000) considera que o método de posicionamento relativo estático permite obter precisão da ordem de 0,1 a 1,0 ppm ou melhor, para linhas de base maiores do que 10 km. Neste pesquisa, as linhas de base tiveram um comprimento médio de 15,7 km, e o desvio padrão médio, obtido do processamento destas linhas, foi de 2,9 mm, ou seja, de 0,185 ppm. Portanto, dentro do intervalo preconizado por Monico (2000).

5.4 Georreferenciamento da Imagem IKONOS/Geo

Processadas as coordenadas dos pontos GPS, a próxima fase foi georreferenciar a imagem IKONOS/Geo.

Para isto utilizou-se do software MGE Intergraph, mais especificamente os módulos Microstation e Image Analyst.

Das transformações planas, as mais adequadas para o caso são a transformação afim e a transformação isogonal. Considerando que a transformação isogonal possui quatro parâmetros e a medida em que se diminui a quantidade de parâmetros, pode-se deixar de modelar efeitos que introduzem pequenas distorções geométricas, e considerando-se que a imagem é formada por um conjunto de elementos de área (pixels) que foram definidos por filtragens e amostragens em duas direções ortogonais e que passaram por um processo de reamostragem quando da aplicação da correção geométrica, é de se esperar que a utilização de dois fatores de escala, um ao longo das varreduras e outro na direção do traço da órbita, possa melhorar o registro entre as coordenadas da imagem e as coordenadas GPS. Desta forma, adotou-se o uso do modelo de transformação afim com seis parâmetros. A distribuição dos pontos utilizados no georreferenciamento pode ser visto na Figura 5.4 :

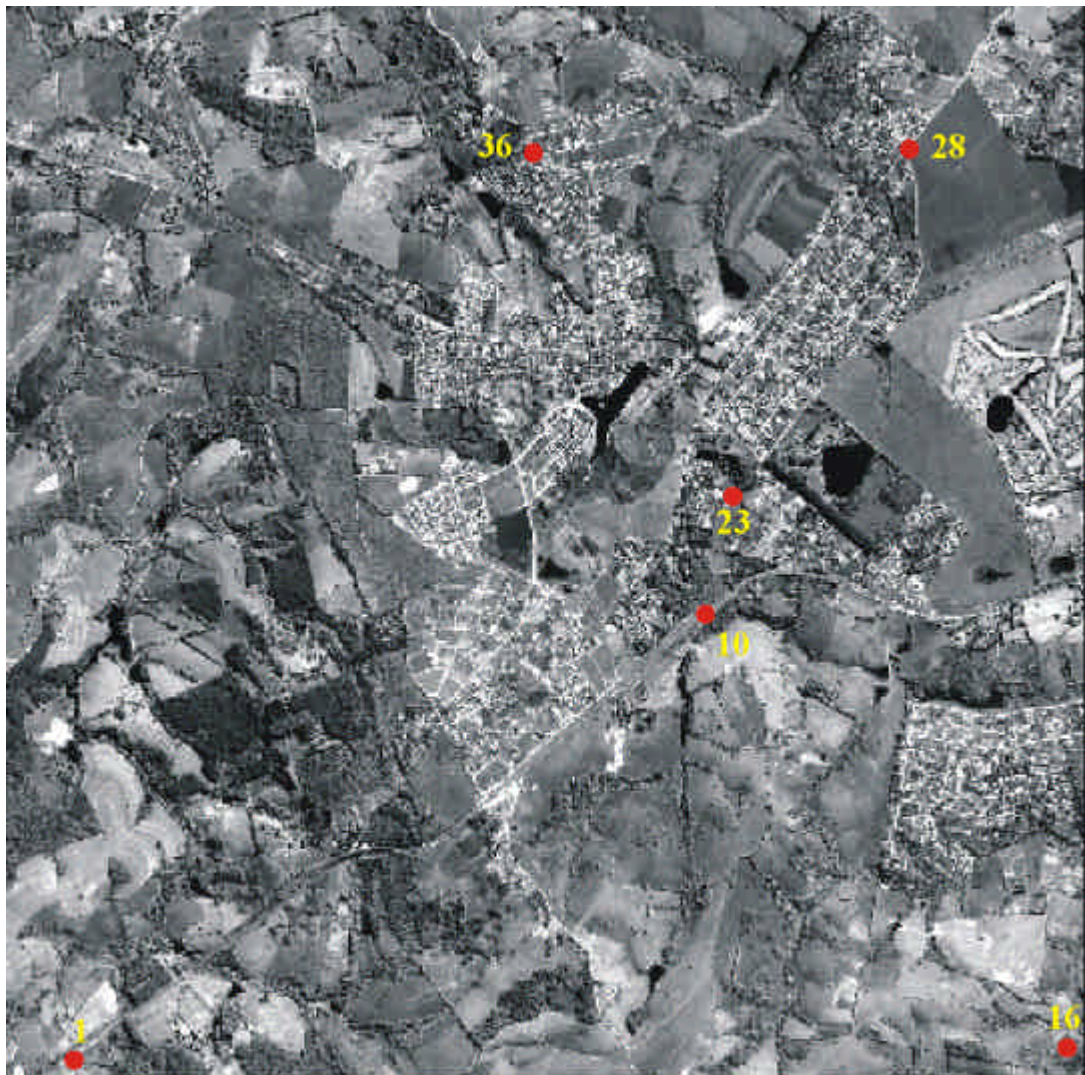


Figura 5.4 – Pontos utilizados no georreferenciamento da imagem

Encontra-se na Tabela 5.4 o resultado do georreferenciamento da imagem IKONOS/Geo.

Tabela 5.4 – Resultado do georreferenciamento da imagem

| Modelo de Transformação : AFIM | | | |
|---------------------------------------|----------|---------|---------------------------|
| PONTO | RESÍDUOS | | ERRO MÉDIO QUADRÁTICO (m) |
| | E (m) | N (m) | |
| 1 | 0,2122 | 0,0582 | 0,2201 |
| 10 | 0,0767 | 0,3293 | 0,3382 |
| 16 | -0,3069 | 0,0405 | 0,3095 |
| 23 | 0,0759 | -0,6564 | 0,6608 |
| 28 | 0,6029 | 0,3058 | 0,6761 |
| 36 | -0,6609 | -0,0775 | 0,6655 |
| Desvio Padrão (σ) = 0,5156 m | | | |

Pela análise da Tabela 5.4 e considerando que o erro médio de pontaria no momento da identificação do ponto está em torno de meio pixel (0,5 metro) e que a imagem IKONOS em estudo é um produto tipo *Geo*, ou seja, sem correções das distorções do relevo; o desvio padrão conseguido no georreferenciamento da imagem, de $\sigma = 0,5156\text{m}$, está dentro do esperado e atende aos objetivos do trabalho.

5.5 Extração dos Pontos na Imagem IKONOS/Geo

Após a etapa de georreferenciamento, utilizou-se o software Image Analyst para abrir a imagem, sendo que a ferramenta *zoom* foi usado para a identificação do ponto e a extração das coordenadas dos pontos homólogos na imagem deu-se de modo manual utilizando o *mouse*.

Os pontos 6, 8, 25, 29, 31 e 32 não puderam ter suas coordenadas extraídas, visto que se encontravam em locais de difícil identificação na imagem IKONOS/Geo, mais especificamente, cantos de quadras ou entroncamento de estrada não bem definidos na imagem ou com presença de sombra sobre o ponto.

Na Tabela 5.5 encontra-se as coordenadas dos pontos de controle no sistema SAD 69 extraídas da imagem IKONOS/Geo.

Tabela 5.5 – Pontos extraídos da imagem IKONOS/Geo

| PONTOS | E (m) | N (m) |
|---------------|--------------|--------------|
| 2 | 231458,7977 | 7395223,8068 |
| 3 | 231753,2566 | 7395412,6401 |
| 4 | 231370,7797 | 7395332,2326 |
| 5 | 233107,9079 | 7394648,7724 |
| 7 | 232620,9869 | 7395837,8386 |
| 9 | 233486,0057 | 7397072,8421 |
| 11 | 232751,6560 | 7396851,3061 |
| 12 | 232309,5177 | 7396450,1988 |
| 13 | 232704,0609 | 7397271,9166 |
| 14 | 232308,9447 | 7397352,7303 |
| 15 | 235627,4697 | 7395182,7559 |
| 17 | 235285,2791 | 7395862,3602 |
| 18 | 235266,2943 | 7395862,3453 |
| 19 | 235245,3426 | 7395828,5308 |
| 20 | 235245,3122 | 7395846,4141 |
| 21 | 234055,9794 | 7398068,5416 |
| 22 | 234165,7033 | 7397686,9568 |
| 24 | 235095,6741 | 7397188,9279 |
| 26 | 234516,4963 | 7398256,7168 |
| 27 | 235103,0753 | 7399535,4450 |
| 30 | 233038,1408 | 7399192,2151 |
| 33 | 234235,1601 | 7398479,9650 |
| 34 | 233804,2819 | 7397964,7133 |
| 35 | 232370,7394 | 7399638,8238 |

5.6 Discrepâncias entre as Coordenadas GPS e da Imagem IKONOS/Geo

A próxima fase consistiu em determinar as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de controle levantadas no terreno com GPS e, as coordenadas dos pontos correspondentes na imagem IKONOS.

A Tabela 5.6 apresenta as discrepâncias obtidas entre as coordenadas GPS e as extraídas da imagem IKONOS/Geo.

Tabela 5.6 – Discrepâncias entre as coordenadas GPS e IKONOS/Geo

| PONTOS | ΔE | ΔN | Localização dos pontos |
|----------------------|------------|------------|---|
| 2 | -1,082 | -3,6128 | final de um grande barranco |
| 3 | -6,4433 | -15,5398 | entroncamento de estradas (asfalto e terra) |
| 4 | -3,8405 | -12,2659 | final de cerca viva com uma porteira |
| 5 | -6,2151 | -28,2707 | entroncamento da cerca e porteira |
| 7 | -5,6768 | -31,2990 | cruzamento de ruas |
| 9 | -0,5112 | +3,3597 | canto de quadra |
| 11 | -0,7884 | +6,6892 | cruzamento de ruas |
| 12 | -3,8438 | -13,3731 | canto de quadra |
| 13 | -0,7867 | +5,2034 | canto de quadra |
| 14 | -0,9257 | +9,3216 | cruzamento da rua uma viela |
| 15 | -3,0573 | -7,9937 | canto de quadra |
| 17 | -1,8410 | -13,3672 | canto de piscina |
| 18 | -2,9082 | -12,9041 | canto de piscina |
| 19 | -1,2458 | -14,0068 | canto de quadra esportiva |
| 20 | -2,1915 | -13,7198 | canto de quadra esportiva |
| 21 | +0,9339 | +3,9372 | canto de quadra |
| 22 | -1,0492 | +2,9573 | canto de quadra |
| 24 | -2,5722 | -12,0626 | canto de quadra |
| 26 | -0,0551 | +8,2344 | canto de quadra |
| 27 | +2,9726 | +8,8607 | final de cerca viva |
| 30 | +1,7725 | +8,6209 | canto de quadra |
| 33 | -1,0300 | +6,2489 | canto de quadra |
| 34 | -1,0643 | +4,8419 | canto de quadra |
| 35 | -3,9816 | +0,5955 | bifurcação de estrada |
| | | | |
| Média | -1,893 | -4,317 | |
| Desvio Padrão | 2,337 | 12,224 | |

Na Figura 5.5 observam-se os vetores resultantes das discrepâncias planimétricas em E e N e que foram geradas no software Gnuplot 3.7.

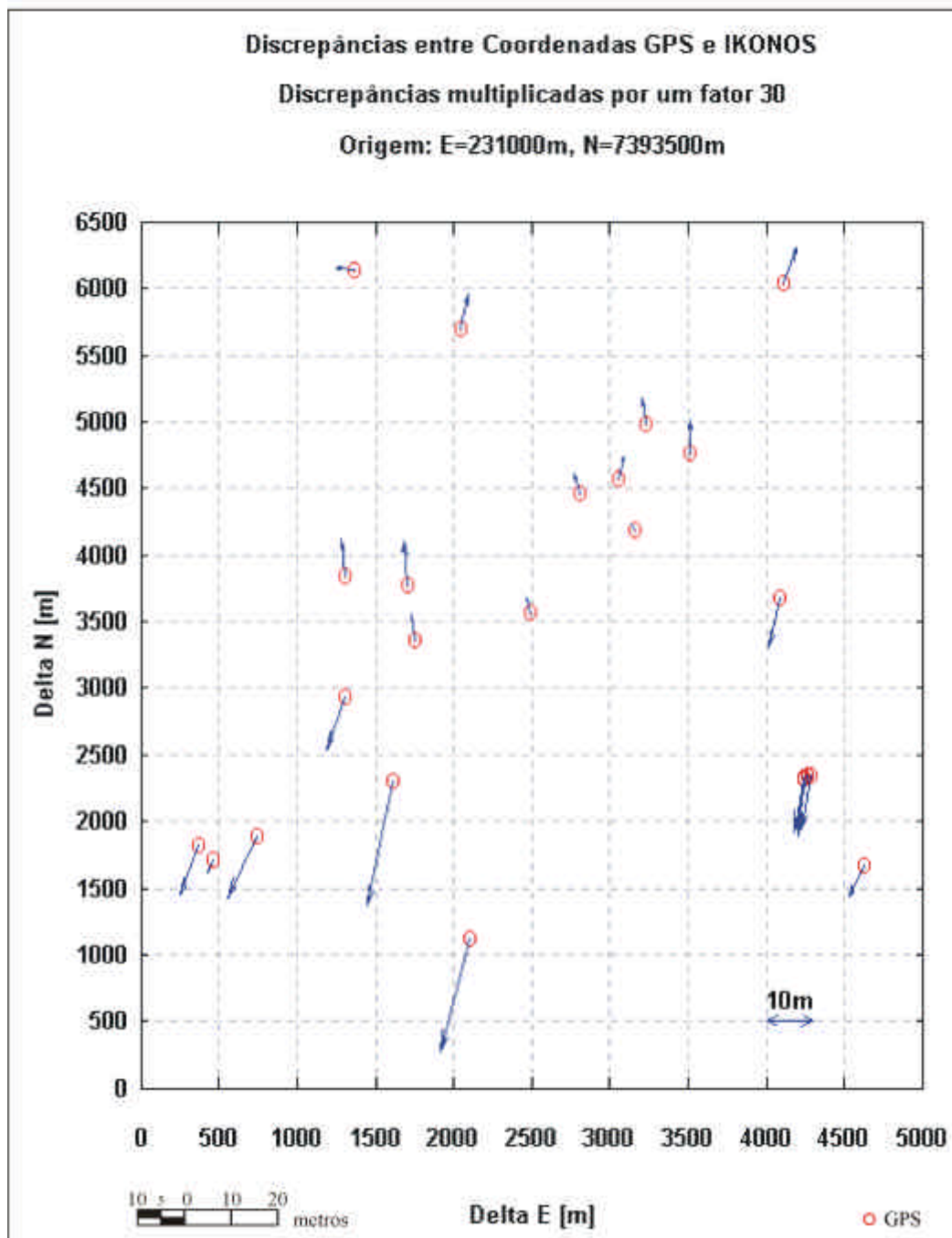


Figura 5.5 – Vetores das discrepâncias planimétricas

Durante a gravação de uma cena, o satélite pode sofrer alterações dinâmicas de altitude e velocidade, bem como arraste durante a varredura e variação do tempo útil da varredura. Isto ocasiona a conseqüente variação do comprimento (pixel), e pode ter como conseqüência a variação da posição do ponto. Tal fato poderia explicar, de certo modo, os valores das discrepâncias observadas na direção N, que são maiores do que os verificados na direção E.

Observa-se na Figura 5.5, no canto inferior esquerdo, que as discrepâncias observadas na direção N são bem maiores comparadas as demais, isto poderia estar relacionado com algum possível problema no momento da determinação do ponto 01; ponto este utilizado no georreferenciamento da imagem IKONOS/GEO.

5.7 Análise da Qualidade Posicional da Imagem IKONOS/Geo

A partir da determinação dos pontos de controle coletados via GPS, do georreferenciamento, da extração dos pontos na imagem IKONOS/Geo e do cálculo das discrepâncias, a próxima fase consistiu em efetuar uma análise estatística do resultados.

5.7.1 Análise de Tendência

A análise de exatidão da imagem é baseada na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas observadas no terreno com GPS e as suas homólogas extraídas da imagem IKONOS/Geo.

Para a análise da exatidão, utilizou-se a estimativa intervalar dada pela distribuição t de Student, pois esta é particularmente válida para amostras menores que trinta, consideradas pequenas.

Neste trabalho o tamanho da amostra é de 24 pontos e foi adotado, seguindo as normas do Decreto nº 89.817/84, o intervalo de confiança de 90% de certeza para a média populacional a partir da média amostral e do desvio padrão amostral.

Para esta análise deve-se determinar a estatística amostral t e verificar se o valor de t_x amostral (equação 4.9) está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. Lembrando que na determinação do valor de t_x amostral considera-se no denominador o desvio padrão populacional (s_x) estabelecido para a escala em análise e o erro padrão para a imagem tipo classe A. Considerou-se como classe A em virtude de, ser considerada segundo o Decreto Lei a mais exata e considerando que o objeto de estudo deste trabalho é uma imagem de satélite, o qual não é classificada segundo classes.

Diversas análises foram efetuadas para diferentes escalas, porém a escala que foi aceita na análise estatística foi a de 1:50.000.

A Tabela 5.7 mostra a análise de tendência efetuada nas discrepâncias calculadas entre as coordenadas dos pontos obtidos com o GPS e na imagem IKONOS/Geo.

Tabela 5.7 - Resultados para a Análise de Tendência

| | | |
|----------------------------------|------------------------|---------------------|
| n | 24 pontos | |
| \overline{X}_E | - 1,893 m | |
| \overline{X}_N | - 4,317 m | |
| S_E | 2,337 m | |
| S_N | 12,224 m | |
| EP_{1:50000} | 15 m | |
| σ_X | 10,607 | |
| $t_{23; 0,05}$ | 1,714 | |
| t_E | - 0,874 | |
| t_N | - 1,994 | |
| Análise | $ t_E < t_{Amostral}$ | |
| | $ t_N > t_{Amostral}$ | |
| Componente | E | Sem tendência |
| | N | Apresenta tendência |

Como pode ser verificado na Tabela 5.7, a comparação do valor de t amostral com o valor teórico indica a existência de uma tendência na direção N. Já a ausência de tendência na direção E, indica que as discrepâncias entre as coordenadas GPS e as obtidas na imagem IKONOS/Geo, não são significativas, aceitando-se assim a hipótese nula com um nível de confiança de 90%.

Considerando-se que há influências sistemáticas na coordenada N, pode-se tomar o valor médio do intervalo de influência, com sinal contrário ($\overline{X}_N = 4,0$ m) e introduzi-lo em todas as coordenadas N da imagem, diminuindo-se as discrepâncias.

5.7.2 Análise da Precisão

A análise da precisão é feita comparando-se o desvio padrão das discrepâncias com o erro padrão (EP) esperado, para a classe que se deseja testar. Para esta análise utilizou-se da estimativa dada pela distribuição Qui-quadrado (χ^2), num intervalo de confiança de 90%

A Tabela 5.8 apresenta a análise de precisão para a escala 1 : 50000 efetuada nas discrepâncias calculadas entre as coordenadas GPS e o IKONOS/Geo.

Tabela 5.8 – Resultados para a análise da precisão

| | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| $c_{23;10\%}^2$ | 32,004 |
| S_E | 2,337 m |
| S_N | 12,224 m |
| $S_{(1:50000)}$ | 10,607 m |
| c_E^2 (Classe A) | 1,117 |
| c_N^2 (Classe A) | 30,549 |
| Análise | c^2 (Classe A) < $c_{23;10\%}^2$ |
| Escala a ser utilizada | 1 : 50000 |

A comparação do Qui-quadrado amostral com o valor teórico indica que a imagem, produto *Geo*, que abrange o município de Araçoiaba da Serra, atende aos requisitos de precisão nas duas direções E e N. Desta forma, esta imagem IKONOS atenderá aos requisitos geométricos de um mapeamento na escala máxima de 1:50000, para um nível de confiança de 90%.

Portanto, o uso desta imagem IKONOS é recomendada para projetos ambientais, de agricultura, de monitoramento ou atualização cadastral, porém de pouca utilidade para projetos que exigem maior precisão, como num projeto de mapeamento urbano.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho investigou a viabilidade de uso das imagens IKONOS, produto Geo, visando a definição da escala máxima de utilização em aplicações cartográficas urbanas.

As investigações foram realizadas numa área (urbana) e seus arredores no município de Araçoiaba da Serra - SP. Um grande problema ocorrido no desenvolvimento do trabalho, foi a não existência de um planejamento na escolha dos pontos de controle. A previsão inicial era coletar os dados com GPS no mês de janeiro de 2001, e no meses que antecederiam a coleta seria realizado a identificação de pontos bem definidos na imagem IKONOS/GEO. Com o cancelamento de uma campanha GPS, os equipamentos ficaram em disponibilidade. Porém, os equipamentos GPS, ficaram disponíveis apenas durante três dias. Neste período, já em campo, a medida em que os pontos eram escolhidos na imagem, já eram levantados utilizando-se do GPS. Contudo, procurou-se que os pontos de controle fossem selecionados de acordo com critérios preestabelecidos, de forma a atenderem as especificações necessárias.

Posteriormente ao levantamento GPS, os pontos foram rastreados e processados. Para o rastreo dos pontos foi utilizado o método de posicionamento relativo estático, visto que este atende as prescrições necessárias ao levantamento dos mesmos. A precisão média alcançada para as linhas de base que determinaram os pontos de controle foi de 0,185 ppm. A partir deste resultado foi possível

concluir que o GPS pode ser utilizado com grande ganho de tempo e com precisão compatível na determinação dos pontos de controle.

No georreferenciamento da imagem a transformação afim foi utilizada e o desvio padrão final encontrado foi de 0,52 m. Utilizando-se como parâmetro para o georreferenciamento o valor em torno de meio pixel como aceitável, o georreferenciamento feito atendeu a precisão requerida.

Na análise estatística de tendências, ao nível de confiança de 90%, verificou-se uma influência sistemática na coordenada N, tal influência pode ser atribuída a erros internos e/ou externos provenientes do próprio sistema de imageamento do satélite IKONOS. Já a ausência de tendência na direção E indicou que não existem discrepâncias entre as coordenadas obtidas do sistema GPS e as coordenadas extraídas da imagem IKONOS, portanto foi aceita a hipótese nula com um nível de confiança de 90%.

Na análise estatística da precisão verificou-se que a desigualdade $C_X^2 \leq C_{(n-1,a)}^2$ é satisfeita tanto para as coordenadas E como N, o que classificou a imagem como pertencente a Classe A para uma escala de 1 : 50.000.

Observa-se, na análise do Decreto nº 89.817/84, que este não se refere às escalas que deverão ser contempladas pela avaliação. Porém, estabelece o Padrão de Exatidão Cartográfica e o Erro Padrão que permitem classificar as cartas como A, B ou C, deixando implícito que, para todas as escalas este padrão poderá ser usado. A distinção se dá apenas nos valores encontrados conforme a escala em que se deseja trabalhar.

A Space Imaging Web, 2001, orienta a seus usuários que a imagem IKONOS, produto do tipo *Geo*, atende aos requisitos geométricos de um

mapeamento na escala máxima de 1 : 100.000. A escala alcançada, de 1 : 50.000, pode ser creditada a dois fatores : a área de estudo, que engloba o perímetro urbano e arredores da cidade de Araçoiaba da Serra é relativamente plana e a imagem disponibilizada foi obtida através de visada *nadir*.

Quanto ao uso do produto especificamente num mapeamento urbano, na escala 1 : 50.000 ou menores, a imagem IKONOS/*Geo* poderia ser utilizada, por exemplo, como ferramenta de apoio na identificação de novas edificações, pois a resolução espacial de 1,0 metro da imagem permite esta visualização ou de novos loteamentos, principalmente os clandestinos, observando inclusive a densidade de ocupação dos mesmos ou para a verificação da tendência de expansão da ocupação urbana ou ainda, identificação de arruamentos que não possuem camada asfáltica, etc. Porém, a detecção destas alterações no meio urbano, com o uso destas imagens, não substitui a ida ao campo para atualização definitiva da base cadastral. Tais imagens podem acelerar o processo de obtenção destas informações, permitindo que a atualização seja efetuada em menor tempo e com menor custo e, principalmente, auxiliando na definição, por parte do poder público, das áreas a serem prioritariamente visitadas.

No que tange às aplicações deste tipo de produto em áreas rurais, espera-se grandes inovações num curto espaço de tempo. Sabe-se que o conhecimento atualizado da distribuição e da área ocupada pela agricultura, edificações existentes, vegetação natural, situação da rede viária, bem como informações sobre proporções de suas mudanças tornam-se cada vez mais necessárias aos legisladores e planejadores. Desse modo, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso do solo, para que suas tendências possam ser

analisadas. Neste contexto, este tipo de imagem constitui-se numa ferramenta de grande utilidade, pois permite num curto espaço de tempo a obtenção de uma grande quantidade de informações a respeito de registros de uso da terra.

Recomenda-se realizar o controle de qualidade altimétrico, observando que, caso utilize o sistema GPS, fatores como altitude geométrica, altitude ortométrica e a ondulação geoidal, devam ser considerados.

Ainda como continuidade do trabalho sugere-se que um estudo rigoroso da geometria da imagem IKONOS seja feito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, S. C. *Investigação do comportamento de integração das tecnologias SIG/GPS : definição de metodologia cadastral para a SABESP de Presidente Prudente*. 1999. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

BRITO, J. L. N. S. Proposta de metodologia para classificação de documentos cartográficos. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, nº 41, Rio de Janeiro, 1987.

BURITY, E. F. A. *Carta cadastral urbana – Seleção de dados a partir da análise das necessidades dos usuários*. 1999. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

DRUMMOND, J. Positional accuracy. In: GUPTILL, S. C.; MORRISON, J. L. *Elements of spatial data quality*. s.l., Elsevier Science, 1995. c.3, p. 31-58.

FILHO, R. E. A. IKONOS : Turbulência no aerolevanteamento. *Revista Infogeo*, Curitiba, a.3, nº 14, p. 36-41, jul/ago. 2000.

FORTES, L.P.S.; GODOY, R.A.Z. *Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema de Posicionamento Global – GPS*. Rio de Janeiro: Departamento de Geodésia, Diretoria de Geociências, IBGE, 1991.

FRANCISCO, H. R. *Qualidade dos dados espaço-temporal : Estudo de caso de acurácia posicional e atualização*. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de Cartas. In: 1º COBRAC, 2, 1994, Florianópolis. *Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*, Florianópolis, 1994. p.41-48.

GUPTILL, S. C.; MORRISON, J. L. *Elements of spatial data quality*. Elsevier Science, 1995.

HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. *International Agrophysics*, v. 4, p.367-376, 1988.

LEAL, E. da M. *Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD*. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LEAL, E. da M.; DALMOLIN, Q. Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD. In: *GISBRASIL 99*, 1999, Salvador. CD-ROM

MACHADO E SILVA, A. J. F.; LI, F. A. M.; NETO, G.C.; SERRA, P. R. M.; SOUZA, R. C. M. *Correção geométrica digital de imagens MSS-LANDSAT*. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 1984. 10p.

MERCHANT, D. C. (1982) Spatial accuracy standards for large scale line maps. In: American Congress on Surveying and Mapping, v. 1, 1982. *Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping*, 1982. p.222-231.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS* : Descrição, fundamentos e aplicação. 1. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

NÉIA, M. In : IKONOS : Turbulência no aerolevanteamento. *Revista InfoGeo* a. 3, n. 14, p.36-41, Curitiba, jul/ago. 2000.

NOVO, E. M. L. *Sensoriamento Remoto* : princípios e aplicações. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1989. 307p.

OSTMAN, A. The specification and evaluation of spatial data quality. *Proceedings of 18th International Cartographic Conference*, Stokolm-Sweden,1997. p.836-847.

PACHÊCO, A. P., SEIXAS, J. J., RIBAS, N. S. Sensoriamento Remoto aplicado ao cadastro de imóveis rurais. In: *XIX Congresso Brasileiro de Cartografia*, Recife, 1999. CD-ROM.

SATO, S. S.; SILVA, I. Controle de qualidade, conceitos e normalização dos processos de aquisição de dados fotogramétricos. In: *GISBRASIL 99*, 1999, Salvador. CD-ROM.

SILVA, E. A. *Curso de Sensoriamento Remoto*. Presidente Prudente: Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, 1998. 100p. Notas de Aulas.

SILVA, S. ; LOCH, C. Método de pós-classificação de imagens Landsat-TM para o monitoramento de CTR. In: *2º COBRAC*, 1996, Florianópolis. *Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*. Florianópolis, 1996. p.170-176.

SPACE IMAGING WEBSITE *Produtos Carterra*. Disponível em:
<http://www.spaceimaging.com/>. 2001.

TELLES, J. D. L.; RODRIGUES, T. S. *Controle da qualidade de documentos cartográficos*. 1990. Monografia (Projeto de Final de Curso) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

TOUTIN, T.; CHENG, P. *Demystification of IKONOS*. Earth Observation Magazine, Disponível em:
<http://www.eonline.com/Common/currentissues/July/toutin.htm>. 2000.