

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISA EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**PADRÃO DE EXATIDÃO DE
MAPEAMENTO POR IMAGENS DO
SENSOR QUICKBIRD**

VIVIAN DA SILVA CELESTINO

Orientadora: Profa. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha

Co-orientador: Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha

Porto Alegre (RS), Abril de 2007

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto como
requisito para obtenção do Título de
Mestre.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, Senhor de todas as coisas, que sempre me protegeu e me deu força, além de me gratificar com tantas bênçãos, como mais esta em minha vida.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia por me permitir mais esta etapa cumprida.

Ao Departamento de Geodésia por todos os equipamentos e softwares disponibilizados.

À Eletrosul por ter cedido as imagens, bem como, todos os dados.

Aos colegas Moisés, Fabrício da Silva Terra e Osvaldo Costa Armendaris pela ajuda nos levantamentos prévios.

Aos colegas de trabalho Laudelino Francisco Medeiros e Adir Alves dos Santos pela dedicação e paciência nos levantamentos topográficos e orbitais GPS executados.

Ao colega de trabalho Wanderley Pereira Machado pelo apoio e compreensão.

A minha orientadora Dejanira Luderitz Saldanha por me aceitar como orientanda em um momento de mudança na minha vida.

Aos meus familiares, mãe, pai e irmãos simplesmente por existirem, pois são para eles que recorro nos momentos difíceis.

Aos meus filhos por serem a razão de todas as minhas conquistas. É por eles que eu sinto vontade de pleitear a cada dia uma vida melhor.

Agradeço a minha filha Tiana, por ter sido a maior companheira desta caminhada, pelo apoio e dedicação dada aos irmãos, enquanto eu me dedicava aos estudos.

Ao meu filho Vinícius, por todo amor dedicado a mim, mesmo eu não podendo estar presente e não dar a atenção que ele merece.

A minha filhinha Maria Eduarda, por ser tão querida e meiga, por querer estar pendurada no meu colo sempre que eu estou em casa, que nasceu durante o mestrado, mas que nunca atrapalhou em nada, bem pelo contrário, me deu mais forças para continuar e ir até o fim.

Ao meu marido Ronaldo dos Santos da Rocha, por ser meu maior amigo, além de companheiro de profissão, amante e amado. Agradeço por ter sido tão importante e tão compreensivo nas minhas escolhas, além de ser pai da minha filhinha Maria Eduarda.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Objetivos.....	02
1.2 Justificativa e Aplicação.....	02
1.3 Divisão do Trabalho.....	03
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	05
2.1 Fotogrametria.....	05
2.2 Sensoriamento Remoto.....	06
2.2.1. Sensores de Altíssima Resolução.....	08
2.3 Qualidade Geométrica das Imagens.....	09
2.4 Processamento Digital de Imagens.....	11
2.5 Correção Geométrica.....	12
2.6 Fusão.....	17
2.7 Cartografia.....	18
2.7.1 Qualidade Cartográfica.....	19
2.8 Legislação Brasileira.....	22
2.9 Métodos de Levantamento.....	24
2.10 Reambulação.....	25
2.11 Teoria Elementar da Amostragem e da Decisão Estatística.....	25
3. ÁREA DE ESTUDO.....	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 Imagem Quickbird.....	30
4.2 Equipamentos Utilizados.....	34
4.3 Recursos Computacionais.....	35
4.4 Métodos.....	35
5. RESULTADOS.....	37
5.1 Planejamento.....	37
5.2 Avaliação da Qualidade do Processo de Geração.....	39
5.2.1 Critérios para escolha do número de pontos para georreferenciamento...39	
5.2.2 Qualidade geométrica dos pontos para georreferenciamento.....	41
5.2.3 Métodos de levantamento dos pontos para georreferenciamento.....	42
5.2.4 Levantamento dos pontos para georreferenciamento.....	42
5.2.5 Georreferenciamento das cenas.....	43

5.2.6 Vetorização e Reambulação	47
5.2.7 Edição da ortofotocarta.....	47
5.3 Avaliação da Qualidade dos Produtos	47
5.3.1 Levantamento dos pontos para avaliação	48
5.3.2 Classificação das bases em relação ao PEC	48
5.3.2.1 Discretização dos vetores	49
5.3.2.2. Definição do número de pontos para avaliação	49
5.3.2.3 Definição do método de distribuição dos pontos de avaliação.....	50
5.3.2.4 Identificação dos pontos no mapa e no terreno	51
5.3.2.5 Avaliação dos vetores gerados	52
5.3.3 Classificação em relação às áreas e a escala.....	60
5.3.3.1 Definição do número de áreas para avaliação	61
5.3.3.2 Identificação das áreas no mapa e no terreno.....	61
5.3.3.3 Avaliação das áreas da imagem	62
5.3.4 Avaliação das translações	70
5.3.4.1 Definição do número de pontos para avaliação das translações.....	70
5.3.4.2 Identificação dos pontos no mapa e no terreno	71
5.3.5 Avaliação das rotações	78
5.3.5.1 Definição do número de ângulos para avaliação das rotações	78
5.3.5.2 Identificação dos ângulos no mapa e no terreno	78
5.3.6 Tratamentos Estatísticos	82
5.3.7 Definição do valor da exatidão final dos vetores	84
6. CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
APÊNDICES	
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Distorções das imagens	10
Figura 2: Imagem QuickBird no modo multiespectral (3,2,1) do condomínio Ilhas Park em Xangri-lá - RS.....	29
Figura 3: Sensor Quickbird.....	30
Figura 4: Fluxograma da Metodologia	36
Figura 5: Distribuição dos pontos para georreferenciamento.....	41
Figura 6: Exemplo de ponto para georreferenciamento 1	52
Figura 7: Exemplo de ponto para avaliação 1	52
Figura 8: Exemplo de ponto para georreferenciamento 2	52
Figura 9: Exemplo de ponto para avaliação 2	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propagação de erros <i>a Priori</i>	38
Tabela 2: Número de pontos para georreferenciamento.....	40
Tabela 3: Coordenadas dos pontos para georreferenciamento	43
Tabela 4: Coordenadas e erros dos pontos de georreferenciamento da imagem multiespectral, composição colorida real	44
Tabela 5: Coordenadas e erros dos pontos de georreferenciamento da imagem pancromática.....	45
Tabela 6: Coordenadas e erros dos pontos de georreferenciamento da imagem fusionada, composição colorida real	46
Tabela 7: Erros de georreferenciamento <i>a priori</i> e <i>a posteriori</i>	46
Tabela 8: Expectativa de exatidão da base e exatidão dos pontos para avaliação da qualidade.....	48
Tabela 9: Número de pontos para avaliação.....	50
Tabela 10: Coordenadas de campo	51
Tabela 11: Coordenadas de mapa - imagem fusionada	53
Tabela 12: Resíduos - imagem fusionada.....	54
Tabela 13: Coordenadas de mapa - imagem multiespectral	55
Tabela 14: Resíduos - imagem multiespectral.....	56
Tabela 15: Coordenadas de mapa - imagem pancromática	57
Tabela 16: Resíduos - imagem pancromática.....	58
Tabela 17: Coordenadas de mapa - imagem ortorretificada.....	59
Tabela 18: Resíduos - imagem ortorretificada	60
Tabela 19: Áreas e perímetros - topografia	62
Tabela 20: Áreas e perímetros - imagem fusionada	63
Tabela 21: Resíduos das áreas e perímetros - imagem fusionada	64
Tabela 22: Áreas e perímetros - imagem multiespectral	65
Tabela 23: Resíduos das áreas e perímetros - imagem multiespectral	66
Tabela 24: Áreas e perímetros - imagem pancromática	67
Tabela 25: Resíduos das áreas e perímetros - imagem pancromática	68
Tabela 26: Áreas e perímetros - imagem ortorretificada.....	69
Tabela 27: Resíduos das áreas e perímetros - imagem ortorretificada	70

Tabela 28: Coordenadas dos pontos centrais - topografia.....	71
Tabela 29: Coordenadas dos centros das áreas - imagem fusionada.....	72
Tabela 30: Resíduos das translações - imagem fusionada.....	72
Tabela 31: Coordenadas dos centros das áreas - imagem multiespectral.....	73
Tabela 32: Resíduos das translações - imagem multiespectral	74
Tabela 33: Coordenadas dos centros das áreas - imagem pancromática.....	75
Tabela 34: Resíduos das translações - imagem pancromática.....	76
Tabela 35: Coordenadas dos centros das áreas - imagem ortorretificada.....	77
Tabela 36: Resíduos das translações - imagem ortorretificada	77
Tabela 37: Rotações da imagem fusionada – mesma direção de deslocamento	79
Tabela 38: Rotações da imagem fusionada – direção oposta de deslocamento	79
Tabela 39: Rotações da imagem multiespectral – mesma direção de deslocamento ..	80
Tabela 40: Rotações da imagem multiespectral – direção oposta de deslocamento ...	80
Tabela 41: Rotações da imagem pancromática – mesma direção de deslocamento ...	80
Tabela 42: Rotações da imagem pancromática – direção oposta de deslocamento ...	81
Tabela 43: Rotações da imagem ortorretificada – mesma direção de deslocamento ..	81
Tabela 44: Rotações da imagem ortorretificada – direção oposta de deslocamento ...	82
Tabela 45: Resultados do teste do <i>qui quadrado</i>	83
Tabela 46: Resultados da distribuição normal.....	84
Tabela 47: Exatidão final das dos vetores	85
Tabela 48: Comparações dos cálculos <i>a priori e a posteriori</i>	85
Tabela 49: Relação entre a resolução espacial e a exatidão geométrica	86
Tabela 50: Padrão de Exatidão de Mapeamento para Imagens QuickBird	86
Tabela 51: Padrão de Exatidão de Mapeamento para Imagens QuickBird através do georreferenciamento	87

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CCD: *Charge Coupled Device*

DoD: *Departament of Defense*

EP: Erro Padrão

ELETROSUL: Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A.

GPS: *Global Positioning System*

IFOV: *Instantaneous Field of View*

IHS: *Intensity, hue, saturation*

ISD: *Image Support Data*

MMQ: Método dos Mínimos Quadrados

MSS: *Multi Spectral Sensor*

NMAS: *National Mapping Accuracy Standard*

ONU: Organização das Nações Unidas

PDI: Processamento digital de imagens

PEC: Padrão de Exatidão Cartográfico

PIXEL: *Picture element*

REM: Radiação Eletromagnética

RFM: *Rational Function Model*

RGB: *Red, Green, Blue*

RPC: *Rational Polinomial Camera*

SIRGAS: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

UTM: Universal Transversa de Mercator

WGS: *World Geodetic System*

RESUMO

O mapeamento em grandes escalas nos últimos anos tomou um novo impulso devido o lançamento dos sensores de altíssima resolução (Ikonos e QuickBird), que permitiram uma mudança na forma de uso dos dados gerados por imagens. Hoje em dia, na maioria das vezes, essas imagens são utilizadas para mapeamento de áreas em grandes escalas sem critérios e controle de qualidade. Esta pesquisa apresenta uma metodologia, a ser utilizada em áreas planas, através da definição de critérios para avaliação da qualidade do processo de geração de produtos cartográficos através de imagens QuickBird, de forma que o produto final gerado tenha uma alta qualidade. A área de estudo situa-se em Xangri-lá – RS. As imagens utilizadas foram corrigidas geometricamente através de dois modelos polinomiais: o simples e o racional. Após executou-se vetorizações que foram comparadas com levantamento topográfico. As imagens foram avaliadas em relação às Normas Técnicas da Cartografia Brasileira, às translações, às rotações e às áreas. No final foi proposto um padrão de exatidão de mapeamento para o sensor QuickBird, conforme modo e modelo utilizado.

ABSTRACT

The mapping in great scales in recent years took a new impulse due to the launching of the sensors of highest resolution (Ikonos and QuickBird), that had allowed a change in the form of use the data generated for images. Nowadays, these images are used for mapping areas in great scales without criteria and quality control. This research presents a methodology, to be used in plain areas, through the definition of criteria for evaluation of the quality in the process of cartographic's generation products through QuickBird images, of form that the product has one high quality. The study area is placed in Xangri-lá - RS. The used images had been corrected through two polynomial models: simple and rational. The vectors had been compared with topographical survey. The images had been evaluated in relation to the PEC, in the translations, in the rotations and in the areas. In the end a standard of exactness of mapping for the QuickBird sensor was considered, to models used.

1. INTRODUÇÃO

As altíssimas resoluções dos novos sensores remotos modificaram a forma de uso dos dados gerados por imagens, pois se, antes um pixel (aproximadamente 30 metros) continha vários objetos, hoje em dia, um objeto é composto por vários pixels menores que 1 metro. Por isso, a utilização de imagens para mapeamento apresentou um grande crescimento, tendo em vista sua praticidade, frequência, acessibilidade e baixo custo relativo, que após o seu surgimento, fez com que o mapeamento em escalas grandes tomasse um novo impulso, proporcionando o surgimento de metodologias inovadoras na geração de bases cartográficas. E devido ao nível de detalhamento, cada vez maior, hoje em dia são realizadas análises desde um espaço geográfico complexo até um dado pontual, o que permite a utilização de imagens nas diversas atividades do domínio público e privado como: apoio ao Plano Diretor, Regularização Fundiária, Planejamento Urbano, Gestão Ambiental, Agricultura de Precisão, dentre outros.

Portanto, para utilizar uma imagem orbital na cartografia se faz necessário a utilização de critérios de qualidade no tratamento da mesma, para que o produto final (carta imagem, base cartográfica e etc.) tenha um resultado satisfatório. Porém, a falta de informação sobre estas imagens faz com que alguns usuários confundam o pixel da imagem com o erro inerente da tomada dela e, a principal finalidade, que é somente o apoio ao mapeamento de pequenas feições (edificações e etc.), é substituída pelo mapeamento propriamente dito.

Este trabalho apresenta uma metodologia de avaliação de bases cartográficas planimétricas geradas a partir da utilização de imagens QuickBird. Para tanto foram utilizados critérios estatísticos, cartográficos e fotogramétricos para gerar produtos e criar um padrão de exatidão de mapeamento para as imagens testadas.

Juntamente com o método de geração cartográfica, procedeu-se a avaliação do processo metodológico, através da definição de critérios de execução e da propagação de erros, identificados em cada etapa, executando-se, no final, testes de exatidão cartográfica, que permitiram avaliar a qualidade final dos produtos gerados em relação as suas precisões, exatidões e ao PEC.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver e avaliar um método que possa ser reaplicado com confiabilidade e simplicidade na geração de bases cartográficas, garantindo um padrão de exatidão de mapeamento *à priori*, por meio de imagens orbitais do sensor QuickBird, nos seus modos pancromático, multiespectral e ortorretificada.

Os objetivos específicos são:

- Definir critérios estatísticos de correção geométrica, contemplando a relação entre exatidão geométrica e resolução espacial da imagem, distribuição e quantificação dos pontos na imagem;
- Corrigir geometricamente três imagens Quickbird, nos modos pancromático, multiespectral e fusionado através do modelo polinomial simples e gerar vetores através destas imagens;
- Gerar uma base cartográfica (ortofotocarta) através da imagem ortorretificada, corrigida pelo modelo polinomial racional;
- Avaliar geometricamente os vetores gerados através das imagens e classificá-los de acordo com as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira, às translações, às rotações e às áreas;
- Definir um Padrão de Exatidão de Mapeamento para Imagens Orbitais do Sensor Quickbird, para cada modo utilizado.

1.2 Justificativa e Aplicação

Conforme o Decreto 89.817 de 1984, as cartas, mapas ou similares analógicos devem ter sua qualidade final definida conforme um indicador estatístico de dispersão, denominado PEC, que atribui valores e classes para as diferentes exatidões geométricas dos produtos testados.

Para as cartas digitais, temos a proposta de Rocha (2002), que tem por objetivo propor uma normatização de padrões para avaliação da exatidão posicional de cartas digitais para aplicações urbanas, desenvolvendo padrões planimétricos de exatidão cartográfica, definindo o tamanho da amostra necessário a uma perfeita

avaliação de mapas e aplicando padrões de exatidão cartográfica digital aos mapas urbanos.

Seguindo na direção da avaliação cartográfica, verificamos que a qualidade final do produto deve ser definida antecipadamente pelo usuário conforme suas necessidades cartográficas e, que no caso de imagens orbitais, está relacionada com diversos fatores como: a resolução espacial da imagem, a completude e área imageada, a correção geométrica executada, a vetorização, a edição da base final e etc.

Na geração de bases cartográficas, o critério que deve ser mantido é o da qualidade geométrica dos pontos de campo a serem utilizados na correção geométrica e, na avaliação da qualidade do produto, esta exatidão dos pontos deve, obrigatoriamente, ter um valor mais exato do que a do erro máximo tolerável, *a priori*.

Neste trabalho são analisadas considerações *a priori*, através do exame de bibliografia na área, em relação aos sensores remotos utilizados e à avaliação da qualidade, focalizando a utilização destas considerações para geração de vetores com alta qualidade.

Como no Brasil não existe uma legislação que defina um padrão de exatidão geométrico para utilização em imagens, como é o caso dos Estados Unidos, que utilizam o Indicador NMAS, para padronizar os valores de CE90 e escala para mapeamentos advindos de imagens orbitais e, como também não existe nenhuma relação entre a exatidão geométrica final dos produtos gerados e a imagem orbital original que gerou estes produtos, para o sensor QuickBird, este trabalho apresenta os valores calculados *a priori e a posteriori* desta relação.

1.3 Divisão do Trabalho

A dissertação está sendo apresentada em sete capítulos, assim definidos:

- O capítulo 1 apresenta a introdução, os objetivos geral e específicos e as justificativas da escolha deste tema;
- O capítulo 2 apresenta a conceituação teórica, contemplando informações principalmente sobre o Sensoriamento Remoto, a Estatística e a Cartografia;
- O Capítulo 3 apresenta a área de estudo utilizada;

- O Capítulo 4 apresenta os materiais utilizados e também os procedimentos metodológicos utilizados a fim de cumprir os objetivos propostos;
- O capítulo 5 apresenta os resultados alcançados na aplicação da metodologia;
- O capítulo 6 apresenta as conclusões, considerações finais e recomendações do trabalho;
- O capítulo 7 apresenta as referências bibliográficas utilizadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fotogrametria

Fotogrametria é a ciência e tecnologia de se reconstruir o espaço tridimensional, ou parte do mesmo (espaço objeto) a partir de imagens bidimensionais, advindas da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas (espaço imagem), sem contato físico direto com o objeto ou alvo de interesse (Brito e Coelho, 2002).

O objetivo principal da fotogrametria pode ser enunciado como a reconstrução de um espaço tridimensional, chamado de espaço objeto, a partir de imagens bidimensionais, chamadas de espaço imagem.

Para poder executar a transformação do espaço bidimensional em tridimensional é necessário a realização das etapas de orientação, que se dividem em interior e exterior.

Conforme Brito e Coelho (2002), orientação interior é a reconstrução do feixe perspectivo, ou seja, o referenciamento da imagem em relação à câmara. Conceitualmente, a orientação interior consiste apenas em colocar imagem por imagem em posição semelhante à que exerciam dentro da câmara, no momento em que foram obtidas.

Um dos modelos utilizados para orientação interior é transformação afin que modela seis parâmetros conforme demonstração abaixo:

$$x = a_0 + a_1 \cdot \text{coluna} + a_2 \cdot \text{linha}$$

$$y = b_0 + b_1 \cdot \text{coluna} + b_2 \cdot \text{linha}$$

Onde:

- a_0 , a_1 , a_2 , b_0 , b_1 e b_2 são as incógnitas ou parâmetros de transformação entre os dois sistemas;
- “x” e “y” são os valores das marcas fiduciais que advêm do certificado de calibração, seus equivalentes linha e coluna são localizados automaticamente em orientações executadas digitalmente.

O objetivo primordial da orientação exterior (ou externa) é a obtenção da posição e atitude de cada foto em relação ao referencial do espaço objeto. Pode-se dizer, então, que uma imagem está orientada exteriormente se são conhecidos os seis parâmetros de orientação exterior para a mesma, a saber: coordenadas no espaço-objeto para o centro de perspectiva e ângulos de rotação ou de atitude do sensor (ϕ , ω e κ).

Os ângulos de Euler (ϕ , ω e κ) representam rotações sofridas pelo sistema local de coordenadas x , y e z (de cada câmara) em relação ao sistema global do terreno X , Y e Z .

Em restituições digitais, conhecendo-se os seis parâmetros para cada uma das imagens de um vôo, pode-se reconstruí-lo totalmente:

- “X0” representa a posição do centro de perspectiva no eixo X do sistema de coordenadas do espaço objeto;
- “Y0” representa a posição do centro de perspectiva no eixo Y do sistema de coordenadas do espaço objeto;
- “Z0” representa a posição do centro de perspectiva no eixo Z do sistema de coordenadas do espaço objeto;
- “ ω ” representa a rotação do eixo x em relação a X . É contado no sentido anti-horário. Este ângulo deve ser pequeno, não devendo ultrapassar 5 graus em valor absoluto, no caso de fotografias perfeitamente verticais;
- “ ϕ ” representa a rotação do eixo y em relação a Y . É contado no sentido anti-horário. Este ângulo deve ser pequeno, não devendo ultrapassar 5 graus em valor absoluto, no caso de fotografias perfeitamente verticais;
- “ κ ” representa a rotação do eixo z em relação a Z . O sentido é anti-horário.

2.2 Sensoriamento Remoto

A Resolução 41/65 da Assembléia Geral da ONU, de nove de dezembro de 1986, definiu quinze princípios envolvendo as atividades do Sensoriamento Remoto. O princípio I define o termo “sensoriamento remoto” como sendo o registro da interação da radiação eletromagnética com a superfície da Terra a partir do espaço por meio de sensores.

Os sensores remotos podem ser divididos em duas categorias em relação ao registro e a emissão de radiação. Um sensor remoto passivo não emite radiação e utiliza a radiação eletromagnética proveniente de outros corpos, como por exemplo, o Sol. Um sensor ativo ou “radar” é um sensor que funciona independente da radiação solar, ele emite sua própria radiação e registra o seu retorno através de um outro sensor, acoplado na mesma plataforma, atuando no espectro das microondas.

Nos sensores remotos passivos a radiação ao interagir com os alvos da superfície terrestre pode ser absorvida, refletida ou transmitida, seletivamente ao longo do espectro eletromagnético. A parcela da REM que é refletida será registrada gerando-se imagens multiespectrais que abrangem a faixa de comprimento de onda (λ) desde 0,4 μm – região do azul, até aproximadamente 2,5 μm , região denominada de infravermelho médio ou de ondas curtas. A parte da REM emitida pelos alvos superficiais, em determinados comprimentos de onda, que depende da temperatura e das características da inércia térmica desses objetos, é denominada de infravermelho termal.

Quanto ao nível de aquisição dos dados, as plataformas de sensoriamento remoto podem ser orbitais (representados pelas plataformas espaciais), aéreas (representados pelas aeronaves e helicópteros) ou terrestres (representados por torres e sistemas radiométricos de campo).

Os sistemas sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar dados que são transformados em produto passível de interpretação, quer seja na forma de imagem, de gráfico ou de tabela. São constituídos basicamente por um coletor, que pode ser um conjunto de lentes, espelho ou antena, um sistema de registro (detector) que pode ser um filme ou outro dispositivo e um sistema processador (Moreira, 2003).

Em relação à forma de arranjo dos sensores remotos, eles podem ser divididos em imageadores de quadro (*pushbroom*) e de varredura (*whiskbroom*). Conforme Gupta (1991), os imageadores do tipo *pushbroom* consistem num conjunto CCD, ou arranjo de sensores, dispostos em linha, que são colocados no plano focal de um sistema de lentes. A radiação emitida pelo objeto é focada pelo sistema de lentes e dirigida ao arranjo CCD. Esta radiação é captada por um curto período e então

registrada pelos detectores individualmente. Com o movimento da plataforma linha por linha são coletadas.

Conforme o adaptado de Croce (2005) existe atualmente diversos sistemas sensores orbitais de sensoriamento remoto em operação e eles podem ser classificados didaticamente no tocante a sua principal aplicação como sendo meteorológicos, de aplicação híbrida e de recursos naturais e ou terrestres.

2.2.1. Sensores de Altíssima Resolução

Conforme Moreira (2003) no início da era dos sensores orbitais, como o MSS (Landsat), existiam duas categorias de sensores quanto à resolução espacial: baixa (Série NOAA pixel de 1km x 1km) e alta (MSS do Landsat 1, 2 e 3, pixel de 80m x 80m).

Após o lançamento do Landsat 4 (pixel de 30m x 30m) e do SPOT (pixel de 20m x 20m), surgiu uma terceira categoria de sensores: os de altíssima resolução.

Porém, com o surgimento dos sensores atuais, como Ikonos e QuickBird, as categorias se dividem agora em:

- Baixa (NOAA);
- Alta (Landsat e SPOT);
- Altíssima Resolução (SPOT, Ikonos e QuickBird).

Os sensores de altíssima resolução são passivos e orbitam em plataformas orbitais, são do tipo CCD e operam no comprimento de onda de 400 até 900nm. Imagens deste formato são provenientes de um sensor linear que possui grande distância focal e campo de visada estreito. A geometria de uma linha da imagem tem uma perspectiva central no sentido da varredura e aproxima-se de uma projeção paralela no sentido do deslocamento do satélite.

A projeção paralela é caso particular da projeção central onde o centro de projeção foi deslocado para o infinito (Lugnani, 1987). Este tipo de projeção modela o comportamento dos sistemas de sensores dos satélites de alta resolução.

2.3 Qualidade Geométrica das Imagens

As imagens produzidas por sensores remotos, sejam elas fotografias aéreas ou imagens de satélite, apresentam uma série de distorções espaciais, não possuindo, portanto, exatidão quanto ao posicionamento geográfico dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Erros geométricos resultam das seguintes causas: rotação da Terra, curvatura da Terra, movimento do espelho de imageamento, variações da altitude, posição e velocidade da plataforma, distorção de panorama e distorção topográfica. Estes erros podem ser eliminados ou reduzidos por meio de modelos de correção geométrica.

As distorções que devem ser levadas em consideração ao se manipular uma imagem são:

- Distorções inerentes ao modelo da Terra: quando são relacionadas ao efeito de rotação da Terra (de oeste para leste) causam o deslocamento entre varreduras sucessivas, quando são relacionadas à esfericidade da Terra causam a distorção panorâmica e quando são relacionadas ao relevo causam os deslocamentos;
- Distorções inerentes à plataforma: quando são relacionadas às efemérides (posição e velocidade), podem causar superposições e lacunas entre varreduras sucessivas e, devido às variações da altitude podem causar diferentes escalas no sentido transversal às varreduras e ao longo das mesmas;
- Distorções inerentes à altitude da plataforma: segundo Richards & Jia (1999) acarretam mudança de escala e, com isso, uma mudança no tamanho do pixel, que depende do IFOV e da altura da plataforma. Similarmente a mudança de velocidade da plataforma acarretará uma mudança de escala na direção da trajetória e a deformação do pixel ocorrerá na direção longitudinal de varredura. A variação da atitude é representada por ângulos que inferem rotação e deslocamentos longitudinal e transversal na varredura;
- Distorções inerentes ao instrumento: são relacionadas à forma de aquisição da imagem, que pode ser de varredura ou de quadro.

Conforme D'Alge (2006), a atitude dos sensores são representadas pelos ângulos *Yaw*, *Pith* e *Roll*. O primeiro acarreta uma distorção provocada pela guinada e causa a falta de alinhamento das varreduras e as superposições ou lacunas (efeito de

leque). O segundo é a variação do ângulo de arfagem e provoca as superposições ou lacunas em varreduras sucessivas. O terceiro é o ângulo de rolamento e provoca o não alinhamento de varreduras consecutivas.

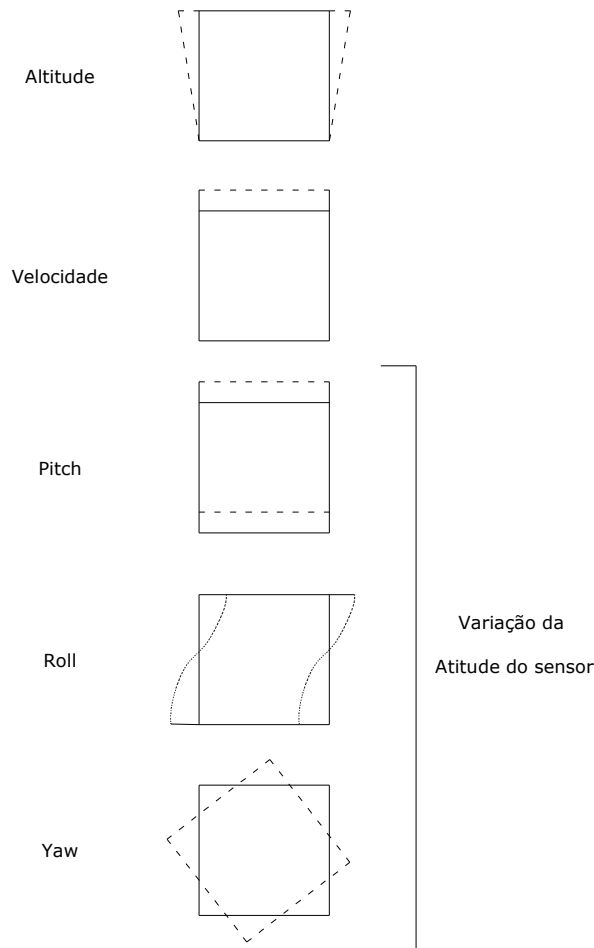


Figura 01: Distorções das imagens
 Fonte: Adaptado de Richards & Jia (1999)

Com exceção dos erros devido a curvatura da Terra, todos os outros erros podem ocorrer em imagens de alta resolução. Em sensores que podem variar a varredura através da oscilação do ângulo de visada para os modos *reverse* e *forward*, a velocidade pode ser alterada, gerando resíduos de ordem sistemática.

Variações na atitude do sensor geram uma reamostragem não uniforme na imagem e, acelerações frequentes ou perturbações no sensor também interferem na coleta da imagem. Imagens do sensor QuickBird são mais suscetíveis a esses tipos de erros devido a contínua reorientação do sensor durante a captura. (Adaptado de Yamakawa & Fraser, 2004).

2.4 Processamento Digital de Imagens

O PDI é um sub-tema associado ao processamento de dados, ligado à informática, que envolve o desenvolvimento e uso de equipamentos, técnicas e algoritmos de processamento de imagens digitais com a finalidade de melhorar ou modificar o aspecto visual da imagem ou de interpretar o conteúdo delas através de máquina (Maillard, 2001).

Uma imagem digital é constituída por elementos designados pixels nos quais se quantificam as intensidades de radiação eletromagnética provenientes de áreas discretas de uma cena (FCTUC, 2002).

Uma imagem pode ser descrita por uma função contínua $F(x, y)$ onde a variável dependente, ou amplitude, é a densidade e , as variáveis independentes (x, y) são variáveis espaciais que denotam uma localização e que se designam por coordenadas.

As imagens têm sua qualidade definida através de suas resoluções. A explicação mais simples para o termo resolução é a distância mínima entre dois objetos que um sensor pode registrar distintamente (Colwell, 1980).

A resolução geométrica ou espacial de uma imagem é quantificada pela dimensão do pixel, ou seja, a função contínua representativa da cena fica tanto melhor quanto menores forem os intervalos de amostragem D_x, D_y (dimensões do pixel). Segundo Silva (1998), a definição de resolução mais comum, quando se fazem referências às imagens de sensores óticos, é conhecida como a resolução instantânea no nadir do satélite, ou, IFOV, que corresponde ao tamanho da parcela do terreno imageada por um elemento do sensor. Assim, depende da altura da órbita e da distância focal. A medida é feita pelo comprimento em metros da área imageada, normalmente um quadrado. A medida real é quase sempre aproximada para uma resolução nominal.

A resolução espectral refere-se ao poder de resolução que o sensor tem para discriminar diferentes alvos sobre a superfície terrestre. Quanto mais fina for a largura de faixa que opera um determinado sensor, melhor é sua resolução espectral. Por outro lado, se um sistema sensor possui detectores operando em mais de uma faixa espectral, do espectro eletromagnético, o sistema é dito multiespectral, porque registra a

radiação eletromagnética proveniente dos alvos em várias faixas espectrais (Adaptado de Moreira, 2001).

A resolução temporal, conforme Gupta (1991), refere-se a frequência de imageamento de uma determinada área ou intervalo mínimo de tempo entre a aquisição de duas imagens consecutivas de uma mesma área.

A resolução radiométrica refere-se à capacidade que este sensor tem de poder discriminar, numa área imageada, alvos com pequenas diferenças de radiação refletida e/ou emitida. Pode-se dizer que a resolução radiométrica está associada à capacidade que o sistema sensor tem em discriminar sinais elétricos com pequenas diferenças de intensidade. Em imagens digitais é a quantidade de *bits* utilizados para armazenar os dados referentes a um pixel. Uma imagem de um *bit* armazena um pixel com dois tons de cinza (preto e branco).

2.5 Correção Geométrica

A retificação ou correção geométrica de uma imagem é uma transformação entre coordenadas de pixels em linhas e colunas para um sistema de pixels em eixos coordenados (E, N) ou (x,y), onde o objetivo primordial para o sensoriamento remoto é gerar uma nova imagem com perspectiva vertical sem as distorções introduzidas pelo sensor durante a tomada da imagem.

Para calcular qualquer função entre uma ou mais variáveis, é necessário contar previamente com uma série de observações comuns a todas elas. Estas observações são chamadas de pontos de controle e, o estabelecimento entre imagem e terreno é executado através de ajustamento por mínimos quadrados (Chuvieco, 1990).

No processo de correção geométrica das imagens há quatro elementos principais que influenciam a qualidade final do produto:

- Modelo aplicado na correção;
- Qualidade, quantidade e distribuição dos pontos de controle;
- Relevo da área de estudo;
- Qualidade do modelo altimétrico do terreno.

Conforme o adaptado de Toutin e Cheng (2002) e de Tao e Hu (2001), existem três modelos principais para serem aplicados na correção geométrica de imagens: Modelo Polinomial, Modelo Função Racional e Modelo Rigoroso.

O modelo polinomial utiliza transformações polinomiais do 1º e 2º graus, que fazem o vínculo entre coordenadas de imagem e as coordenadas no sistema de referência através de pontos de controle. Esse modelo não leva em consideração a elevação do terreno e as informações de plataforma e sensor.

As coordenadas de imagem bruta (C,L) são relacionadas às coordenadas de referência (X,Y) através de polinômios de grau n:

$$X = a_0 + a_1L + a_2C + a_3L^2 + a_4LC + a_5C^2 + \dots + a_mC^n$$

$$Y = b_0 + b_1L + b_2C + b_3L^2 + b_4LC + b_5C^2 + \dots + b_mC^n$$

$$m = ((n + 1)(n + 2)/2) - 1$$

A vantagem do modelo polinomial simples é a simplicidade de execução. Ele não requer conhecimento de parâmetros orbitais e do funcionamento da câmera. As desvantagens são que ele não modela distorções de alta frequência (relevo e variação do tempo útil de varredura), requer um número mínimo de pontos de controle bem distribuídos e não envolve os conceitos físicos inerentes à aquisição das imagens.

O modelo função racional utiliza pontos de controle, um modelo digital altimétrico e os RPC (*Rational Polynomial Coefficients*) acrônimo de *Rapid Positioning Capability* utilizado pelas grandes empresas de *software* que fizeram acordos comerciais com os donos de satélites que geram imagens de alta resolução para não divulgar os parâmetros orbitais e cobrar caro pelas imagens. Para correção através de modelo polinomial racional são utilizados vários elipsóides auxiliares definidos entre altura mínima e máxima e uma grade regular de pontos (Adaptado de D'Alge 2006 e Toutin e Cheng, 2002).

A ortorretificação através do RCP ocorre da seguinte forma, segundo D'Alge, 2006:

Aplica-se o modelo fotogramétrico ao elipsóide de referência para a Terra:

$$(X,Y,Z)_{ij} \rightarrow (\varphi,\lambda)_{ij} \rightarrow (XP,YP)_{ij}$$

Aplica-se o modelo fotogramétrico aos elipsóides auxiliares sem fazer o cálculo das coordenadas de projeção:

$$(X_{hmin},Y_{hmin},Z_{hmin})_{ij} \rightarrow (\varphi_{hmin},\lambda_{hmin},\text{altura mínima})_{ij}$$

$$(X_1,Y_1,Z_1)_{ij} \rightarrow (\varphi_1,\lambda_1,H_1)_{ij}$$

$$(X_2,Y_2,Z_2)_{ij} \rightarrow (\varphi_2,\lambda_2,H_2)_{ij}$$

$$(X_{hmax},Y_{hmax},Z_{hmax})_{ij} \rightarrow (\varphi_{hmax},\lambda_{hmax},\text{altura máxima})_{ij}$$

Relação entre as coordenadas de projeção obtidas para o elipsóide de referência e as coordenadas geodésicas obtidas para os elipsóides auxiliares:

$$XP_{ij} = f(\varphi,\lambda,H)_{ij}, 1 < k < n$$

$$YP_{ij} = g(\varphi,\lambda,H)_{ij}, 1 < k < n$$

Onde:

- (i,j) são os pontos da grade regular;
- n é o número de elipsóides auxiliares entre altura máxima e mínima;
- f e g são transformações polinomiais racionais do terceiro grau.

Cálculo dos coeficientes dos polinômios racionais do terceiro grau:

$$XP = (a_0 + a_1\varphi + a_2\lambda + a_3H + \dots + a_{17}\varphi^3 + a_{18}\lambda^3 + a_{19}H^3) / (1 + b_1\varphi + b_2\lambda + b_3H + \dots + b_{17}\varphi^3 + b_{18}\lambda^3 + b_{19}H^3)$$

$$YP = (c_0 + c_1\varphi + c_2\lambda + c_3H + \dots + c_{17}\varphi^3 + c_{18}\lambda^3 + c_{19}H^3) / (1 + d_1\varphi + d_2\lambda + d_3H + \dots + d_{17}\varphi^3 + d_{18}\lambda^3 + d_{19}H^3)$$

Coeficientes a_n , b_n , c_n , d_n são calculados por MMQ ao se resolver o sistema de equações para XP e YP sobre os pontos (i,j) da grade regular:

39 RPCs para XP (20 a_n e 19 b_n)

39 RPCs para YP (20 c_n e 19 d_n)

Coordenadas (XP,YP) são discretizadas em coordenadas de imagem corrigida (J,I).

O RPC é um caso particular do RFM, que relaciona coordenadas tridimensionais do espaço objeto (X,Y,Z) com coordenadas bidimensionais do espaço imagem (linha, coluna), ou vice versa, assim como o modelo físico do sensor. O RMF é apresentado da seguinte forma (Grodecki, 2001):

$$\text{Linha}(X_n, Y_n, Z_n) = \frac{p_1(X_n, Y_n, Z_n)}{p_2(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}$$
$$\text{Coluna}(X_n, Y_n, Z_n) = \frac{p_3(X_n, Y_n, Z_n)}{p_4(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p c_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p d_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}$$

Os métodos polinomiais, simples e racional, não utilizam as informações do sensor, o “*orbit*”. Assim, eles não são tão rigorosos e requerem muitos pontos de controle, sendo que a correção ocorre nas proximidades dos pontos. Deste modo, as distorções não são eliminadas totalmente.

O modelo rigoroso considera as informações do satélite e do sensor, reflete a realidade física da geometria de visada e corrige as distorções da plataforma, porém é um modelo que somente pode ser utilizado pela empresa geradora da imagem, pois a mesma não disponibiliza os parâmetros das efemérides e da atitude do sensor, o que não permite aos usuários a realização da ortorretificação através do modelo rigoroso.

O motivo apresentado pela *Space Imaging*, responsável pelas imagens Ikonos, para a adoção desta postura é a complexidade do modelo físico do sensor, que por adquirir, na formação da imagem, uma linha a cada instante, apresenta parâmetros de orientação exterior (coordenadas do centro perspectivo e ângulos de atitude) diferentes para cada linha, o que torna difícil a implementação de soluções para o modelo por parte do usuário final (Grodecki, 2001).

Segundo o mesmo autor, a exatidão do modelo racional polinomial, difere da exatidão do modelo rigoroso de, no máximo, 0,04 pixel, enquanto que apresenta um erro médio quadrático abaixo de 0,01 pixel.

Como a empresa detentora dos direitos das imagens Ikonos é concorrente da empresa detentora das imagens QuickBird, desde que a Space Imaging disponibilizou os RPCs para o Ikonos, os usuários puderam utilizar, de forma análoga os RPBs para ortorretificar as imagens QuickBird, eliminando a necessidade de comprar produtos mais caros necessários à ortorretificação, utilizando somente modelo digital do terreno e pontos de controle.

O georreferenciamento é uma correção geométrica que integra o sensoriamento remoto com as ciências geodésicas e as tecnologias da geoinformação, onde para transformar um sistema raster (linhas, colunas) para um sistema raster (referenciado à Terra - coordenadas E, N) é necessário o conhecimento da relação matemática existente entre a imagem e o terreno. Essa relação é dada através de parâmetros de transformação, que podem ser determinados por meio de pontos de controle.

Merchant (1982) define que, para caracterizar uma boa rigidez geométrica nos processos de correção geométrica de mapas, deve-se adotar uma distribuição homogênea de pontos de controle por toda a imagem.

O termo retificação advém da fotogrametria e, segundo Andrade (1998), é o processo de eliminação dos efeitos de inclinação da plataforma, representados pelos ângulos κ , ω e ϕ , que transforma as imagens em verticais.

As imagens de satélite sofrem com as deformações com relação à inclinação do sensor e variação da altitude, e o procedimento para a eliminação destas

deformações, a fim de tornar a imagem isenta é chamado de ortorretificação, e a imagem ortorretificada passa a se chamar ortoimagem (Pedro, 2005).

Em imagens de satélite, ortorretificação é uma correção geométrica executada através de modelo fotogramétrico com o uso de um modelo digital de elevação do terreno. (D'Alge, 2006).

Após a correção geométrica é necessária a execução do segundo passo da correção, que consiste em projetar as amostras (pixels) na projeção. Então, os pixels são reamostrados para serem igualmente espaçados. Três tipos de interpoladores podem ser usados na reamostragem: vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica.

A reamostragem através do método do vizinho mais próximo seleciona o valor do pixel mais próximo e o transfere para a nova localização e, apresenta, de acordo com Franke (1982), maior simplicidade e preservação dos valores radiométricos originais dos pixels.

A reamostragem através do método bilinear usa três interpolações lineares sobre os quatro pixels vizinhos.

A reamostragem através de convolução cúbica usa uma vizinhança de 16 pixels de maneira que polinômios cúbicos são ajustados para quatro linhas vizinhas ao pixel.

2.6 Fusão

Utiliza-se o fusionamento de imagens quando se faz necessário a união da resolução espacial de uma imagem, com a resolução espectral de uma outra imagem. Normalmente se fusionam imagens de uma banda pancromática com as bandas multiespectrais de um mesmo sensor.

Existem vários tipos de fusão, o método mais utilizado é o da transformação IHS/RGB. As transformações através de componentes principais e adição de bandas também são utilizadas, porém com menor frequência.

Nos monitores de televisão e de computadores, as imagens são formadas através da composição colorida de três cores básicas: vermelho, verde e azul. No

método de transformação RGB/IHS/RGB, a imagem que está dividida em bandas nos três canais RGB, é transformada em três componentes: intensidade, matiz e saturação.

A intensidade corresponde ao brilho, em função da quantidade de energia refletida. O matiz é proveniente do comprimento de onda, onde se produz a máxima refletividade do objeto, ou seja, é equivalente a percepção humana para as cores. A saturação refere-se ao grau de pureza, ou grau de mistura de cores.

A imagem transformada em IHS, tem a componente da intensidade substituída pela banda pancromática e novamente é feita a transformação, só que de forma inversa. Novamente a imagem aparece em RGB, só que agora possui a resolução espacial da banda pancromática e a resolução espectral da banda multiespectral.

2.7 Cartografia

A cartografia pode ser definida como o conjunto de estudos e operações técnicas, artísticas e científicas, com vistas a gerar documentos técnicos que representem, de forma precisa, a superfície da Terra ou outra superfície qualquer.

A geração de uma base cartográfica digital é uma tarefa que exige um amplo conhecimento não só de seus objetivos, determinados pelo conjunto das necessidades de informações cartográficas apresentadas por seus usuários, mas também das técnicas e dos recursos computacionais disponíveis.

Nesse sentido, conforme Caldas *et al* (2001):

“considera-se a base cartográfica digital, como o conjunto formado pelos produtos gráficos gerados através da aplicação de métodos cartográficos, apresentados sob a forma de cartas, mapas e outros modelos derivados de representação cartográfica, e um mapa digital é um conjunto de registros das informações cartográficas armazenadas na forma digital, que possibilita a vinculação das entidades gráficas com os dados alfanuméricos, onde a interpretação por programas específicos permite a sua apresentação na forma cartográfica e, também, a realização de análises espaciais a partir da estrutura topológica construída.”

Num mapa analógico devemos levar em consideração o erro gráfico na hora da digitalização ou escanerização e vetorização. O erro gráfico está relacionado com a exatidão planimétrica do produto cartográfico, sendo ligado a sua escala. É o menor comprimento gráfico que se pode obter em uma representação cartográfica, equivale a 1/5 do milímetro.

2.7.1 Qualidade Cartográfica

As pesquisas envolvendo o termo qualidade possuem inúmeras definições, destacamos abaixo, as mais relevantes para a pesquisa.

Juran e Gryna (1991) apresentam a palavra qualidade com dois significados:

- A qualidade consiste nas características do produto que vão ao encontro das necessidades dos clientes e dessa forma proporcionam a satisfação em relação ao produto;
- A qualidade é a ausência de falhas.

Paladini (1990) apresenta cinco abordagens para definir qualidade, que podem ser identificadas como:

- Transcendental: apresenta a qualidade como uma característica proveniente, na maioria das vezes, de uma variável passível de medição e que precisa de experiências.
- Centrada no produto: vê a qualidade como uma variável passível de medição e precisa, sem o uso de opiniões e preferências;
- Centrada no usuário: fixa o usuário como fonte de toda a avaliação sobre a qualidade de um produto.
- Centrada na fabricação: baseia-se inicialmente em um conjunto de ações do processo produtivo para a completa satisfação dos clientes. Envolve a eliminação de defeitos, refugos e retrabalho;
- Centrada no valor: agrega qualidade aos custos de produção e considera que um produto é de boa qualidade se apresentar alto grau de conformação a um custo aceitável.

Um mapeamento só deve ser utilizado como fonte fidedigna de informação quando associado aos processos de avaliação da qualidade dos dados que o compõem (Rocha, 2002).

A exatidão apresenta o grau com que a informação espacial está registrada em sua verdadeira posição, com relação a um referencial terrestre (referencial geodésico) e com referência às outras informações adjacentes.

Precisão pode ser definida como o grau de concordância de uma série de medidas feitas sobre condições similares. Traduz-se na confiabilidade da imagem em possibilitar ao usuário uma avaliação da dispersão ao se tomar posições, associa-se ao desvio padrão das medições.

Conforme Gemael (1994), o termo exatidão está vinculado a efeitos aleatórios e sistemáticos e diz respeito à dispersão de valores em relação ao valor exato da observação, enquanto que a precisão está vinculada a efeitos aleatórios e diz respeito à dispersão de valores em relação à média das observações.

As observações realizadas pelo homem provenientes de levantamentos terrestres são caracterizadas através da presença de erros inerentes ao processo, divididos em categorias de acordo com suas formas, podendo ser grosseiros – provenientes de falha humana; sistemáticos – provenientes de defeitos ou imperfeições nos equipamentos e aleatórios – causados pela influência das condições ambientais, sem que haja, às vezes, uma causa conhecida na hora da tomada de informações (Gemael, 1994).

Partindo da diversificação de informações levantadas nos deparamos com dados redundantes e inexatos, sem que consigamos determinar o valor verdadeiro das observações. Porém, devemos tentar minimizar as discrepâncias geométricas, extraindo um único resultado que nos forneça o valor mais próximo possível do verdadeiro e com razoável confiabilidade.

Os erros grosseiros são erros provenientes, geralmente, de falha humana e podem ser identificados através de testes estatísticos que permitem ter sua observação rejeitada ou não. Os erros sistemáticos tendem a se acumular, podendo ser evitados através de técnicas especiais ou serem eliminados *a posteriori* mediante modelagem

matemática. Os erros aleatórios tendem a se neutralizar quando o número de observações cresce, por isso antes de se iniciar um ajustamento, devem-se depurar as observações de todas as tendências sistemáticas, para que se possam ajustar somente os erros aleatórios.

Para se estimar o erro ou exatidão *a priori* de uma observação ou de um produto cartográfico se utiliza o princípio da propagação de erros. Esse princípio surge da proposição de que se uma observação é obtida com influência de valores eivados de erros e os produtos resultantes também sofrerão influência destes erros.

A estimativa de exatidão *a priori* é aquela que se origina de dados ainda não levantados. É calculada através da propagação de erros que deverão ser levados em consideração na hora do levantamento e processamento sendo que, o valor final da observação, após o ajuste, não deverá ultrapassar o valor definido na propagação *a priori*.

A avaliação da exatidão *a posteriori* é aquela que se origina através de dados já levantados e deverão ser calculados e processados, retornando o valor final do erro da observação.

A avaliação de um produto deve ser realizada toda vez que se utilizar um documento que não tem especificado qual é a sua qualidade geométrica, que é o caso de imagens orbitais (Celestino et al, 2005). Para a avaliação geométrica de uma base cartográfica proveniente de imagens, deve-se avaliar o produto e o processo.

A avaliação da qualidade do processo, conforme Rocha (2002) deve ser realizada durante as etapas de trabalho, através da definição de critérios que garantam a exatidão dos dados cartografados.

A avaliação do produto final deverá ser realizada através do teste de carta, por diferentes métodos ou conforme o PEC. Os pontos testados não deverão possuir diferença, em relação à posição gráfica, maior que o PEC.

As imagens deverão conter informações suficientes para que se possa fazer uma avaliação e os dados deverão ser visíveis na imagem e também no terreno. As

informações mais importantes deverão ser: limites da área a ser mapeada, arruamentos, trilhas, curvas de nível ou pontos cotados, edificações, topônimos, hidrografia e etc.

No trabalho de Rocha (2002), é apresentado um estudo do melhor tipo de amostra. Existem dois grupos: as amostras aleatórias e as não aleatórias. As amostras aleatórias podem ser subdivididas em amostras aleatórias simples, amostras aleatórias sistemáticas e amostras aleatórias estratificadas. No critério de distribuição aleatória simples, a distribuição dos pontos privilegia as regiões de maior índice de concentração de informações cartografadas.

A exatidão de mapeamento em imagens orbitais pode ser medida por meio de dois critérios: exatidão geométrica e temática (Congalton e Green, 1999).

A Exatidão Geométrica refere-se ao grau de ajuste dos objetos no mapa em relação à sua posição no terreno e pode ser dividida em interna (quando indica o grau de similaridade entre a imagem e o terreno nela representado) e externa (quando estabelece a exatidão das coordenadas da imagem em relação a um determinado referencial (Ford e Zanelli, 1985)).

A Exatidão Temática refere-se ao grau de associação entre os objetos mapeados e a realidade do terreno.

2.8 Legislação Brasileira

O Decreto nº 89.817/84 estabelece Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional e define procedimentos de padronização, permitindo a avaliação e produção de cartas com qualidade compatível com padrões internacionais.

O referido Decreto apresenta uma avaliação da qualidade do mapa no tocante à exatidão das informações cartográficas, criando o PEC, e uma classificação das cartas em Classe A, B e C, conforme apresentada no Quadro 1 e Quadro 2.

- Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.
- A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão - $PEC = 1,6449 EP$.

- O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.
- Para efeito das presentes Instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático.

As cartas, quanto à sua exatidão, devem obedecer ao PEC, segundo o critério abaixo indicado:

- Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC - Planimétrico – estabelecido;
- 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 PEC - Altimétrico - estabelecido.

Quadro 1: Classes de cartas

Carta	PEC planimétrico	Erro padrão	PEC altimétrico	Erro padrão
Classe A	0,5 mm x Escala	0,3 mm x Escala	1/2 eqüidistância	1/3 da eqüidistância
Classe B	0,8 mm x Escala	0,5 mm x Escala	3/5 eqüidistância	2/5 da eqüidistância
Classe C	1,0 mm x Escala	0,6 mm x Escala	3/4 eqüidistância	1/2 da eqüidistância

Fonte: Decreto Lei 89.817 (1984)

Quadro 2: Classificação das Cartas conforme Escala e Erro Admissível

Escala da carta	Classe A PEC (m)	Classe B PEC (m)	Classe C PEC (m)
1/100000	50	80	100
1/50000	25	40	50
1/25000	12,5	20	25
1/10000	5	8	10
1/5000	2,5	4	5
1/2500	1	1,6	2
1/1000	0,5	0,8	1
1/500	0,25	0,4	0,5

Fonte: Decreto Lei 89.817 (1984)

A Lei No 10.406, de 10 de janeiro de 2002, do código civil brasileiro, especifica:

Art. 500. Se, na venda de um imóvel, se estipular o preço por medida de extensão, ou se determinar a respectiva área, e esta não corresponder, em qualquer dos casos, às dimensões dadas, o comprador terá o direito de exigir o complemento da área, e, não sendo isso possível, o de reclamar a resolução do contrato ou abatimento proporcional ao preço.

§ 1º Presume-se que a referência às dimensões foi simplesmente enunciativa, quando a diferença encontrada não exceder de um vigésimo da área total enunciada, ressalvado ao comprador o direito de provar que, em tais circunstâncias, não teria realizado o negócio.

§ 2º Se em vez de falta houver excesso, e o vendedor provar que tinha motivos para ignorar a medida exata da área vendida, caberá ao comprador, à sua escolha, completar o valor correspondente ao preço ou devolver o excesso.

No inciso primeiro é definido que a diferença tem que ultrapassar um vigésimo da área para que seja formalizada diferença de dimensão. Um vigésimo de área corresponde a 5% de área.

2.9 Métodos de Levantamento

Levantamento topográfico é o nome que se dá ao método cujo objetivo principal é a representação da superfície terrestre e a localização dos acidentes naturais e artificiais, considerando a Terra como um plano, quando os dados são levantados em meio terrestre.

O NAVSTAR-GPS, é um sistema de radio-navegação desenvolvido pelo DoD, com o intuito de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas (Monico, 2000).

Conforme Rocha (2000):

“o GPS consiste, atualmente, de 24 satélites que estão distribuídos em órbitas planas. Cada plano possui inclinação de 55° em relação ao plano do Equador. Todos os satélites estão à cerca de 20.200 km acima da Terra e completam uma revolução inteira, em torno da Terra, em aproximadamente 11 horas e 58 minutos. A constelação atual de

satélites GPS garante a denominada cobertura bidimensional, ou seja, a todo instante, em qualquer lugar da superfície terrestre, pelo menos três satélites podem ser observados.”

Segundo Monico (2000):

“no que concerne ao posicionamento que utiliza GPS, independentemente do estado do objeto, ele pode ser realizado pelos métodos absoluto e relativo. Os modos de recepção podem ser divididos basicamente em estático e cinemático e também podem ser divididos em categorias: navegação, frequência única e dupla frequência.”

2.10 Reambulação

As informações desejadas para o mapa e não contidas nas imagens podem ser obtidas de mapas existentes ou de visitas ao campo. Esta operação é chamada reambulação.

Na reambulação são coletadas informações como a nomenclatura, a classificação das estradas e etc. (Andrade, 1998).

2.11 Teoria Elementar da Amostragem e da Decisão Estatística

Conforme Spiegel (1978), a teoria da amostragem é o estudo das relações existentes entre uma dada população e as amostras dela extraídas. É utilizada para avaliação de grandezas desconhecidas da população (parâmetros populacionais), por meio das grandezas correspondentes das amostras (estatísticas amostrais) e também para determinar se as diferenças observadas entre duas amostras são devidas a uma variação casual ou se são verdadeiramente significativas. As respostas para essa questão implicam no uso dos testes de significância e hipótese que são importantes na teoria das decisões.

Geralmente, um estudo a respeito de uma população mediante a utilização de amostras, juntamente com indicação de precisão obtida por meio de teoria da probabilidade, é denominada inferência estatística. Logo, uma decisão estatística é uma decisão tomada acerca de populações baseada nas informações amostrais.

Para fixar uma decisão, é conveniente formular conjecturas acerca das populações de interesse. Essas suposições são denominadas hipóteses estatísticas que podem ser ou não verdadeiras. Os processos que habilitam a decisão de aceitar ou de rejeitar as hipóteses, ou determinar se a amostra observada difere de modo significativo dos resultados esperados, são denominados testes de hipótese, de significância ou regras de decisão (Spiegel, 1978).

Na avaliação da exatidão planimétrica de bases, adota-se o definido por Spiegel (1978): Testes especiais de significância para grandes amostras. Neste caso específico deve ser utilizado o teste de hipótese ou de significância em relação à média.

$$Z = X - \mu_0 / S/\sqrt{n} \quad (1)$$

Onde:

Z = variável amostral

X = média amostral

μ_0 = média populacional esperada

S = desvio padrão amostral

n = tamanho da amostra

Uma das formas de examinar se os resultados estão dentro da expectativa do usuário, em relação à precisão, é a utilização do teste *Qui-quadrado*, que verifica se a variância das diferenças das coordenadas corrigidas, quando comparadas com as de referência, possui diferenças significativas ou não, com a variância da expectativa definida pelo usuário (Adaptado de Gemael, 1994).

Sendo assim, se:

$$P (\chi^2_{N, g} < \frac{s^2_{pesq}}{s^2_{usuário}} < \chi^2_{N, g}) \quad (2)$$

Onde:

- N: graus de liberdade: número de pontos testados
- g: intervalo de confiança referente aos valores da tabela de distribuição do teste do *Qui-quadrado*
- s^2_{pesq} : variância calculada através dos pontos testados
- $s^2_{\text{usuário}}$: variância calculada através da estimativa de erro da base

A definição de critérios para escolha do número de pontos para correção geométrica pode ser executada através de método estatístico, através da função estatística de Pereira (1978), para definir o número de pontos de controle para correção geométrica.

$$n := \frac{(Z^2 \cdot \gamma^2 \cdot N)}{\left[(N - 1) \cdot (\epsilon)^2 \right] + (Z^2 \cdot \gamma^2)} \quad (3)$$

$$\epsilon := \frac{\sigma}{\mu} \quad (4)$$

$$\gamma := \frac{\sigma}{\mu} \quad (5)$$

Onde:

- n = tamanho da amostra
- N = tamanho da população
- ϵ = erro amostral relativo
- σ = desvio padrão amostral em metros
- μ = média amostral
- Z = intervalo de confiança da tabela de Distribuição Normal
- γ = Relação entre o desvio padrão e a média amostral

No trabalho de Rocha (2002), a média amostral é utilizada como sendo a diferença entre as coordenadas de mapa e de campo no momento em que os produtos cartográficos são avaliados. O autor informa que na impossibilidade de se adotar uma média populacional, adota-se, numa aproximação, uma média amostral, porém isso gera uma incerteza, um erro admissível, denominado erro amostral. O erro amostral pode variar de 10% a 15% da média amostral, e é expresso em metros, enquanto que o erro amostral relativo é um valor fixo em relação a um percentual, geralmente 12,5%.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida situa-se no Condomínio Ilhas Park, ver figura 1. A área possui aproximadamente 0,5 km², é completamente plana, com altitude de aproximadamente 7 m e situa-se na no litoral norte do Rio Grande do Sul, na Cidade de Xangri-lá.

A área foi escolhida por apresentar em seu entorno pontos de uma Rede Geodésica Local da ELETROSUL, com exatidão de 5 cm, situada a menos de 2 Km de distância (ver anexo 1), o que facilitou e aumentou a qualidade na obtenção de pontos de controle para georreferenciamento e para avaliação da qualidade.

Conforme a Prefeitura Municipal, Xangri-Lá é um novo e expressivo município do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, emancipado de Capão da Canoa, através de plebiscito em 26 de março de 1992, compreende nove balneários: Atlântida, Xangri-Lá, Praia dos Coqueiros, Marina, Maristela, Remanso, Arpoador, Noiva do Mar e Rainha do Mar (distrito). Possui em torno de 9600 habitantes (IBGE, 2004).

O nome se originou de *Shangri-Lá*, palavra criada pelo novelista inglês James Hilton (1900-1954), na sua obra *Horizonte Perdido* escrita em 1933. *Shangri-Lá* era um país imaginário, na região do Tibete, na qual as pessoas que lá chegavam conseguiam conservar a sua forma física, desde que dali não mais se retirasse. Nesta obra, que o cinema e as muitas traduções tornam amplamente conhecidas, James Hilton realizou um "*tour de force*" aliando o romance de aventuras ao romance de idéias. Xangri-Lá é um simbolo e uma aspiração. Nele não existe o mal, e a vida cresce em amor e sabedoria. Xangri-Lá é a terra dos homens felizes, constituindo uma versão moderna da Terra da Promissão. O romance de Hilton escrito com beleza e simplicidade traduz a tranquilidade de Xangri-Lá.

A pessoa nascida em Xangri-Lá é chamada Xangrilense.



Figura 2: Imagem QuickBird no modo multiespectral (3,2,1) do Condomínio Ilhas Park em Xangri-lá - RS

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Imagem Quickbird

O sensor orbital QuickBird foi desenvolvido pelas empresas DigitalGlobe, Ball Aerospace Technologies, Kodak e Fokker Space. O primeiro lançamento fracassou e, em 18 de outubro de 2001 na Califórnia, foi novamente colocado em órbita com sucesso, lançado através do veículo Delta II, da base aérea de Vandenberg.



Figura 3: Sensor QuickBird
Fonte: Digital Globe (2006)

O sistema de coleta dos dados obtém imagens com até 0,61 m de resolução espacial no pancromático e até 2,44 m no modo multiespectral. Além disso, gera uma imagem denominada *Pan-sharpened*, (fusionada), que possui 0,70 m de resolução espacial, em composição colorida ou falsa-cor. As imagens pancromáticas e multiespectrais são adquiridas com 11 bits, mas podem também ser fornecidas em 8 bits ou 16 bits.

O QuickBird realiza varredura eletrônica em modo linear, e flexível para visadas *off-nadir* até 30° ao longo do terreno imageado. A visada *off-nadir* permite a cobertura mais freqüente do terreno e a aquisição de pares estereoscópicos, porém a resolução espacial aumenta para 0,72 m no pan e 2,88 m no multiespectral.

O satélite foi lançado em órbita descendente – heliossíncrona - numa inclinação de 97,2° e leva 93,5 minutos para dar uma volta em torno da Terra. Está a

uma altitude de 450 km em relação à Terra e sua imagem abrange áreas com 16,5km x 16,5 km de largura no nadir. Sua velocidade é de 7,1 km/s e a passagem no equador se dá às 10h30min em sentido descendente. As demais características do sensor são apresentadas no quadro 3.

O sensor permite o imageamento com diferentes ângulos e resoluções, de quase qualquer ponto da Terra, com uma média de revisita de 1 dia no modo multiespectral e de 3,5 dias no modo pancromático.

A empresa Digital Globe fornece imagens corrigidas geometricamente, em diferentes níveis, conforme o Quadro 4. Os produtos provenientes do sensor Quickbird apresentam várias categorias ou níveis, de acordo com a acurácia do posicionamento.

Com relação aos cálculos estatísticos de erros planimétricos, internacionalmente, a comunidade cartográfica usa o critério de erro circular com intervalos probabilísticos de confiança para expressar estimativas de acurácia planimétrica (Toutin e Cheng, 2002). A designação CE90 é uma medida dos erros combinados em latitude e longitude da planimetria do produto considerado. CE90 é o raio circular (em metros) englobando 90% dos erros de planimetria no produto analisado, em relação às posições reais no terreno.

Uma exatidão cartográfica melhor do que a oferecida na imagem, através do CE90, poderá ser obtida através de técnicas de georreferenciamento e ortorretificação.

Quadro 3: Características do QuickBird

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial (nadir)
Pancromático	Pan	0,45 - 0,90 μ m	0,61 metros
Multiespectral	Azul	0,45 - 0,52 μ m	2,44 metros
Multiespectral	Verde	0,52 - 0,60 μ m	2,44 metros
Multiespectral	Vermelho	0,63 - 0,69 μ m	2,44 metros
Multiespectral	IV Próximo	0,76 - 0,90 μ m	2,44 metros
Fusionado 3, 2, 1	RGB	0,45 - 0,69 μ m	0,70 metros

Fonte: Adaptado de DigitalGlobe (2006)

Quadro 4: Produtos do QuickBird

Produtos	Precisão Posicional CE90	Orto Correção	RMS
<i>Basic</i>	23,0 m	Não	14,0 m
<i>Standard</i>	23,0 m	Não	14,0 m
<i>Orthorectified RPC</i>	12,7 m	Sim	7,7 m
<i>Orthorectified Ephemericis</i>	10,2 m	Sim	6,2 m
<i>Basic Stereo</i>	23,0 m	Não	14,0 m

Fonte: Adaptado de DigitalGlobe (2006)

Conforme Digital Globe (2006), o produto *Basic*, apresenta menor nível de processamento, é indicado aos usuários que possuem capacidade e conhecimento na área de sensoriamento remoto e fotogrametria para a sua exploração. Este produto possui correção radiométrica e de sensor aplicados, (detector de geometria interna, distorção óptica, direção de varredura, variações na varredura) mas não é geometricamente corrigido para uma projeção cartográfica. É distribuído juntamente com os chamados *ISD*, que são uma coleção de arquivos que contém:

- *General image metadata*: informações que relatam a aquisição e processamento, qualidade da imagem, cobertura de nuvens, coordenadas da borda da imagem, coleção de ângulos, tamanho do pixel.

- *Attitude parameters*: amostragem média e estimação da covariância da atitude da espaçonave, frequentemente computada a cada 0,020 segundos, começando nos últimos quatro segundos antes da coleta da imagem e terminando quatro segundos depois do fim da coleta da imagem.
- *Ephemeris parameters*: amostragem média e estimativa da covariância da posição da espaçonave, frequentemente computada a cada 0,020 segundos, começando nos quatro últimos segundos antes da coleta da imagem e terminando nos últimos quatro segundos depois da coleta da imagem.
- *Câmera model*: parâmetros de fotogrametria da modelagem virtual da câmera no imageamento e sistema óptico. É o sistema de modelo da câmera com um único arranjo de detectores lineares e plano focal para cada banda espectral.

Conforme Volpe (2003), através da utilização destes arquivos, é possível realizar uma ortorretificação utilizando os modelos rigorosos dos sensores.

O produtos *Standard* tem o mesmo processamento radiométrico e de correções de sensores que o produto *Basic*, mas possui a correção geométrica e a atribuição de uma produção cartográfica.

O produto *Orthorectified Ephemeris* é ortorretificado pela Digital Globe, através da utilização do modelo rigoroso.

O produto *Orthorectified RPC* permite a ortorretificação através do modelo polinomial racional, relacionando os pontos de controle, os RCPs e modelo digital de terreno. Este produto só começou a ser disponibilizado pela Digital Globe em 2001 (*Ortokickpack*), e é um conjunto de dados que compreende uma imagem do nível *Standard*, de qualquer uma das bandas ou de combinações entre as mesmas, e um arquivo que contém os coeficientes de uma Transformação Polinomial Racional (modelo geométrico da imagem), determinados a partir do modelo físico do sensor.

O produto *Basic Stereo* pode ser utilizado para se realizar a extração tridimensional de feições do terreno. É composto por duas imagens do nível *Basic*.

As imagens pancromáticas e multiespectrais do sensor QuickBird são planejadas para dar suporte nas aplicações de gerenciamento, de avaliação de riscos e

geração de mapas, com ênfase nas áreas urbanas e podem ser utilizadas para diversas atividades, tais como:

- Atualização de mapas urbanos, com escalas menores que 1:5000;
- Mapeamentos urbanos e rurais;
- Mapeamento de malha viária;
- Mapeamento de redes, planejamento, telecomunicações, saneamento, transportes;
- Mapeamentos básicos e aplicações gerais em sistemas de informação geográfica;
- Uso e ocupação do solo (com ênfase em áreas urbanas);
- Estudo de meio ambiente (laudos periciais);
- Arquitetura, urbanismo e paisagismo;
- Agricultura de precisão (estimativas de colheitas e demarcação);
- Planejamento, projeto e monitoramento de serviços ferroviários, tubulações de óleo e gás, e obras de engenharia em geral;
- Estudos de biodiversidade, monitoramento de parques urbanos, aplicações em meio florestal e turismo;
- Arqueologia.

Devido a sua alta resolução e as suas aplicabilidades estas imagens conformam novos problemas, devido ao maior volume de dados a serem trabalhados, bem como ao seu nível de detalhe. Se por um lado, o problema de pixels mistos, destes novos dados é pequeno, por outro lado aumentou fortemente a variabilidade e o ruído dentro de classes quase homogêneas.

4.2 Equipamentos Utilizados

- 1 Estação Total Nikon: utilizado para execução de levantamento topográfico;
- 2 GPS Ashtech: utilizado para execução de levantamento orbital;
- 2 GPS Tech Geo: utilizado para execução de levantamento orbital;
- Máquina Fotográfica Sony, 5.1 Megapixel.

4.3 Recursos Computacionais

- Estação de Trabalho XEON, 230 GB de HD, Processador 3,6 GHz, 2 GB de Ram;
- Notebook Intel Pentium, 40 GB de HD, Processador 1,73 GHz, 504 MB de Ram;
- Autodesk Land Enable Map 2005: utilizado para vetorizar as imagens, bem como extrair as coordenadas para avaliação;
- Autodesk Map 3d 2007: utilizado para vetorizar as imagens, bem como extrair as coordenadas para avaliação;
- Ashtech Solutions: utilizado para processar e ajustar os dados GPS;
- Envi 4.0: utilizado para execução do georreferenciamento das cenas;
- DXF2XYZ: utilizado para transformar os arquivos vetoriais em linhas e colunas;
- Erdas Imagine 9.1: utilizado para recortar as imagens brutas.

4.4 Métodos

A metodologia foi dividida em três etapas: planejamento, avaliação da qualidade do processo de geração e avaliação da qualidade dos produtos gerados.

Na etapa de planejamento foi definida a área de estudo, o tipo de imagens e bandas, os programas e equipamentos a serem utilizados. Foi avaliada a qualidade geométrica interna e externa das imagens, foi executada a pesquisa de legislação, bem como a propagação de erros das etapas de trabalho *aprioristicamente*.

Na etapa de avaliação da qualidade do processo de geração foram definidos critérios para escolha, qualidade geométrica e métodos de levantamento dos pontos para correção geométrica. Foi executado o levantamento dos pontos, a correção, a vetorização das imagens e a edição das ortofotocarta gerada.

Na etapa de avaliação da qualidade do produto foram discretizados os vetores gerados, foi definido o número e a distribuição de pontos para avaliação. Os vetores foram avaliados em relação ao PEC, às translações, às áreas e às rotações. Também foram realizados tratamentos estatísticos e propagação de erros *a posteriori*, para verificação do valor da exatidão final em relação ao PEC, as precisões e as

exatidões dos vetores. Por último foi definido um valor final entre a relação da resolução espacial da imagem e a exatidão posicional para cada sensor e modo utilizado, juntamente com a proposta do padrão de exatidão para mapeamento gerado através de imagens QuickBird.

Para melhor entendimento a metodologia está sendo apresentada em forma de fluxograma na figura 4.

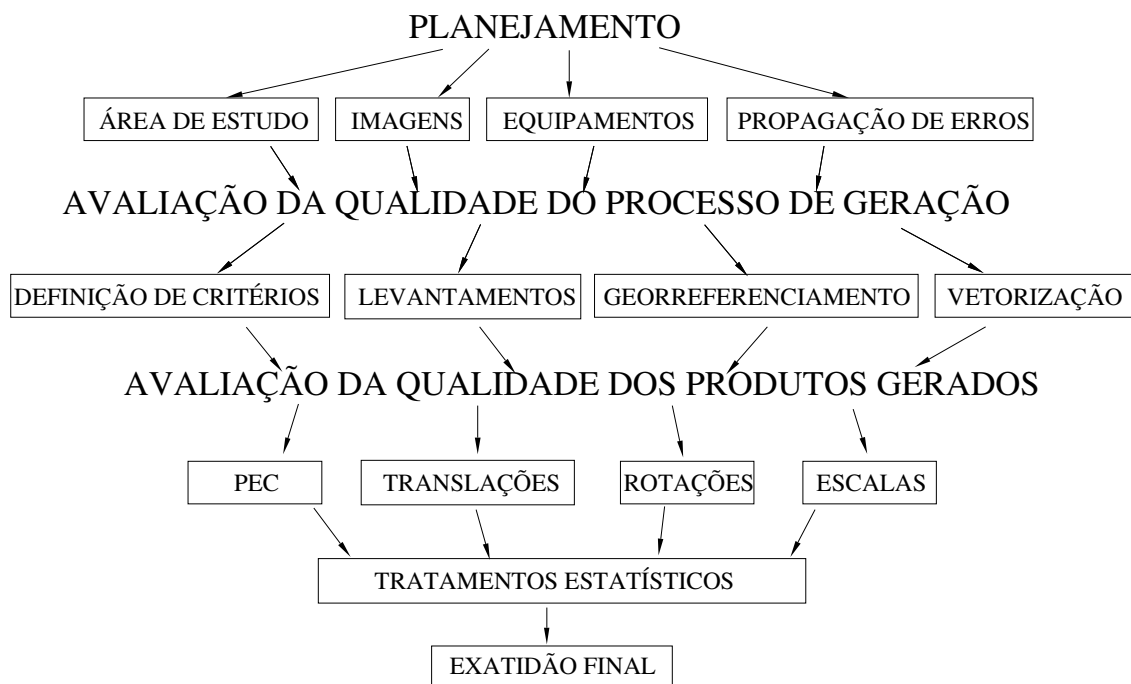


Figura 4: Fluxograma da Metodologia

5. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no andamento do trabalho.

Este trabalho utilizou o processo de controle da qualidade do processo e do produto para as três imagens georreferenciadas (multiespectral, pancromática e fusionada) e somente o controle da qualidade do produto para a imagem ortorretificada. No final, verifica-se qual imagem possui maior qualidade geométrica.

5.1 Planejamento

O primeiro passo deste item foi definir o tipo de bandas que foram utilizadas. As imagens QuickBird utilizadas fazem parte de um conjunto chamado *OrtoQuickPac*, datam de 28 de abril de 2005 e foram disponibilizadas pela empresa ELETROSUL. O pacote é composto por:

- Uma imagem no modo *Basic* composta de quatro bandas multiespectrais, com resolução espacial de 2,4 m (nadir);
- Uma imagem no modo *Basic* com uma banda pancromática, com resolução espacial de 0,61 m (nadir);
- Uma imagem *Pan-sharpened*, (fusionada), na composição colorida real RGB (3, 2, 1), com resolução espacial de 0,70 m (nadir);
- Uma imagem (*Orthorectified RPC*), ortorretificada pela empresa Intersat (ver anexo 2), na composição colorida real RGB (3, 2, 1), com resolução espacial de 0,70 m (nadir).

Todas as imagens possuem resolução radiométrica de 16 bits, ou seja, 65536 níveis de cinza.

O segundo passo foi avaliar a qualidade geométrica interna e externa das imagens, que conforme a definição do item 2.7.1 (página 22) a exatidão geométrica interna das imagens pode ser comparada com o valor da resolução espacial utilizada para cada modo (multiespectral, fusionado e pan), conforme demonstração do quadro 3.

A exatidão geométrica externa das imagens pode ser comparada com a posição da imagem em relação a um referencial. Foram utilizadas uma imagem *Basic* e uma Ortoretificada pelos RCPs, que possuem qualidade declarada conforme a descrição do quadro 4.

O último passo foi verificar a qualidade *a priori* dos produtos que serão gerados, através da propagação de erros, identificados em cada etapa do processo de geração para definir o valor do erro a ser comparado no final da pesquisa. A propagação está sendo demonstrada na Equação 6, levando em consideração os erros assinalados abaixo:

- Erro 1: Levantamento GPS (100 mm)
- Erro 2: Levantamento Topográfico (150 mm)
- Erro 3: Gráfico (0,2 mm)
- Erro 4: Resolução da Imagem (610, 700, 2440 mm) – distância lateral – Georreferenciamento
- Erro 5: Vetorização (0,2 mm)
- Erro 6: Resolução da Imagem (610, 700, 2440 mm) – distância lateral – Vetorização

$$\sigma := \sqrt{(\sigma_1^2) + (\sigma_2^2) + (\sigma_3^2) + [(\sigma_4^2) + (\sigma_5^2) + (\sigma_6^2)]} \quad (6)$$

Para cada imagem e modo utilizado foram calculados valores diferentes para o erro propagado *a priori*, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Propagação de Erros *a Priori*

Sensor/ Modo	Erro
QuickBird Pancromático	892 mm
QuickBird Fusionado	1015 mm
QuickBird Multiespectral	3402 mm

O método da propagação dos erros *a priori* foi aplicado para avaliação pontual das bases de acordo com o Decreto Lei N° 89.817, que institui o Padrão de Exatidão Cartográfico, definido no item 2.8 (página 22).

Os erros provenientes às translações são causados devido a não coincidência dos centros dos dois sistemas. Portanto para avaliação das bases em relação às translações em Norte e Leste, também foi utilizado o método da propagação de erros *a priori* e as definições do Decreto Lei N° 89.817.

Para avaliação das áreas/escalas das bases foram aplicadas definições da Lei No 10.406, do item 2.8 (página 24), onde diz que as áreas que tiverem dimensões inferiores a um vigésimo de diferença devem ser tratadas simplesmente como enunciativas. Então *a priori*, foi utilizado o valor especificado de 5%.

Os erros provenientes às rotações podem ser causados devido um mau posicionamento do sensor na tomada da imagem, geralmente são de características sistemáticas. Para avaliação das rotações das bases foram aplicados os mesmos princípios definidos em fotogrametria no item 2.1 (página 05), onde erros devidos à atitude da câmara (κ , ϕ e ω), para que possam ser ajustados, não devem ultrapassar 5 graus.

5.2 Avaliação da Qualidade do Processo de Geração

Nesta etapa foi executada, juntamente com a geração vetores, a avaliação da qualidade do processo de geração destes vetores.

5.2.1 Critérios para escolha do número de pontos para georreferenciamento:

Na definição dos critérios para correção geométrica, foram utilizadas adaptações das propostas de Rocha (2002) e Merchant (1982).

Na definição da distribuição dos pontos de controle, foi adotada uma quantidade mínima de 20% do total dos pontos para cada quadrante da imagem.

A definição de critérios para escolha do número de pontos para correção geométrica foi executada através das fórmulas 3, 4 e 5, que foram aplicadas para cada sensor com suas respectivas características, com a utilização do intervalo de confiança de 90% da tabela da distribuição Normal ($Z=1,6994$). Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Número de Pontos para Georreferenciamento

Adaptação da Fórmula de Pereira		Cálculos		
		Multi	Pan	Fusão
n	tamanho da amostra	20,491	20,495	20,494
N	área da imagem em pixel	86000	1368945	294857
ϵ_r	15% de μ	0,125	0,125	0,125
σ	$\mu/3$	0,813	0,203	0,23
μ	resolução da imagem em metros	2,44	0,61	0,7
Z	90%	1,699	1,699	1,699
γ	σ/μ	0,333	0,333	0,333

Na aplicação das fórmulas 3, 4 e 5 chegou-se a 21 pontos para execução do georreferenciamento, o tamanho da população muda devido a mudança da resolução espacial da imagem e a população é contada por número de pixels.

Partindo do princípio do item 2.11 (página 27), definiu-se que o valor de 12,5% seria o mais indicado para o erro amostral relativo, que corresponde a aproximadamente 8 cm de erro admissível (amostral) para a imagem pancromática, 9 cm para a imagem fusionada e 30 cm para a imagem multiespectral.

Como não é possível verificar o valor da média amostral *à priori*, por se tratar de uma imagem orbital, que possui exatidões internas e externas diferentes, adota-se, em correções geométricas o valor do pixel da imagem como sendo o valor da média amostral.

Com base nas teorias e nos cálculos apresentados, a distribuição dos pontos de georreferenciamento seguiu a forma apresentada na figura 5. A mesma distribuição foi utilizada para as três imagens, e contempla, pelo menos, cinco pontos para cada quadrante da imagem.

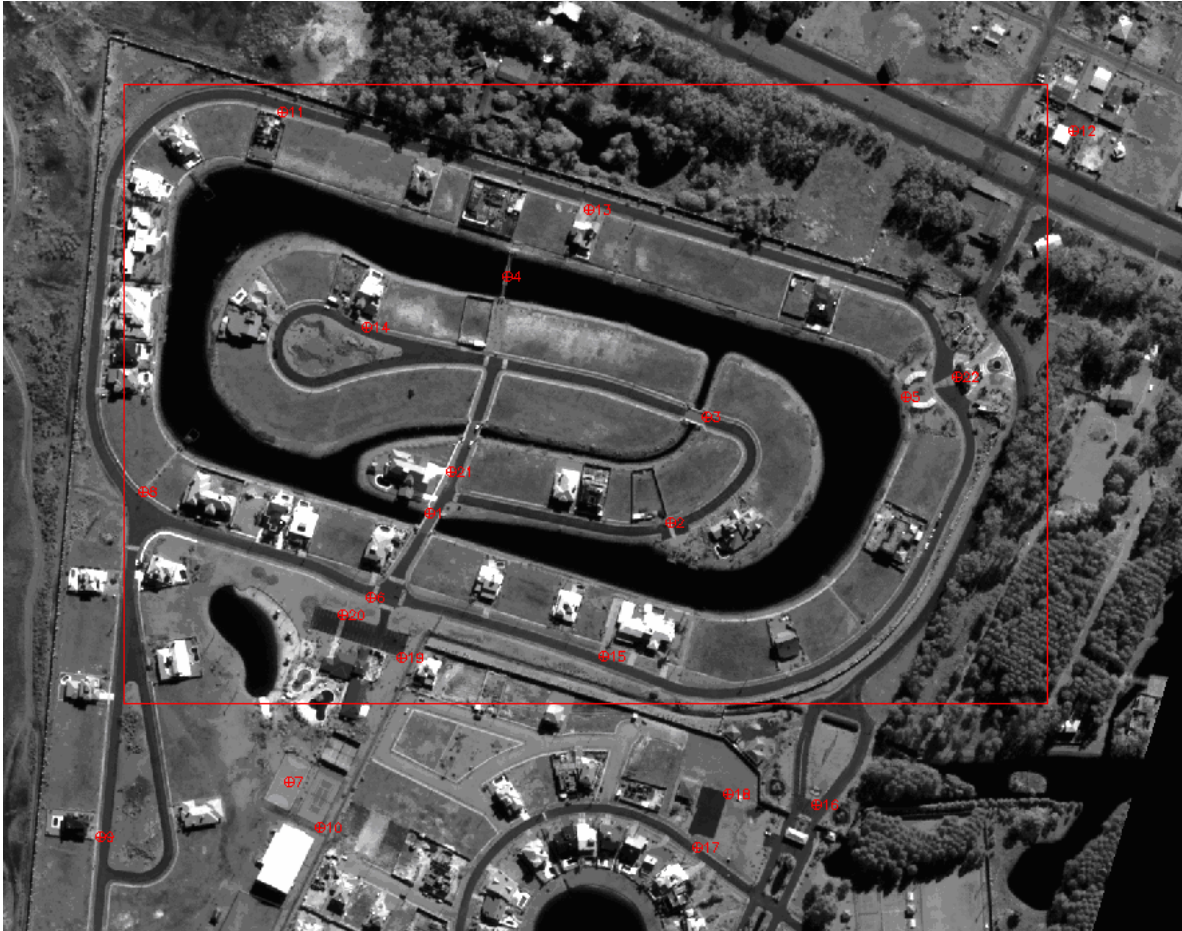


Figura 5: Distribuição dos pontos para georreferenciamento

Para melhor visualização, a figura da distribuição dos pontos para georreferenciamento está sendo apresentada no Apêndice 0.

5.2.2 Qualidade geométrica dos pontos para georreferenciamento

A definição da exatidão geométrica dos pontos de apoio foi executada a partir do valor do pixel, adotado como tolerância do erro a ser cometido nas medições.

Adotando-se o critério da exatidão sendo de três vezes melhor que a tolerância, para um intervalo de confiança de 99,7%, o modo multiespectral do sensor QuickBird, que apresenta resolução espacial de 2,44 m, necessita de pontos de apoio com exatidão de 0,8 m, o modo fusionado que apresenta resolução espacial de 0,70 m, necessita de pontos de apoio com exatidão de 0,23 m e o modo pancromático que

apresenta resolução espacial de 0,61 m, necessita de pontos de apoio com exatidão de 0,2 m.

5.2.3 Métodos de levantamento dos pontos para georreferenciamento

Conforme a definição da qualidade geométrica descrita no item 5.2.2 (página 41) e a propagação de erros, que leva em consideração os erros das redes geodésicas e dos levantamentos topográficos (Erro 1 e Erro 2 do ítem 5.1 – página 38), o erro é de aproximadamente 0,181 m, que está abaixo do máximo tolerável (0,2 m).

Os métodos de levantamento através de NAVSTAR GPS e topografia suprem a necessidade descrita acima.

5.2.4 Levantamento dos pontos para georreferenciamento

Os métodos de levantamentos utilizados para coleta dos pontos para georreferenciamento foram:

- Levantamento orbital NAVSTAR GPS: foram utilizados 4 GPS de frequência única, nos modos relativo/estático, com utilização de marcos base da ELETROSUL, com distância inferior a 5km;
- Levantamento Topográfico: foi utilizado uma Estação Total para o levantamento planimétrico. As poligonais utilizadas foram apoiadas por pontos GPS, após foram executadas irradiações para os pontos.

O levantamento dos pontos foi amarrado ao WGS84, compatível com o Sistema Geodésico Brasileiro vigente no Brasil em 2005/2006 (SIRGAS2000), a projeção cartográfica utilizada foi a plano-retangular UTM.

Entre os dois métodos apresentados acima, ao todo foram levantados 22 pontos para georreferenciamento, um a mais do que o definido no item 5.2.1 (página 40), portanto atendendo a definição.

As coordenadas dos pontos estão sendo apresentadas na tabela 3. Os relatórios e dados de processamento GPS estão sendo apresentados no Apêndice 1.

Tabela 3: Coordenadas dos pontos para georreferenciamento

Ponto	Este (m)	Norte (m)
1	592468,586	6705529,641
2	592628,543	6705522,212
3	592651,819	6705592,815
4	592519,451	6705686,214
5	592784,666	6705606,073
6	592428,611	6705472,674
7	592373,661	6705349,827
8	592277,388	6705543,639
9	592249,013	6705312,933
10	592395,172	6705319,422
11	592370,298	6705796,07
12	592896,027	6705782,032
13	592573,609	6705731,433
14	592426,704	6705651,635
15	592584,243	6705432,598
16	592725,323	6705335,11
17	592645,311	6705306,196
18	592665,954	6705341,765
19	592449,346	6705432,203
20	592409,39	6705460,87
21	592482,3	6705556,52
22	592818,149	6705619,963

5.2.5 Georreferenciamento das cenas

Adotando-se o critério da exatidão sendo de 1 vez melhor que a tolerância (pixel), para um intervalo de confiança de 90%, para a correção geométrica, o erro médio quadrático não deve ultrapassar o valor de 1 pixel em todas as imagens.

A correção geométrica aplicada nas imagens *Basic* foi executada através de *software* Envi 4.0, foram utilizados o modelo polinomial simples e o interpolador algoritmo do vizinho mais próximo.

Abaixo estão sendo apresentadas as tabelas com as coordenadas dos pontos de georreferenciamento, as coordenadas do espaço imagem, as coordenadas do espaço imagem corrigidas, os erros nas direções em X e Y e o erro médio quadrático.

Tabela 4: Coordenadas e erros dos pontos de georreferenciamento da imagem multiespectral, composição colorida real

Image to Map GCP List									
File Options									
	Map X	Map Y	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	592468.59	6705529.64	121.00	144.25	120.7290	143.5328	-0.2710	-0.7172	0.7666
#2+	592628.54	6705522.21	188.00	146.25	187.0559	146.4294	-0.9441	0.1794	0.9610
#3+	592519.45	6705686.21	141.45	78.09	141.9989	78.2854	0.5489	0.1954	0.5827
#4+	592784.67	6705606.07	252.00	111.00	251.9520	111.2314	-0.0480	0.2314	0.2363
#5+	592651.82	6705592.82	196.27	117.73	196.8119	116.9678	0.5419	-0.7622	0.9352
#6+	592428.61	6705472.67	105.36	168.00	104.1004	167.2769	-1.2596	-0.7231	1.4524
#7+	592373.66	6705349.83	81.45	218.45	81.2290	218.3986	-0.2210	-0.0514	0.2269
#8+	592277.39	6705543.64	42.09	137.91	41.4423	137.9585	-0.6477	0.0485	0.6495
#9+	592249.01	6705312.93	29.45	233.45	29.5782	233.7751	0.1282	0.3251	0.3495
#10+	592395.17	6705319.42	89.91	230.36	90.1158	231.0303	0.2058	0.6703	0.7011
#11+	592370.30	6705796.07	80.09	32.64	80.1615	32.9070	0.0715	0.2670	0.2764
#12+	592896.03	6705782.03	298.73	38.45	298.5275	37.5173	-0.2025	-0.9327	0.9544
#13+	592573.61	6705731.43	164.91	59.00	164.5384	59.3455	-0.3716	0.3455	0.5074
#14+	592426.70	6705651.63	103.09	92.91	103.4667	92.8455	0.3767	-0.0645	0.3822
#15+	592584.24	6705432.60	167.36	183.55	168.5693	183.8160	1.2093	0.2660	1.2382
#16+	592725.32	6705335.11	227.09	224.55	226.8808	224.3703	-0.2092	-0.1797	0.2758
#17+	592645.31	6705306.20	194.00	236.18	193.6970	236.4565	-0.3030	0.2765	0.4102
#18+	592665.95	6705341.76	202.36	222.45	202.2995	221.6202	-0.0605	-0.8298	0.8320
#19+	592449.35	6705432.20	111.73	183.64	112.6586	184.0927	0.9286	0.4527	1.0331
#20+	592409.39	6705460.87	95.82	172.91	96.1221	172.2049	0.3021	-0.7051	0.7671
#21+	592482.30	6705556.52	126.36	132.36	126.4440	132.3298	0.0840	-0.0302	0.0892
#22+	592818.15	6705619.96	265.73	103.64	265.8711	105.3782	0.1411	1.7382	1.7439

Tabela 5: Coordenadas e erros dos pontos de georreferenciamento da imagem
pancromática

Image to Map GCP List									
File Options									
	Map X	Map Y	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	592468.59	6705529.64	473.63	572.38	474.0973	570.6782	0.4673	-1.7018	1.7648
#2+	592628.54	6705522.21	740.13	582.88	740.4706	582.8431	0.3406	-0.0369	0.3426
#3+	592651.82	6705592.82	780.00	464.88	779.1804	465.2501	-0.8196	0.3701	0.8993
#4+	592519.45	6705686.21	558.13	309.50	558.6502	310.1025	0.5202	0.6025	0.7960
#5+	592784.67	6705606.07	1000.38	442.88	1000.4129	442.9025	0.0329	0.0225	0.0398
#6+	592428.61	6705472.67	407.50	665.88	407.5933	665.4606	0.0933	-0.4194	0.4296
#7+	592373.66	6705349.83	316.88	870.13	316.2449	869.7164	-0.6351	-0.4136	0.7579
#8+	592277.39	6705543.64	156.38	548.25	155.6859	547.6654	-0.6941	-0.5846	0.9075
#9+	592249.01	6705312.93	108.88	930.75	108.7712	930.9360	-0.1088	0.1860	0.2155
#10+	592395.17	6705319.42	351.13	920.00	352.0949	920.2786	0.9649	0.2786	1.0043
#11+	592370.30	6705796.07	310.25	127.63	310.0944	127.9090	-0.1556	0.2790	0.3194
#12+	592896.03	6705782.03	1186.13	148.75	1185.8276	149.2456	-0.3024	0.4956	0.5806
#13+	592573.61	6705731.43	648.75	235.63	648.8137	234.6873	0.0637	-0.9427	0.9449
#14+	592426.70	6705651.63	403.88	366.88	404.2156	367.8676	0.3356	0.9876	1.0431
#15+	592584.24	6705432.60	665.38	730.50	666.7757	732.0568	1.3957	1.5568	2.0909
#16+	592725.32	6705335.11	901.75	894.63	901.7388	894.4188	-0.0112	-0.2112	0.2115
#17+	592645.31	6705306.20	769.13	942.63	768.5491	942.5092	-0.5809	-0.1208	0.5933
#18+	592665.95	6705341.76	803.50	883.25	802.8919	883.2962	-0.6081	0.0462	0.6099
#19+	592449.35	6705432.20	441.38	731.88	442.1640	732.7545	0.7840	0.8745	1.1745
#20+	592409.39	6705460.87	376.63	685.50	375.6014	685.1010	-1.0286	-0.3990	1.1033
#21+	592482.30	6705556.52	497.13	525.75	496.9069	525.9486	-0.2231	0.1986	0.2987
#22+	592818.15	6705619.96	1056.00	420.75	1056.1695	419.6820	0.1695	-1.0680	1.0814

Tabela 6: Coordenadas e erros dos pontos de georreferenciamento da imagem fusionada, composição colorida real

Image to Map GCP List									
File Options									
	Map X	Map Y	Image X	Image Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	592468.59	6705529.64	549.00	707.50	548.8682	706.7035	-0.1318	-0.7965	0.8074
#2+	592628.54	6705522.21	815.25	718.75	815.3359	718.7748	0.0859	0.0248	0.0894
#3+	592651.82	6705592.82	854.50	601.25	854.0299	601.0560	-0.4701	-0.1940	0.5086
#4+	592519.45	6705686.21	632.50	445.50	633.4325	445.8546	0.9325	0.3546	0.9976
#5+	592784.67	6705606.07	1075.25	579.50	1075.3095	578.5976	0.0595	-0.9024	0.9043
#6+	592428.61	6705472.67	482.25	802.00	482.3358	801.5981	0.0858	-0.4019	0.4109
#7+	592373.66	6705349.83	391.00	1006.50	390.9213	1006.0727	-0.0787	-0.4273	0.4345
#8+	592277.39	6705543.64	231.00	684.25	230.3535	683.7959	-0.6465	-0.4541	0.7900
#9+	592249.01	6705312.93	183.00	1067.50	183.3057	1067.4224	0.3057	-0.0776	0.3154
#10+	592395.17	6705319.42	426.25	1055.50	426.7874	1056.6673	0.5374	1.1673	1.2851
#11+	592370.30	6705796.07	384.50	263.25	384.8704	263.6013	0.3704	0.3513	0.5105
#12+	592896.03	6705782.03	1260.75	284.75	1260.5957	284.5787	-0.1543	-0.1713	0.2305
#13+	592573.61	6705731.43	723.75	370.00	723.5967	370.3317	-0.1533	0.3317	0.3654
#14+	592426.70	6705651.63	479.00	503.75	478.9747	503.7366	-0.0253	-0.0134	0.0286
#15+	592584.24	6705432.60	742.50	867.50	741.6384	868.1563	-0.8616	0.6563	1.0831
#16+	592725.32	6705335.11	976.75	1030.50	976.7712	1030.5835	0.0212	0.0835	0.0862
#17+	592645.31	6705306.20	843.25	1079.25	843.5115	1078.7678	0.2615	-0.4822	0.5485
#18+	592665.95	6705341.76	877.75	1019.50	877.8606	1019.4865	0.1106	-0.0135	0.1114
#19+	592449.35	6705432.20	516.75	868.25	516.9191	868.9399	0.1691	0.6899	0.7103
#20+	592409.39	6705460.87	450.75	821.50	450.3287	821.2686	-0.4213	-0.2314	0.4807
#21+	592482.30	6705556.52	572.00	662.25	571.6849	661.9240	-0.3151	-0.3260	0.4534
#22+	592818.15	6705619.96	1130.75	554.50	1131.0683	555.3321	0.3183	0.8321	0.8910

O erro médio quadrático total apresentado pelo programa é expresso em pixel, e pode ser visualizado na tabela 7, juntamente com a transformação para metros. Conforme o definido na propagação de erros *a priori*, estes valores atendem ao definido no item 5.1 (página 38), erro 4 (resolução da imagem = pixel).

Tabela 7: Erros de georreferenciamento *a priori* e *a posteriori*

Imagem	Erro (pixel) <i>a posteriori</i>	Erro (metros) <i>a posteriori</i>	Erro (metros) <i>a priori</i>
Fusão	0,6446	0,4512	0,7
Multí	0,81305	1,9838	2,44
Pan	0,92267	0,5628	0,61

5.2.6 Vetorização e Reambulação

A vetorização foi executada manualmente através da utilização de um programa gráfico (Autodesk Map 3d 2007). Todos os vetores relacionados a edificações, arruamentos e divisas de lote foram vetorizados, obrigatoriamente na imagem ortorretificada, a fim de se gerar uma base cartográfica completa (ortofotocarta). Alguns vetores de hidrografia foram vetorizados, porém não puderam ser avaliados por apresentarem características dinâmicas e não métricas, como cantos e centros.

Para otimização do trabalho e devido ao curto período de tempo, nas outras imagens (pancromática, multiespectral e fusionada) foram vetorizados somente pontos e feições necessárias para executar a avaliação cartográfica.

A reambulação foi executada em campo concomitantemente com o processo de vetorização.

As vetorizações das imagens estão sendo apresentadas em DWG, em meio digital no Apêndice 3.

5.2.7 Edição da ortofotocarta

A ortofotocarta foi editada com o auxílio de programa gráfico (Autodesk Map 3d 2007) e contém informações básicas como: selo, legenda, quadrícula, entre outros.

A ortofotocarta editada está sendo apresentada em DWG e em papel no Apêndice 4.

5.3 Avaliação da Qualidade dos Produtos

Nesta última etapa, após todo o controle de qualidade do processo apresentado no item 5.2, serão apresentados os resultados das avaliações dos produtos gerados.

5.3.1 Levantamento dos pontos para avaliação

O conjunto de pontos para avaliação deverá ser da mais alta exatidão disponível. Em geral, o conjunto de dados independente deve ser três vezes mais exato que a expectativa de exatidão do conjunto testado. Neste caso específico da avaliação planimétrica das bases cartográficas geradas, foi calculada uma expectativa de exatidão planimétrica para cada sensor e modo, conforme a Tabela 8. Sendo assim, para se ter um elevado nível de confiança, deve-se adotar o valor três vezes mais exato que o erro *a priori* especificado para cada sensor. Desta forma, o método de levantamento dos pontos de controle deverá apresentar estimativa de erro máximo inferior conforme a propagação de erros definida.

Tabela 8: Expectativa de exatidão da base e exatidão dos pontos para avaliação da qualidade

Sensor/ Modo	Expectativa (m)	Exatidão dos pontos (m)
QuickBird Pancromático	0,892	0,297
QuickBird Fusionado	1,015	0,338
QuickBird Multiespectral	3,402	1,134

Conforme o item 5.2.3 (página 42), os métodos de levantamento orbital e topográfico suprem esta necessidade. Os métodos de levantamentos utilizados para coleta dos pontos para avaliação foram os mesmos do item 5.2.4 (página 42).

O levantamento planimétrico através de irradiação topográfica contemplou dados referentes às residências (cantos), arruamentos, calçadas, piscinas, quadras de esporte, faixas de segurança, pontes e etc., de uma boa parte da área de estudo.

5.3.2 Classificação em relação ao PEC

Em relação ao Padrão de Exatidão Cartográfica, os vetores foram avaliados e classificados segundo os seguintes critérios:

- Utilização de pontos para verificação da qualidade da população definidos através de amostra, escolhida e distribuída por métodos estatísticos;

- Os pontos testados utilizados representam 100%, já que na descrição do Decreto nº 89.817/84 os valores mínimos para que as cartas sejam classificadas são descritos em termos de porcentagem;
- Os pontos testados não devem ultrapassar o erro máximo tolerável, em relação ao PEC e ao desvio padrão identificado no cálculo dos resíduos, em número maior do que 10% do total de vetores;
- As bases que apresentem número de pontos com erro acima do tolerável em quantidade igual ou abaixo ao especificado pelo Decreto devem ser classificadas em classes de carta padrão A, B ou C;
- As bases que apresentarem número de pontos com erro acima do tolerável em quantidade acima do especificado pelo Decreto não podem ter uma classe definida.

5.3.2.1 Discretização dos vetores

Após o levantamento topográfico ter sido finalizado, a graficação foi executada com o auxílio do Autodesk Map 3d 2007. Foram gerados vários vetores com característica geométrica (linhas, polígonos e pontos) em extensão DXF que foram discretizados através do Software discretizador de bases DXF2XYZ. Os vetores foram transformados para um arquivo de texto com linhas e colunas, contendo as coordenadas dos vetores. Este arquivo gerado forneceu o número de 672 vetores gerados, que é o número da população.

5.3.2.2 Definição do número de pontos para avaliação

Como a base topográfica, que já havia sido levantada, contém inúmeros pontos que poderiam servir para avaliação, se fez necessária a escolha de alguns pontos para avaliação pontual.

A definição do número de pontos para avaliação também foi definida conforme as fórmulas 3, 4 e 5 e foi condicionada ao número da população (672 vetores contidos na base topográfica).

Foram levados em consideração valores distintos para a média, desvio padrão e erro amostral para cada base gerada. Esses valores foram utilizados seguindo a

propagação de erros *a priori*, apresentados na Tabela 1. Os valores de desvio padrão, erro amostral e número de pontos para avaliação da qualidade estão sendo apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Número de pontos para Avaliação

Adaptação da Fórmula de Pereira		Cálculos		
		Multi	Pan	Fusão
n	Tamanho da amostra	19,918	19,918	19,918
N	Número de vetores	672	672	672
ϵ_r	15% de μ	0,125	0,125	0,125
σ	$\mu/3$	1,132	0,29	0,29
μ	Propagação <i>a priori</i>	3,402	0,892	1,015
Z	90%	1,699	1,699	1,699
γ	σ/μ	0,333	0,333	0,333

As fórmulas 3, 4 e 5 foram aplicadas novamente, desta vez com os novos valores da média amostral propagada *a priori*. O número de pontos calculado para avaliação, conforme a fórmula apresentada foi de 20. Para a imagem ortorretificada os valores são os mesmos que os valores da imagem fusionada.

5.3.2.3 Definição do método de distribuição dos pontos de avaliação

Para a definição do método de distribuição dos pontos de avaliação foi utilizado o critério de homogeneidade, pois a distribuição dos erros dos vetores gerados deve seguir uma distribuição homogênea em toda a região vetorizada.

Neste trabalho foi adotado o critério de distribuição aleatória simples. Por isso foi adotado um método não tendencioso de escolha de pontos: sorteio manual sem reposição. Os pontos sorteados estão sendo apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Coordenadas de campo

	Ponto sorteado	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
1	12	592566,99	6705465,27
2	56	592471,7	6705535,34
3	60	592482,3	6705556,52
4	121	592484,95	6705541,99
5	159	592497,78	6705476,46
6	172	592491,12	6705577,04
7	208	592434,07	6705465,78
8	214	592434,65	6705479,29
9	218	592405,18	6705446,41
10	229	592464,9	6705440,03
11	293	592386,64	6705500,92
12	343	592429,57	6705487,86
13	390	592508,06	6705463,77
14	414	592598,29	6705427,35
15	495	592453,56	6705446,69
16	521	592815,59	6705620,38
17	525	592802,72	6705613,53
18	565	592390,15	6705361,76
19	620	592403,46	6705383,52
20	629	592394,69	6705359,53

5.3.2.4 Identificação dos pontos no mapa e no terreno

A identificação dos pontos na base topográfica foi executada através da inserção das coordenadas sorteadas diretamente no mapa (coordenadas de campo). A identificação das coordenadas dos vetores gerados foi executada com o auxílio da imagem (coordenadas de mapa). Os pontos testados foram pontos bem definidos, como por exemplo: interseção de cordões de calçadas; cantos de edifícios grandes, quadras de esportes e etc. Conforme o apresentado nas figuras 6, 7, 8 e 9, tanto os pontos para georreferenciamento, quanto os pontos para avaliação foram bem definidos.

Figura 6: ponto para georreferenciamento 1



Figura 7: ponto para avaliação 1



Figura 8: ponto para georreferenciamento 2



Figura 9: ponto para avaliação 2



5.3.2.5 Avaliação dos vetores gerados

A base topográfica, juntamente com os pontos para avaliação podem ser visualizados no Apêndice 5. As coordenadas obtidas em mapa da imagem fusionada podem ser observadas na tabela 11.

Tabela 11: Coordenadas de mapa - imagem fusionada

Ponto sorteado	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
12	592567,7	6705465,52
56	592472,08	6705534,83
60	592483,06	6705556,6
121	592485,19	6705542,17
159	592498,81	6705476,37
172	592491,13	6705576,42
208	592434,47	6705465,29
214	592435,02	6705479,42
218	592405,13	6705446,62
229	592464,73	6705440,36
293	592385,87	6705500,63
343	592429,7	6705487,01
390	592507,59	6705463,89
414	592598,81	6705427,45
495	592453,75	6705447,36
521	592815,92	6705620,81
525	592802,16	6705613,22
565	592390,4	6705361,73
620	592403,88	6705383,3
629	592395,85	6705360,2

A primeira base avaliada em relação ao PEC foi a gerada através da imagem fusionada. Foram comparadas coordenadas de campo com coordenadas de mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 6 A. Na tabela 12 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação das propagações *a priori* e *a posteriori*.

Tabela 12: Resíduos das coordenadas - imagem fusionada

	Erro E (m)	Erro N (m)	<i>A posteriori</i>	<i>A priori</i>
1	-0,71	-0,25	0,753	1,015
2	-0,38	0,51	0,636	1,015
3	-0,76	-0,08	0,764	1,015
4	-0,24	-0,18	0,3	1,015
5	-1,03	0,09	1,034	1,015
6	-0,01	0,62	0,62	1,015
7	-0,4	0,49	0,633	1,015
8	-0,37	-0,13	0,392	1,015
9	0,05	-0,21	0,216	1,015
10	0,17	-0,33	0,371	1,015
11	0,77	0,29	0,823	1,015
12	-0,13	0,85	0,86	1,015
13	0,47	-0,12	0,485	1,015
14	-0,52	-0,1	0,53	1,015
15	-0,19	-0,67	0,696	1,015
16	-0,33	-0,43	0,542	1,015
17	0,56	0,31	0,64	1,015
18	-0,25	0,03	0,252	1,015
19	-0,42	0,22	0,474	1,015
20	-1,16	-0,67	1,34	1,015

Analisando os dados acima, percebe-se que somente os pontos de número 5 e 20 não atendem a expectativa definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 22), a base gerada através da imagem fusionada atende plenamente o PEC. Possuindo qualidade geométrica compatível com PEC de 0,9 m, já que o maior valor encontrado, extraindo os dois rejeitados é de 0,86 m.

As coordenadas obtidas em mapa da imagem multiespectral podem ser observadas na tabela 13.

Tabela 13: Coordenadas de mapa - imagem multiespectral

Ponto sorteado	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
12	592567,23	6705466,06
56	592472,15	6705536,25
60	592484,21	6705558,27
121	592485,28	6705544,16
159	592497,1	6705476,22
172	592490,19	6705576,43
208	592433,87	6705465,84
214	592435,28	6705480,39
218	592405,16	6705449,32
229	592461,28	6705439,47
293	592386,91	6705503,86
343	592429,5	6705488,46
390	592509,04	6705461,32
414	592599,54	6705426,47
495	592454,75	6705447,06
521	592815,23	6705619,46
525	592802,52	6705612,41
565	592390,77	6705361,77
620	592404,12	6705382,38
629	592394,31	6705359,14

As coordenadas de campo e de mapa foram comparadas, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 6 B. Na tabela 14 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação das propagações *a priori* e *a posteriori*.

Tabela 14: Resíduos das coordenadas - imagem multiespectral

	Erro E (m)	Erro N (m)	<i>A posteriori</i>	<i>A priori</i>
1	-0,24	-0,79	0,826	3,402
2	-0,45	-0,91	1,015	3,402
3	-1,91	-1,75	2,59	3,402
4	-0,33	-2,17	2,195	3,402
5	0,68	0,24	0,721	3,402
6	0,93	0,61	1,112	3,402
7	0,2	-0,06	0,209	3,402
8	-0,63	-1,1	1,678	3,402
9	0,02	-2,91	2,91	3,402
10	3,62	0,56	3,663	3,402
11	-0,27	-2,94	2,952	3,402
12	0,07	-0,6	0,604	3,402
13	-0,98	2,45	2,639	3,402
14	-1,25	0,88	1,529	3,402
15	-1,19	-0,37	1,246	3,402
16	0,36	0,92	0,988	3,402
17	0,2	1,12	1,138	3,402
18	-0,62	-0,01	0,62	3,402
19	-0,66	1,14	1,742	3,402
20	0,38	0,39	0,545	3,402

Analisando os dados acima, percebe-se que somente o ponto de número 10 não atende a expectativa definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 22), a base gerada através da imagem multiespectral atende plenamente o PEC. Possuindo qualidade geométrica compatível com PEC de 3 m, já que o maior valor encontrado, extraído os dois rejeitados é de 2,910 m.

As coordenadas obtidas em mapa da imagem pancromática podem ser observadas na tabela 15.

Tabela 15: Coordenadas de mapa - imagem pancromática

Ponto sorteado	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
12	592567,83	6705465,96
56	592472,15	6705534,89
60	592482,64	6705557,22
121	592485,09	6705542,48
159	592498,43	6705477,23
172	592491,24	6705576,34
208	592434,13	6705465,74
214	592434,92	6705479,84
218	592405,42	6705446,76
229	592465,01	6705440,83
293	592386,4	6705500,92
343	592429,95	6705487,72
390	592508,66	6705463,82
414	592598,55	6705427,97
495	592454,14	6705446,94
521	592816,26	6705620,64
525	592802,5	6705613,31
565	592390,4	6705362,19
620	592403,79	6705383,37
629	592394,94	6705359,86

As coordenadas de campo e de mapa foram comparadas, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 6 B. Na tabela 16 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação das propagações *a priori* e *a posteriori*.

Tabela 16: Resíduos das coordenadas - imagem pancromática

	Erro E (m)	Erro N (m)	<i>A posteriori</i>	<i>A priori</i>
1	-0,84	-0,69	1,087	0,892
2	-0,45	0,45	0,636	0,892
3	-0,34	-0,7	0,778	0,892
4	-0,14	-0,49	0,51	0,892
5	-0,65	-0,77	1,008	0,892
6	-0,12	0,7	0,71	0,892
7	-0,06	0,04	0,072	0,892
8	-0,27	-0,55	0,613	0,892
9	-0,24	-0,35	0,424	0,892
10	-0,11	-0,8	0,808	0,892
11	0,24	0,00	0,24	0,892
12	-0,38	0,14	0,405	0,892
13	-0,6	-0,05	0,602	0,892
14	-0,26	-0,62	0,672	0,892
15	-0,58	-0,25	0,632	0,892
16	-0,67	-0,26	0,719	0,892
17	0,22	0,22	0,311	0,892
18	-0,25	-0,43	0,497	0,892
19	-0,33	0,15	0,362	0,892
20	-0,25	-0,33	0,414	0,892

Analisando os dados acima, percebe-se que somente os pontos de número 1 e 5 não atendem a expectativa definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 22), a base gerada através da imagem pancromática atende plenamente o PEC. Possuindo qualidade geométrica compatível com PEC de 0,9 m, já que o maior valor encontrado, extraindo os dois rejeitados é de 0,808 m.

As coordenadas obtidas em mapa da imagem ortorretificada podem ser observadas na tabela 17.

Tabela 17: Coordenadas de mapa - imagem ortorretificada

Ponto sorteado	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
12	592567,7	6705465,52
56	592472,08	6705534,83
60	592483,06	6705556,6
121	592485,19	6705542,17
159	592498,81	6705476,37
172	592491,13	6705576,42
208	592434,47	6705465,29
214	592435,02	6705479,42
218	592405,13	6705446,62
229	592464,73	6705440,36
293	592385,87	6705500,63
343	592429,7	6705487,01
390	592507,59	6705463,89
414	592598,81	6705427,45
495	592453,75	6705447,36
521	592815,92	6705620,81
525	592802,16	6705613,22
565	592390,4	6705361,73
620	592403,88	6705383,3
629	592395,85	6705360,2

Como a imagem ortorretificada não teve as etapas de correção geométrica avaliadas, a definição do erro *a priori* se deu de forma diferente, através do PEC declarado pela empresa Intersat, encontrado através de verificação da qualidade. Conforme informações do Anexo 2, o erro encontrado foi de 2,187 m.

Após da verificação do erro *a priori*, foram comparadas coordenadas de campo com coordenadas de mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 6 D. Na tabela 18 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação das propagações *a priori e a posteriori*.

Tabela 18: Resíduos das coordenadas - imagem ortorretificada

	Erro E (m)	Erro N (m)	<i>A posteriori</i>	<i>A priori</i>
1	-0,43	-1,25	1,322	2,187
2	-0,99	-0,49	1,105	2,187
3	-0,33	-1,86	1,889	2,187
4	-0,05	-1,82	1,821	2,187
5	0,3	-1,1	1,14	2,187
6	0,17	0,5	0,528	2,187
7	0,29	-0,41	0,502	2,187
8	-0,37	-0,84	0,918	2,187
9	0,59	-0,8	0,994	2,187
10	0,01	-0,81	0,81	2,187
11	0,78	0,03	0,781	2,187
12	0,3	-0,43	0,524	2,187
13	-0,29	-0,3	0,417	2,187
14	-0,02	-1,49	1,49	2,187
15	-0,29	-0,79	0,842	2,187
16	-0,71	-1,66	1,805	2,187
17	0,64	0	0,64	2,187
18	-0,69	-1,21	1,393	2,187
19	-0,79	-0,53	0,951	2,187
20	-0,57	-1,7	1,793	2,187

Analisando os dados acima, percebe-se que todos os pontos atendem a expectativa de exatidão definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 22), a base gerada através da imagem fusionada atende plenamente o PEC de 2,187. Porém, podemos concluir que a base atende uma qualidade geométrica compatível com PEC de 1,9 m, já que o maior valor encontrado, extraindo os dois rejeitados das linhas 3 e 4, é de 1,805 m.

5.3.3 Avaliação em relação às áreas e a escala

Para avaliação das imagens em relação às áreas e as escalas, foram vetorizadas feições com características geométricas, que foram avaliados e classificados segundo os seguintes critérios:

- Utilização de áreas para verificação da qualidade da população escolhida

conforme a feição e disponibilidade em campo;

- As áreas testadas utilizadas representam 100% na descrição do Decreto nº 89.817/84, os valores mínimos para que as cartas sejam classificadas são descritos em termos de porcentagem;
- As áreas testadas não devem ultrapassar o erro máximo tolerável, em relação ao PEC e ao desvio padrão identificado no cálculo dos resíduos, em número maior do que 10% do total de vetores. Portanto, 90% das áreas testadas não podem apresentar diferença superior a 5%;
- As áreas que apresentem erro acima do tolerável, em quantidade igual ou abaixo do especificado pelo Decreto, atendem a definição do Código Civil Brasileiro, e não possuirão, em termos de LEI, problemas de limites de propriedade, quando mapeadas através de imagem;
- As áreas que apresentarem erro acima do tolerável em quantidade acima do especificado pelo Decreto, não atendem a definição do Código Civil Brasileiro, e possuirão, em termos de LEI, problemas de limites de propriedade, quando mapeadas através de imagem;
- Os resultados obtidos em termos de porcentagem para as áreas, conforme definições do Código Civil Brasileiro, também serão utilizadas para avaliação das escalas.

5.3.3.1 Definição do número de áreas para avaliação

Como a base topográfica, que já havia sido levantada, continha poucas áreas que poderiam servir para avaliação, a escolha não foi difícil de ser executada.

5.3.3.2 Identificação das áreas no mapa e no terreno

A identificação das áreas na base topográfica foi executada através da inserção das áreas levantadas através de topografia (coordenadas de campo). A identificação das áreas nas imagens foi executada através de vetorização.

Foram utilizadas 15 áreas, com cantos bem definidos, entre elas: faixas de segurança, quadras de esporte e etc. As áreas e os perímetros levantados através de topografia podem ser visualizados na tabela 19.

Tabela 19: Áreas e perímetros – topografia

	Área TOP	Perímetro TOP
1	920,21	126,49
2	647,15	107,95
3	695,4	110,62
4	414,79	81,47
5	198,4	60,73
6	121,67	45,54
7	43,51	36,08
8	27,41	24,43
9	25,49	22,92
10	32,54	27,7
11	29,54	25,91
12	18,2	18,1
13	30,04	26,03
14	74,92	40
15	986,75	160,47

5.3.3.3 Avaliação das áreas das imagens

A base topográfica, juntamente com as áreas para avaliação podem ser visualizados no Apêndice 7 A. As áreas de mapa da imagem fusionada podem ser observadas na tabela 20.

Tabela 20: Áreas e perímetros - imagem fusionada

	Área Mapa	Perímetro Mapa
1	949,57	130,8
2	655,12	108,91
3	665,31	108,26
4	401,08	80,14
5	188,17	59,73
6	110,17	44,33
7	44,98	36,27
8	28,57	25,28
9	26,8	23,85
10	30,86	26,88
11	29,18	27,34
12	18,83	18,56
13	30,32	26,91
14	77,85	41,44
15	974,83	159,3

Foram comparadas áreas levantadas por topografia com áreas vetorizadas em mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 8 A. Na tabela 21 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação *a priori e a posteriori*.

Tabela 21: Resíduos das áreas e perímetros - imagem fusionada

	Dif. Área	Dif. Área %	<i>a priori</i>	Dif. Perímetro	Dif. Per. %
1	-29,36	-0,03	0,05	-4,31	-0,03
2	-7,97	-0,01	0,05	-0,96	-0,01
3	30,09	0,04	0,05	2,36	0,02
4	13,71	0,03	0,05	1,33	0,02
5	10,23	0,05	0,05	1,00	0,02
6	11,5	0,09	0,05	1,21	0,03
7	-1,47	-0,03	0,05	-0,19	-0,01
8	-1,16	-0,04	0,05	-0,85	-0,03
9	-1,31	-0,05	0,05	-0,93	-0,04
10	1,68	0,05	0,05	0,82	0,03
11	0,36	0,01	0,05	-1,43	-0,06
12	-0,63	-0,03	0,05	-0,46	-0,03
13	-0,28	-0,01	0,05	-0,88	-0,03
14	-2,93	-0,04	0,05	-1,44	-0,04
15	11,92	0,01	0,05	1,17	0,01

Analisando os dados acima, percebe-se que somente a área de número 6 não atende a expectativa definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 23), as áreas vetorizadas através da imagem fusionada atende plenamente o PEC para 5%. Possuindo qualidade geométrica compatível para atender ao Código Civil Brasileiro.

A base topográfica, juntamente com as áreas para avaliação podem ser visualizados no Apêndice 7 B. As áreas de mapa da imagem multiespectral podem ser observadas na tabela 22.

Tabela 22: Áreas e perímetros - imagem multiespectral

	Área Mapa	Perímetro Mapa
1	907,88	125,35
2	668,77	108,54
3	709,43	111,62
4	403,97	80,45
5	201,89	65,43
6	91,8	40,14
7	45,25	36,27
8	28,43	25,28
9	26,58	23,17
10	31,77	26,06
11	30,94	25,84
12	18,91	18,63
13	31,41	26,28
14	73,31	41,44
15	960,2	161,58

Foram comparadas áreas levantadas por topografia com áreas vetorizadas em mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 8 B. Na tabela 23 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação *a priori e a posteriori*.

Tabela 23: Resíduos das áreas e perímetros - imagem multiespectral

	Dif. Área	Dif. Área %	<i>a priori</i>	Dif. Perímetro	Dif. Per. %
1	12,33	0,01	0,05	1,14	0,01
2	-21,62	-0,03	0,05	-0,59	-0,01
3	-14,03	-0,02	0,05	-1	-0,01
4	10,82	0,03	0,05	1,02	0,01
5	-3,49	-0,02	0,05	-4,7	-0,08
6	29,87	0,25	0,05	5,4	0,12
7	-1,74	-0,04	0,05	-0,19	-0,01
8	-1,02	-0,04	0,05	-0,85	-0,03
9	-1,09	-0,04	0,05	-0,25	-0,01
10	0,77	0,02	0,05	1,64	0,06
11	-1,4	-0,05	0,05	0,07	0
12	-0,71	-0,04	0,05	-0,53	-0,03
13	-1,37	-0,05	0,05	-0,25	-0,01
14	1,61	0,02	0,05	-1,44	-0,04
15	26,55	0,03	0,05	-1,11	-0,01

Analisando os dados acima, percebe-se que somente a área de número 6 não atende a expectativa definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 23), as áreas vetorizadas através da imagem multiespectral atende plenamente o PEC para 5%. Possuindo qualidade geométrica compatível para atender ao Código Civil Brasileiro.

A base topográfica, juntamente com as áreas para avaliação podem ser visualizados no Apêndice 8 C. As áreas de mapa da imagem pancromática podem ser observadas na tabela 24.

Tabela 24: Áreas e perímetros - imagem pancromática

	Área Mapa	Perímetro Mapa
1	958,66	128,94
2	651,76	108,91
3	674,47	109,34
4	419,92	81,99
5	189,16	59,92
6	114,77	45,48
7	44,92	35,78
8	28,41	24,86
9	26,63	23,88
10	33,52	27,96
11	29,07	26,74
12	18,32	18,48
13	31,24	25,93
14	71,1	39,83
15	968,61	150,38

Foram comparadas áreas levantadas por topografia com áreas vetorizadas em mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 8 C. Na tabela 25 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação *a priori e a posteriori*.

Tabela 25: Resíduos das áreas e perímetros - imagem pancromática

	Dif. Área	Dif. Área %	<i>a priori</i>	Dif. Perímetro	Dif. Per. %
1	-38,45	-0,04	0,05	-2,45	-0,02
2	-4,61	-0,01	0,05	-0,96	-0,01
3	20,93	0,03	0,05	1,28	0,01
4	-5,13	-0,01	0,05	-0,52	-0,01
5	9,24	0,05	0,05	0,81	0,01
6	6,9	0,06	0,05	0,06	0
7	-1,41	-0,03	0,05	0,3	0,01
8	-1	-0,04	0,05	-0,43	-0,02
9	-1,14	-0,04	0,05	-0,96	-0,04
10	-0,98	-0,03	0,05	-0,26	-0,01
11	0,47	0,02	0,05	-0,83	-0,03
12	-0,12	-0,01	0,05	-0,38	-0,02
13	-1,2	-0,04	0,05	0,1	0
14	3,82	0,05	0,05	0,17	0
15	18,14	0,02	0,05	10,09	0,06

Analisando os dados acima, percebe-se que somente a área de número 6 não atende a expectativa definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 23), as áreas vetorizadas através da imagem pancromática atende plenamente o PEC para 5%. Possuindo qualidade geométrica compatível para atender ao Código Civil Brasileiro.

A base topográfica, juntamente com as áreas para avaliação podem ser visualizados no Apêndice 8 D. As áreas de mapa da imagem ortorretificada podem ser observadas na tabela 26.

Tabela 26: Áreas e perímetros - imagem ortorretificada

	Área Mapa	Perímetro Mapa
1	958,64	129,13
2	673,9	110,27
3	692,58	110,91
4	406,2	80,64
5	189,19	60,22
6	105,67	42,55
7	44,6	36,65
8	27,34	24,52
9	24,98	23,1
10	34	27,75
11	29,27	26,74
12	18,09	18,65
13	30,14	26,85
14	75,2	41,03
15	975,72	159,71

Foram comparadas áreas levantadas por topografia com áreas vetorizadas em mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 8 D. Na tabela 27 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação *a priori e a posteriori*.

Tabela 27: Resíduos das áreas e perímetros - imagem ortorretificada

	Dif. Área	Dif. Área %	<i>a priori</i>	Dif. Perímetro	Dif. Per. %
1	-38,43	-0,040	0,05	-2,64	-0,020
2	-26,75	-0,040	0,05	-2,32	-0,020
3	2,82	0,000	0,05	-0,29	0,000
4	8,59	0,020	0,05	0,83	0,010
5	9,21	0,050	0,05	0,51	0,010
6	16	0,130	0,05	2,99	0,070
7	-1,09	-0,030	0,05	-0,57	-0,020
8	0,07	0,000	0,05	-0,09	0,000
9	0,51	0,020	0,05	-0,18	-0,010
10	-1,46	-0,040	0,05	-0,05	0,000
11	0,27	0,010	0,05	-0,83	-0,030
12	0,11	0,010	0,05	-0,55	-0,030
13	-0,1	0,000	0,05	-0,82	-0,030
14	-0,28	0,000	0,05	-1,03	-0,030
15	11,03	0,010	0,05	0,76	0,000

Analisando os dados acima, percebe-se que somente a área de número 6 não atende a expectativa definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 23), as áreas vetorizadas através da imagem ortorretificada atende plenamente o PEC para 5%. Possuindo qualidade geométrica compatível para atender ao Código Civil Brasileiro.

5.3.4 Avaliação das translações

Em relação às translações, foram avaliadas as diferenças entre coordenadas (E, N) de campo e mapa. A classificação seguiu as definições do item 5.3.2 (páginas 48, 49 e 50), com exceção do seguinte critério:

- Utilização de pontos para verificação da qualidade da população escolhida conforme a feição e disponibilidade em campo;

5.3.4.1 Definição do número de pontos para avaliação das translações

Como a base topográfica, que já havia sido levantada, continha poucas áreas que poderiam servir para formar intersecções, com exceção das áreas das piscinas,

que não apresentavam cantos, todas as outras áreas tiveram centro definido, totalizando 13 pontos.

5.3.4.2 Identificação dos pontos no mapa e no terreno

Os pontos foram escolhidos baseados nas intersecções das áreas (centros) obtidas por pontos de topografia, conforme a descrição do item 5.3.2.4 (página 51). Foram utilizadas para comparação as áreas de mapa, já vetorizadas na etapa do item 5.3.2. Os pontos para cada imagem utilizados estão sendo apresentados no Apêndice 9.

Os pontos centrais levantados através de topografia podem ser visualizados na tabela 28.

Tabela 28: Coordenadas dos pontos centrais – topografia

	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
1	592371,71	6705296,74
2	592394,93	6705339,45
3	592373,57	6705349,74
4	592408,33	6705369,97
5	592408,46	6705452,63
6	592420,63	6705449,3
7	592438,92	6705465,71
8	592431,61	6705475,96
9	592449,77	6705472,07
10	592445,85	6705483,75
11	592485,29	6705538,76
12	592628,69	6705517,01
13	592806,59	6705613,6

As coordenadas obtidas em mapa da imagem fusionada podem ser observadas na tabela 29.

Tabela 29: Coordenadas dos centros das áreas - imagem fusionada

	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
1	592372,14	6705298,17
2	592395,77	6705339,83
3	592374,32	6705350,01
4	592408,63	6705370,21
5	592408,73	6705453,12
6	592420,7	6705449,7
7	592439,37	6705465,48
8	592431,89	6705475,78
9	592449,93	6705471,67
10	592445,67	6705483,84
11	592485,43	6705538,72
12	592628,54	6705517,11
13	592805,99	6705613,29

Foram comparadas coordenadas de campo com coordenadas de mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 10 A. Na tabela 30 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação das propagações *a priori* e *a posteriori*.

Tabela 30: Resíduos das translações - imagem fusionada

	Erro E (m)	Erro N (m)	<i>A posteriori</i>	<i>A priori</i>
1	-0,43	-1,43	1,493	1,015
2	-0,84	-0,38	0,922	1,015
3	-0,75	-0,27	0,797	1,015
4	-0,3	-0,24	0,384	1,015
5	-0,27	-0,49	0,559	1,015
6	-0,07	-0,4	0,406	1,015
7	-0,45	0,23	0,505	1,015
8	-0,28	0,18	0,333	1,015
9	-0,16	0,4	0,431	1,015
10	0,18	-0,09	0,201	1,015
11	-0,14	0,04	0,146	1,015
12	0,15	-0,1	0,18	1,015
13	0,6	0,31	0,675	1,015

Analisando os dados acima, percebe-se que somente o ponto de número 1 não atende a expectativa definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 22), as translações geradas através da imagem fusionada atendem plenamente o PEC. Possuindo qualidade geométrica compatível com PEC de 0,95 m, já que o maior valor encontrado, extraindo o valor rejeitado é de 0,92 m.

As coordenadas obtidas em mapa da imagem multiespectral podem ser observadas na tabela 31.

Tabela 31: Coordenadas dos centros das áreas - imagem multiespectral

	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
1	592372,41	6705297,94
2	592395,15	6705339,02
3	592373,99	6705350,03
4	592408,32	6705369,27
5	592408,9	6705455,04
6	592419,42	6705451,17
7	592438,6	6705466,79
8	592432,06	6705476,82
9	592449,99	6705473,69
10	592445,81	6705485,21
11	592485,63	6705540,39
12	592627,93	6705516,87
13	592806,29	6705612,41

Foram comparadas coordenadas de campo com coordenadas de mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 10 B. Na tabela 32 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação das propagações *a priori* e *a posteriori*.

Tabela 32: Resíduos das translações - imagem multiespectral

	Erro E (m)	Erro N (m)	<i>A posteriori</i>	<i>A priori</i>
1	-0,700	-1,200	1,389	3,402
2	-0,220	0,430	0,483	3,402
3	-0,420	-0,290	0,510	3,402
4	0,010	0,700	0,700	3,402
5	-0,440	-2,410	2,450	3,402
6	1,210	-1,870	2,227	3,402
7	0,320	-1,080	1,126	3,402
8	-0,450	-0,860	0,971	3,402
9	-0,220	-1,620	1,635	3,402
10	0,040	-1,460	1,461	3,402
11	-0,340	-1,630	1,665	3,402
12	0,760	0,140	0,773	3,402
13	0,300	1,190	1,227	3,402

Analisando os dados acima, percebe-se que nenhum ponto deixa de atender a exatidão definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 22), as translações geradas através da imagem multiespectral atendem plenamente o PEC. Possuindo qualidade geométrica compatível com PEC de 2,5 m, já que o maior valor encontrado é de 2,45 m.

As coordenadas obtidas em mapa da imagem pancromática podem ser observadas na tabela 33.

Tabela 33: Coordenadas dos centros das áreas - imagem pancromática

	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
1	592372,65	6705298,85
2	592395,07	6705339,35
3	592374,07	6705350,12
4	592408,55	6705369,85
5	592409,12	6705453,44
6	592421,62	6705449,53
7	592439,18	6705465,57
8	592431,73	6705475,97
9	592450,08	6705472,61
10	592445,86	6705484,05
11	592485,38	6705539,08
12	592628,62	6705517,16
13	592806,42	6705613,38

Foram comparadas coordenadas de campo com coordenadas de mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 10 C. Na tabela 34 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação das propagações *a priori* e *a posteriori*.

Tabela 34: Resíduos das translações - imagem pancromática

	Erro E (m)	Erro N (m)	<i>A posteriori</i>	<i>A priori</i>
1	-0,94	-2,11	2,31	0,892
2	-0,14	0,1	0,17	0,892
3	-0,5	-0,38	0,63	0,892
4	-0,22	0,12	0,25	0,892
5	-0,66	-0,81	1,04	0,892
6	-0,99	-0,23	1,02	0,892
7	-0,26	0,14	0,3	0,892
8	-0,12	-0,01	0,12	0,892
9	-0,31	-0,54	0,62	0,892
10	-0,01	-0,3	0,3	0,892
11	-0,09	-0,32	0,33	0,892
12	0,07	-0,15	0,17	0,892
13	0,17	0,22	0,28	0,892

Analisando os dados acima, percebe-se que os pontos de número 1, 5 e 6 não atendem a exatidão definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 22), as translações geradas através da imagem fusionada atendem plenamente o PEC para a qualidade geométrica compatível com 1,05 m, já que o segundo maior valor encontrado, é de 1,04 m.

As coordenadas obtidas em mapa da imagem ortorretificada podem ser observadas na tabela 35.

Tabela 35: Coordenadas dos centros das áreas - imagem ortorretificada

	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)
1	592371,86	6705299,29
2	592395,49	6705340,57
3	592373,73	6705350,85
4	592408,47	6705370,86
5	592408,48	6705453,09
6	592421,06	6705450,11
7	592439,05	6705466,1
8	592431,67	6705476,46
9	592449,79	6705472,67
10	592445,79	6705484,17
11	592485,15	6705540,11
12	592628,55	6705518,19
13	592805,6	6705613,61

Foram comparadas coordenadas de campo com coordenadas de mapa, gerando resíduos. Os cálculos e resultados obtidos podem ser visualizados no Apêndice 10 D. Na tabela 36 estão sendo apresentados os valores dos resíduos e a comparação das propagações *a priori* e *a posteriori*.

Tabela 36: Resíduos das translações - imagem ortorretificada

	Erro E (m)	Erro N (m)	<i>A posteriori</i>	<i>A priori</i>
1	-0,150	-2,550	2,550	2,187
2	-0,560	-1,120	1,250	2,187
3	-0,160	-1,110	1,120	2,187
4	-0,140	-0,890	0,900	2,187
5	-0,020	-0,460	0,460	2,187
6	-0,430	-0,810	0,920	2,187
7	-0,130	-0,390	0,410	2,187
8	-0,060	-0,500	0,500	2,187
9	-0,020	-0,600	0,600	2,187
10	0,060	-0,420	0,420	2,187
11	0,140	-1,350	1,360	2,187
12	0,140	-1,180	1,190	2,187
13	0,990	-0,010	0,990	2,187

Analisando os dados acima, percebe-se que somente o ponto de número 1 não atende a exatidão definida *a priori*. Portanto, conforme definições do item 2.8 (página 22), as translações geradas através da imagem ortorretificada atendem plenamente o PEC para a qualidade geométrica compatível com 1,40 m, já que o segundo maior valor encontrado é de 1,36 m.

5.3.5 Avaliação das rotações

Em relação às rotações, foram avaliadas as diferenças angulares entre as linhas componentes das feições de campo e mapa. A avaliação seguiu as definições do item 5.2.2 (página 38) e o seguinte critério:

- Noventa por cento dos ângulos testados tem que estar com os valores, expresso em graus, abaixo do definido *a priori*, para ter a expectativa do usuário atendida.

5.3.5.1 Definição do número de ângulos para avaliação das rotações

Foram utilizadas as mesmas áreas escolhidas na definição dos pontos centrais para avaliação das translações do item 5.3.4.1 (página 70). Todas as áreas que tiveram centro definido tiveram intersecções, formando linhas e, conseqüentemente ângulos. Foram totalizados 26 ângulos, 2 para cada ponto de intersecção.

5.3.5.2 Identificação dos ângulos no mapa e no terreno

Os pontos foram escolhidos baseados nas linhas formadoras das intersecções das áreas (centros) obtidas por pontos de topografia, conforme a descrição do item 5.3.3.2 (página 70). Foram utilizadas para comparação as linhas de mapa, ligadas através das áreas vetorizadas na etapa do item 5.3.3 (página 60). Os ângulos utilizados para cada imagem estão sendo apresentados no Apêndice 11.

Os ângulos obtidos entre linhas de topografia e linhas de mapa da imagem fusionada podem ser observados nas tabelas 37 e 38.

Os cálculos estão sendo apresentados no Apêndice 12 A.

Tabela 37: Rotações da imagem fusionada – mesma direção de deslocamento

	Rotação 1	Rotação 2	Resultante	<i>a priori</i>	Expectativa
2	0,2217	0,9234	0,5726	5	atende
5	0,0764	1,1654	0,6209	5	atende
6	0,4634	0,3607	0,4121	5	atende
7	4,7072	3,0452	3,8762	5	atende
9	1,0701	0,5975	0,8338	5	atende
10	0,877	1,8892	1,3831	5	atende
13	1,95	0,159	1,0545	5	atende

Tabela 38: Rotações da imagem fusionada – direção oposta de deslocamento

	Rotação 1	Rotação 2	Resultante	<i>a priori</i>	Expectativa
1	0,6847	0,4151	0,5499	5	atende
3	0,0313	0,1381	0,0847	5	atende
4	0,188	1,8738	1,0309	5	atende
8	0,3934	1,6926	1,043	5	atende
11	2,0704	0,1013	1,0859	5	atende
12	0,0349	3,1318	1,5834	5	atende

Os ângulos resultantes apresentados nas tabelas abaixo foram comparados com o valor definido *a priori*. Percebe-se, para a imagem fusionada, nenhum ponto deixa de atender a expectativa definida de 5 graus.

Os ângulos obtidos entre linhas de topografia e linhas de mapa da imagem multiespectral podem ser observados nas tabelas 39 e 40.

Os cálculos estão sendo apresentados no Apêndice 12 B.

Tabela 39: Rotações da imagem multiespectral – mesma direção de deslocamento

	Rotação 1	Rotação 2	Resultante	<i>a priori</i>	Expectativa
3	0,5459	0,9279	0,7369	5	atende
6	2,099	0,5116	1,3053	5	atende
7	12,2676	9,8354	11,051	5	não atende
8	2,9643	0,3087	1,6365	5	atende
12	0,3602	2,0316	1,1959	5	atende
13	1,2708	0,9536	1,1122	5	atende

Tabela 40: Rotações da imagem multiespectral – direção oposta de deslocamento

	Rotação 1	Rotação 2	Resultante	<i>a priori</i>	Expectativa
1	0,4899	0,3452	0,4176	5	atende
2	1,6919	1,5313	1,6116	5	atende
4	2,0171	1,4786	1,7479	5	atende
5	4,1536	5,4389	4,7963	5	atende
9	3,5784	2,3285	2,9535	5	atende
10	2,0642	1,2137	1,639	5	atende
11	0,6974	1,5779	1,1377	5	atende

Os ângulos resultantes apresentados nas tabelas acima foram comparados com o valor definido *a priori*. Percebe-se que, para a imagem multiespectral, somente o ponto de número 7 está acima dos 5 graus. Portanto, 1/13 dos pontos estão com valor acima do especificado, mas ainda assim atendem a expectativa do usuário, pois representa menos do que 10% do total avaliado.

Os ângulos obtidos entre linhas de topografia e linhas de mapa da imagem pancromática podem ser observados nas tabelas 41 e 42.

Os cálculos estão sendo apresentados no Apêndice 12 C.

Tabela 41: Rotações da imagem pancromática – mesma direção de deslocamento

	Rotação 1	Rotação 2	Resultante	<i>a priori</i>	Expectativa
1	0,7668	0,2329	0,4999	5	atende
7	1,0676	1,0043	1,036	5	atende
8	0,1815	2,8715	1,5265	5	atende
9	1,1366	0,4347	0,7857	5	atende

Tabela 42: Rotações da imagem pancromática – direção oposta de deslocamento

	Rotação 1	Rotação 2	Resultante	<i>a priori</i>	Expectativa
2	0,3149	0,0831	0,199	5	atende
3	0,5682	0,5407	0,5545	5	atende
4	1,1127	0,5363	0,8245	5	atende
5	0,3947	1,169	0,7819	5	atende
6	0,0378	0,849	0,4434	5	atende
10	1,4413	2,4744	1,9579	5	atende
11	1,0562	3,3405	2,1984	5	atende
12	0,2626	2,6812	1,4719	5	atende
13	0,5516	1,919	1,2353	5	atende

Os ângulos resultantes apresentados nas tabelas abaixo foram comparados com o valor definido *a priori*. Percebe-se, para a imagem pancromática, nenhum ponto deixa de atender a expectativa definida de 5 graus.

Os ângulos obtidos entre linhas de topografia e linhas de mapa da imagem ortorretificada podem ser observados nas tabelas 43 e 44.

Os cálculos estão sendo apresentados no Apêndice 12 D.

Tabela 43: Rotações da imagem ortorretificada – mesma direção de deslocamento

	Rotação 1	Rotação 2	Resultante	<i>a priori</i>	Expectativa
1	0,2429	0,2966	0,2698	5	atende
3	0,6286	2,0114	1,32	5	atende
4	2,015	0,4306	1,2228	5	atende
5	0,2242	0,4294	0,3268	5	atende
8	0,0643	2,6348	1,3496	5	atende
9	2,6457	0,2232	1,4345	5	atende
13	1,2547	2,2172	1,736	5	atende

Tabela 44: Rotações da imagem ortorretificada – direção oposta de deslocamento

	Rotação 1	Rotação 2	Resultante	<i>a priori</i>	Expectativa
2	0,2201	0,051	0,1356	5	atende
6	0,056	0,0106	0,0333	5	atende
7	0,1819	0,2805	0,2312	5	atende
10	1,8016	1,0134	1,4075	5	atende
11	3,6401	4,1422	3,8912	5	atende
12	1,9263	1,1795	1,5529	5	atende

Os ângulos resultantes apresentados nas tabelas abaixo foram comparados com o valor definido *a priori*. Percebe-se, para a imagem ortorretificada, nenhum ponto deixa de atender a expectativa definida de 5 graus.

5.3.6 Tratamentos Estatísticos

Através da comparação dos dois grupos de coordenadas foi iniciado o cálculo dos resíduos, comparando pontos de campo com pontos de mapa.

Na avaliação dos resíduos das coordenadas foi verificado se a média dos pontos apresentava valores dentro do especificados *a priori*. Foram calculados a média dos resíduos, o desvio padrão e a variância para cada sensor e modo, através da utilização dos pontos das etapas da avaliação da qualidade em relação ao PEC e às translações. Foram totalizados 33 pontos de verificação.

Para examinar se os resultados estão dentro da expectativa do usuário, em relação à precisão, foi utilizado a fórmula 2 (página 26) do teste do *Qui-quadrado*:

Para testes bilaterais, nível de significância de 1%, com 33 graus de liberdade, os valores críticos para χ^2 são de 13,79 e 63,87.

$$P(\chi^2_{33,0.005} < \frac{\sigma_{\text{pesq}}^2}{\sigma_{\text{usuário}}^2} < \chi^2_{33,0.995})$$

O teste de hipótese foi formulado baseado na enunciação do item 2.11 (página 25). Para a Hipótese nula (Ho) ser aceita é necessário que os resultados estejam fora do intervalo de confiança estipulado. Toda vez que os resultados estiverem dentro

do intervalo estipulado, a hipótese nula deve ser rejeitada. A partir do momento em que a hipótese nula é rejeitada, conseqüentemente a hipótese alternativa (H1) é aceita.

Então:

$$H_0 = P(\chi^2_{33,0.005} < \frac{\sigma^2_{\text{pesq}}}{\sigma^2_{\text{usuário}}} < \chi^2_{33,0.995}) = \text{para resultados fora do intervalo}$$

$$H_1 = P(\chi^2_{33,0.005} < \frac{\sigma^2_{\text{pesq}}}{\sigma^2_{\text{usuário}}} < \chi^2_{33,0.995}) = \text{para resultados dentro do intervalo}$$

Os cálculos podem ser verificados no Apêndice 13. Na tabela 45 estão sendo apresentados os valores calculados para o teste do *qui quadrado* para todas as imagens e modos utilizados.

Tabela 45: Resultados do teste do *qui quadrado*

	Variância <i>a posteriori</i>	Variância <i>a priori</i>	<i>a posteriori/</i> <i>a priori</i>	Intervalo χ^2 (15.815 a 63.869)
Fusionada	0,094	0,114	0,817	26,995
Multiespectral	0,692	1,286	0,538	17,75
Pancromática	0,168	0,088	1,9	62,701
Ortorretificada	0,259	0,531	0,487	16,087

Foi verificado que a hipótese nula foi rejeitada em todas as desigualdades das variâncias testadas. Portanto, infere-se que, para um intervalo de confiança de 1%, tamanho de amostra igual a 33, todas as bases cartográficas apresentam satisfatória precisão planimétrica.

Na avaliação da exatidão planimétrica da média dos resíduos foi adotada a fórmula 1 (página 26) da distribuição normal.

Para testes unilaterais, nível de significância de 10%, o valor crítico para Z é de 1,28.

O teste de hipótese foi formulado baseado na enunciação do item 2.11 (página 25). Para a Hipótese nula (H₀) ser aceita é necessário que os resultados estejam iguais ou acima do intervalo de confiança estipulado. Toda vez que os resultados

estiverem abaixo do intervalo estipulado, a hipótese nula deve ser rejeitada. A partir do momento em que a hipótese nula é rejeitada, consequentemente a hipótese alternativa (H1) é aceita.

$$H_0: \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{33}} \geq 1,28$$

$$H_1: \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{33}} < 1,28$$

Os cálculos podem ser verificados no Apêndice 13. Na tabela 46 estão sendo apresentados os valores calculados para a distribuição normal para todas as imagens e modos utilizados.

Tabela 46: Resultados da distribuição normal

	Média <i>a posteriori</i>	Média <i>a priori</i>	Desvio padrão amostral	Intervalo Z -2,33
Fusionada	0,588	1,015	0,306	-8,028
Multiespectral	1,415	3,402	0,832	-3,723
Pancromática	0,577	0,892	0,41	-4,417
Ortorretificada	1,041	2,187	0,509	-2,936

Foi verificado que a hipótese nula foi rejeitada em todas as desigualdades das médias testadas. Portanto, infere-se que, para um intervalo de confiança de 10%, tamanho de amostra igual a 33, todas as bases cartográficas apresentam satisfatória exatidão planimétrica.

5.3.7 Definição do valor da exatidão final dos vetores

Para avaliação da exatidão final das bases foram utilizados os resultados dos testes estatísticos do item 5.3.6 (página 83) e as definições do item 2.8 (página 23), na parte de definição do Erro Padrão. O valor encontrado para o PEC deve ser compatível com o valor da exatidão dos mapas gerados.

O PEC corresponde a probabilidade de 90%, ou seja, 1,6449 vezes o Erro Padrão. Então o PEC dos mapas gerados deve corresponder a $1,6449 * \text{Desvio Padrão}$ calculado estatisticamente (*a posteriori*).

Os cálculos completos podem ser observados no Apêndice 13 e os resultados resumidos podem ser observados na tabela 47.

Tabela 47: Exatidão final das bases geradas

Bases geradas	Erro padrão	PEC	Escala compatível
Fusionada	0,306	0,503	0,74028
Multiespectral	0,832	1,368	1,94167
Pancromática	0,41	0,674	0,97778
Ortorretificada	0,509	0,837	1,20486

Para calcular o valor da relação entre a resolução espacial da imagem e a exatidão posicional dos vetores para cada sensor utilizado foram feitas considerações a cerca dos resultados obtidos nas etapas anteriores.

Levando em consideração que todos os vetores gerados tiveram qualidade comprovada através de avaliação cartográfica, nas suas translações, rotações e escala, definiu-se que as exatidões e escalas máximas e mínimas de trabalho, para que se haja também uma boa visualização da imagem, abrangem o intervalo apresentado na tabela 48.

Tabela 48: Comparações dos cálculos *a priori* e *a posteriori*

Bases geradas	EP <i>a priori</i>	PEC <i>a priori</i>	Escala <i>a priori</i>	EP <i>a posteriori</i>	PEC <i>a posteriori</i>	Escala <i>a posteriori</i>
Fusionada	0,338	1,015	1,451389	0,306	0,503	0,740278
Multiespectral	1,134	3,402	4,766667	0,832	1,368	1,941667
Pancromática	0,297	0,892	1,280556	0,41	0,674	0,977778
Ortorretificada	0,729	2,187	3,079167	0,509	0,837	1,204861

Para maior segurança, uma exatidão intermediária e, conseqüentemente uma escala, foram recalculadas para os valores encontrados *a priori* e *a posteriori*.

Os valores de PEC e escala estimado estão sendo apresentados na tabela 49, juntamente com os valores das resoluções espaciais das imagens testadas.

Tabela 49: Relação entre a resolução espacial e a exatidão geométrica

Bases geradas	Resolução	PEC estimado	Escala estimada
Fusionada	0,7	1	1,43056
Multiespectral	2,44	3,5	4,90278
Pancromática	0,61	1	1,43056
Ortorretificada	0,7	1	1,43056

Para calcular o erro padrão correspondente à escala, e neste caso, o PEC (compatível ao CE90), foi utilizado o mesmo princípio do item 5.3.7 (página 85), de que a probabilidade de 90% é igual a $1,6449 * EP$.

Na tabela 50 estão sendo apresentadas as propostas de padronização do mapeamento gerado através de imagens QuickBird.

Tabela 50: Padrão de Exatidão de Mapeamento para Imagens QuickBird

Imagem	Resolução	CE90%	Erro Padrão	Escala
Fusionada	0,7	1	0,608	1,43056
Multiespectral	2,44	3,5	2,128	4,90278
Pancromática	0,61	1	0,608	1,43056
Ortorretificada	0,7	1	0,608	1,43056

Percebe-se que o erro padrão calculado se aproxima da resolução espacial da imagem, comprovando que o valor de 1 desvio padrão é compatível a 1 pixel da imagem.

Na tabela 51, foi multiplicado o valor de 1 desvio padrão (1,6449) pelos valores apresentados na tabela 7, provenientes do georreferenciamento e obtivemos valores menores para o PEC, do que os valores definidos *a priori* para as imagens, o que também garante as escalas apresentadas na tabela 50.

Tabela 51: Padrão de Exatidão de Mapeamento para Imagens QuickBird através do georreferenciamento

Imagem	Erro (m) geor.	PEC (m) geor.
Fusão	0,4512	0,7421
Multi	1,9838	3,2631
Pan	0,5628	0,9257

6. CONCLUSÕES, SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Analisando os resultados apresentados chega-se a conclusão de que todos os objetivos foram cumpridos.

Foram definidos critérios para correção geométrica, através da utilização da fórmula de Pereira para quantificação do número de pontos para correção, distribuição homogênea de pontos por toda a área imageada conforme definições de Merchant e levantamento dos pontos através de métodos que garantiram a exatidão três vezes melhor do que o pixel da imagem.

As imagens foram corrigidas geometricamente através do modelo polinomial simples e todas atenderam a expectativa definida *a priori*, de que o erro médio quadrático deveria ser menor que um pixel.

Foi gerada uma ortofotocarta compatível com escala 1:2500, em formato A2, com PEC de 1 m, corrigida através de modelo polinomial racional.

Os vetores gerados pelas diversas imagens foram avaliados em comparação aos levantamentos topográficos.

Em relação ao PEC, todas as bases tiveram expectativa definida *a priori* atendida em 90% dos casos. Os valores de exatidão calculados para as imagens fusionada, multiespectral, pancromática e ortorretificada, são os seguintes, respectivamente: 0.9 m, 3 m, 0.9 m e 1.9 m.

Em relação às translações, todas as bases também tiveram expectativa definida *a priori* atendida em 90% dos casos, com exceção da imagem pancromática, que apresentou três valores fora do especificado. Os valores de exatidão calculados para as imagens fusionada, multiespectral, pancromática e ortorretificada são os seguintes, respectivamente: 0.95 m, 2,5 m, 1,05 m e 1.4 m.

Em relação às rotações, todas as bases tiveram expectativa definida *a priori* atendida, abaixo dos 5 graus em 90% dos casos.

Em relação às áreas, todas as bases também tiveram expectativa definida *a priori* atendida em 90% dos casos.

Não foi verificada nenhuma tendência sistemática em nenhuma avaliação executada, o que permite concluir que imagens obtidas em Nadir, em pequenas áreas de locais planos, quando corrigidas com um número significativo de pontos, não são afetadas pelos erros sistemáticos citados no item 2.3 (página 9).

Foram realizados testes estatísticos que comprovaram a qualidade dos dados, em relação às exatidões e às precisões.

No Brasil não existe nenhuma legislação que defina qual a escala máxima poderá ser utilizada para mapeamento gerado através de imagens. Então, baseado nos testes e em todos os resultados obtidos foi proposto os valores da tabela 50 para serem utilizados como padrão de exatidão de mapeamento para imagens QuickBird.

Com segurança, ficou comprovado, neste trabalho, que através da utilização de critérios, as escalas e exatidões definidas *a priori* garantem um mapeamento gerado por imagens QuickBird de alta qualidade.

Apesar de todos os testes executados, *a posteriori*, apresentarem valores melhores que os definidos, *a priori*, sem que haja outras avaliações, com outras áreas de estudo, de diferentes tamanhos, relevos e épocas, não podemos afirmar que os valores definidos podem ser alcançadas em um mapeamento através de qualquer imagem QuickBird.

Portanto entre os valores definidos *a priori* até os valores estimados, qualquer escala e exatidão pode ser utilizada com segurança, desde que a área utilizada seja pequena, plana e siga rigorosamente a metodologia apresentada.

Recomenda-se que a metodologia seja reaplicada em diferentes produtos, em áreas grandes e com relevos diferenciados nas imagens QuickBird, a fim de que se possa chegar a valores extensíveis a todas as imagens testadas. Recomenda-se também que a aplicação se de em diferentes imagens, como: Ikonos, Áster, Spot, Landsat,

CBERS e etc., para verificação do erro padrão e PEC para cada uma delas nos diferentes modos e modelos polinômias possíveis.

Sugere-se que sejam realizadas pesquisas referentes ao uso de imagens de altíssima resolução espacial, fazendo comparações, com mesma área e características de correção entre as imagens QuickBird e Ikonos, para verificar a qualidade de uma em vantagem de outra, bem como avaliação das novas imagens com resoluções melhores que 0,4 metros que estão começando a ser comercializadas no mundo, como o GeoEye e o RapidEye.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J.B. Fotogrametria. Curitiba; SBEE, 1998.
- BRASIL. DECRETO Nº 89.817, Estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da União, de 20 de junho de 1984.
- BRASIL. LEI Nº 10.406. Código Civil Brasileiro de 10 de janeiro de 2002. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10406.htm. Acesso em 15 de janeiro de 2007.
- BRITO, J. N.; COELHO, L. Fotogrametria Digital. Instituto Militar de Engenharia. 1a Ed. Rio de Janeiro, Brasil. 2002.
- CALDAS, A.B.; ROCHA, R.S.; PAULINO, L.A.; PHILLIPS, J.W. Novos Paradigmas da Cartografia – XX Congresso Brasileiro de Cartografia – Outubro/2001.
- CELESTINO, V.S.; ROCHA, R.S.; SILVA, R.R; MATSUOKA, C.T. Investigação geométrica para aplicação de imagens orbitais na retificação e geração de produtos cartográficos. XXII Congresso Brasileiro de Cartografia – Outubro/2005.
- CHUVIECO, E. *Fundamentos de teledetección especial*. RIALP S.A. Madrid. 1990.
- COLWELL, R.N. *Manual of Remote Sensing*. 2 Ed. American Society of Photogrammetry. 1980.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. New York, Lewis Publishers, 1999. 136 p.
- CROCE. Disponível em www.croce.ggf.br/wwwcroce.htm. Acesso em 15 de janeiro de 2005.
- D'ALGE, J. C. L. Correção Geométrica de Imagens de Sensoriamento Remoto. Notas de aula. 2006.
- DIGITAL GLOBE. *QuickBird Imagery Products*. Colorado. Maio de 2006.
- FCTUC. Fotogrametria Digital. Universidade de Coimbra. Disponível em www.mat.uc.pt/~engeo; Coimbra – 2002. Acesso em 15 de setembro de 2005.
- FORD, G.E.; ZANELLI, C.I. *Analysis and qualification of errors in the geometric correction of satellite images*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. V.51, n. 11. P. 1725-1734, novembro. 1985.
- FRANKE, R. *Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods, Mathematics of Computations*, v. 33, n. 157, p. 181-200. 1982.
- GANAS, A.; LAGIOS, E.; TZANNETOS, N. *An investigation on the spatial accuracy of the IKONOS 2 Orthoimagery within an urban environment*. International Journal of Remote Sensing, v. 23, n. 17, p. 3513-3519, 2002.
- GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações. Curitiba: Editora UFPR, 1994.
- GRODECKI, J. *Ikonos Stereo Feature Extraction - RPC Approach*; ASPRS 2001 Proceedings, St.Louis, 2 MO, 23-27 April 2001.
- GUPTA, R. *Remote Sensing Geology*. Springer. Berlin Heidelberg. 1991.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em www.ibge.br. Acesso em 15 de janeiro de 2007.

- ISHIKAWA, M. I. Potencialidade de uso de imagens IKONOS/GEO para aplicações em áreas urbanas. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, UNESP, 2001.
- JURAN, J.M.; GRZYNA, F. M. Controle de qualidade - conceitos, políticas e filosofia da qualidade. Editora McGraw-Hill. São Paulo – SP. 1991.
- LUGNANI, J. B. Introdução a Fototriangulação. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1987.
- MAILLARD, P. Introdução ao Processamento Digital de Imagens. Disponível em www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/centrorecursos/apostilas/cursopdi.pdf. 2001. Acesso em 20 de junho de 2005.
- MERCHANT, D. C. *Spatial accuracy standards for large scale line maps*. American Congress on Surveying and Mapping. Denver. 1982.
- MONICO, J.F.G.: Posicionamento pelo NAVSTAR-GP, São Paulo: Editora da UNESP (FEU), 2000.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. INPE. 2003.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. RESOLUÇÃO Nº 41/65. Assembléia Geral de 9 de dezembro de 1986. Disponível em http://www.sbda.org.br/textos/DirEsp/Prnc_Sens.doc. Acesso em 30 de junho de 2005.
- OKIDA, R.; LUIZ, S.; OLIVEIRA, C. G. Avaliação da precisão de orto-imagens Ikonos. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 285-292.
- PALADINI, EDSON P. Controle de Qualidade, uma abordagem abrangente. Editora Atlas. São Paulo – SP. 1990.
- PEDRO, P. C. Ortorretificação de imagens de alta resolução Ikonos e QuickBird utilizando o modelo APM (*Affine Projection Model*). Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR. Curitiba. 2005.
- PEREIRA, R. A estatística e suas aplicações. Editora Grafosul. Porto Alegre - RS. 1978.
- RICHARDS, J.; JIA, X. *Remote sensing digital image analysis: Introduction*. 2 Ed. Springer. Berlin. 1999.
- ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora – MG - 2000.
- ROCHA, R.S. Exatidão Cartográfica para cartas digitais urbanas. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFSC. Florianópolis. 2002.
- SCHOWENGERDT, R. A. *Remote Sensing: models and methods for image processing*. 2. Ed. New York: Academic Press, 1997. 522 p.
- SILVA, A.J.F.M.; SILVA, M.V.D.; SANTINI, D. Mapeamento topográfico usando imagens Ikonos. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 297-302.
- SILVA, D.C. Avaliação da Resolução de Imagens Digitais para Cadastro. COBRAC. Florianópolis-SC. 1998.

SILVA, W. B.; VERGARA, O. R. Avaliação da qualidade geométrica de imagens IKONOS ortorretificadas utilizando-se a transformação polinomial racional. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2581-2588.

SPIEGEL, MURRAY. Estatística. Editora McGraw-Hill. São Paulo – SP. 1978.

TAO, V.; HU, Y. *A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 67, n.12 pp. 1347-1357, dec. 2001.

TOUTIN, T.; CHENG, P. *Demystification of IKONOS*. Earth Observation Magazine, v. 9, n. 7, p. 17-21. 2000.

TOUTIN, T.; CHENG, P. *QUICKBIRD – A milestone for high resolution mapping*. Earth Observation Magazine, v.11, n.4, pp. 14-18, 2002.

VOLPE, F. *Geometric processing of QuickBird high resolution satellite data*. Disponível em www.ipi.uni-hannover.de/html/publikationen/2003/workshop/volpe.pdf. Acesso em 15 de janeiro de 2006.

XANGRI-LÁ (cidade). Prefeitura Municipal. Disponível em www.xangrila.rs.gov.br/historia. Acesso em 15 de janeiro de 2007.

YAMAKAWA, T.; FRASER, C. *The affine projection model for sensor orientation experiences with high resolution satellite imagery*. Disponível em www.isprs.org/istanbul2004/comm1/papers/27.pdf. Acesso em 30 de novembro de 2006.