

JOEL GRIPP JUNIOR

**ORTORRETIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO
PARA APLICAÇÃO EM CADASTRO TÉCNICO RURAL E
MAPEAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE
E RESERVAS LEGAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

G868o
2009

Gripp Junior, Joel, 1958-

Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação em cadastro técnico rural e mapeamento de áreas de preservação permanente e reservas legais / Joel Gripp Junior. – Viçosa, MG, 2009.
xxi, 151f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Vicente Paulo Soares.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 138-143.

1. Florestas - Sensoriamento remoto. 2. Florestas - Legislação - Brasil. 3. Cartografia - Processamento de dados. 4. Direito ambiental - Brasil. 5. Geodésia. 6. Proteção ambiental. 7. Mapas - Projeção. 8. Imposto territorial rural. 9. Solo - Uso. 10. Florestas - Conservação. 11. Mapeamento ambiental. 12. Cadastros.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

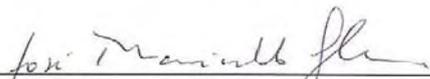
CDO adapt. CDD 635.9587

JOEL GRIPP JUNIOR

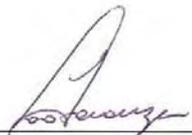
**ORTORRETIFICAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO
PARA APLICAÇÃO EM CADASTRO TÉCNICO RURAL E
MAPEAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE
E RESERVAS LEGAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

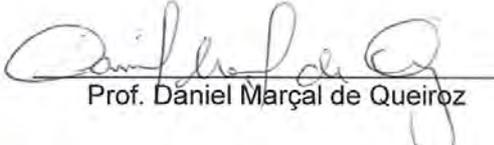
APROVADA: 12 de fevereiro de 2009.



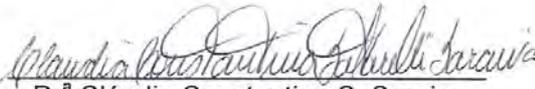
Prof. José Marinaldo Gleriani
(Co-orientador)



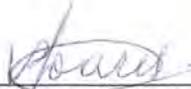
Prof. Agostinho Lopes de Souza
(Co-orientador)



Prof. Daniel Marçal de Queiroz



Dr.ª Cláudia Constantina S. Saraiva



Prof. Vicente Paulo Soares
(Orientador)

Aos amores da minha vida:

Angélica, esposa;

Jéssica e Alisson, filhos.

Ao meu pai, Joel Gripp (*in memoriam*),

que nestes últimos anos sofreu tanto, mas que hoje
descansa junto do Pai.

À minha mãe, Eny.

À UFV.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me permitido obter mais esta vitória.

À Universidade Federal de Viçosa, por ter me dado esta oportunidade de realização deste treinamento.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Civil da UFV, pelo incentivo e pelas palavras de ânimo para realização do treinamento, e pelo companheirismo demonstrado nos momentos bons e difíceis.

Ao professor Vicente Paulo Soares, pelo apoio incondicional, pelo incentivo e pela orientação.

Aos professores José Marinaldo Gleriani, Agostinho Lopes de Souza, Carlos Antônio Álvares Soares Ribeiro e Carlos Pedro Boechat Soares, pelas sugestões, pelas orientações e pela amizade.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, por terem me recebido de portas abertas.

Ao professor Daniel Marçal de Queiroz, pelas sugestões, pelas orientações, pelo seu espírito universitário, e por ter disponibilizado a imagem Ikonos II para a pesquisa.

Ao Instituto de Geociências Aplicadas de Minas Gerais – IGA-MG, por todo o apoio e toda permissão de uso do programa PCI Geomatics e, em especial, à sua funcionária, Dr^a Cláudia Saltarelli Saraiva, pela incansável ajuda e pelo incentivo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo suporte financeiro dado para custear as despesas para a realização das atividades de campo e escritório.

Aos colegas do “Seminário de Sensoriamento Remoto”, Ângelo, Edgar, Adelson, Júlio, Moisés, Marinaldo, Ferraz, Jairo, Cecília, Cristina, Adriane e Angélica, que periodicamente era realizado e, seja para finalidades técnicas, bate-papos ou de lazer, ajudava a recompor as forças para continuar a “labuta”.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

JOEL GRIPP JUNIOR, filho de Joel Gripp e Eny Alvim Gripp, nasceu em Alto Jequitibá, Minas Gerais, em 2 de outubro de 1958.

Cursou o 1º e o 2º Graus no Colégio Estadual Rev. Cícero Siqueira, Alto Jequitibá-MG.

Em 1980, concluiu o curso de Engenharia de Agrimensura na UFV. A partir de 1981 passou a atuar como professor do Setor de Engenharia de Agrimensura do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

Em 1986, concluiu o curso de Mestrado em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná.

Como professor, ministrou diversas disciplinas, como: Topografia, Estradas, Geodésia, Peritagem e Divisão e Demarcação de Terras, Representações Cartográficas, Ajustamento de Observações, Desenho Topográfico Digital, Loteamento e Cadastro Técnico Municipal.

Em 1989, publicou em co-autoria com o professor José Aníbal Comastri, o livro intitulado “Topografia Aplicada – Medições, Divisões e Demarcações de Terras”, publicado pela Editora UFV.

No período de 1988 a 1990, foi conselheiro do CREA-MG, representando o CCE da UFV, e inspetor adjunto do CREA em Viçosa por vários anos.

Já participou de diversas atividades de prestação de serviços técnicos, em especial na área de mapeamento, utilizando a tecnologia digital para as diversas finalidades, coordenando diversos convênios relacionados ao cadastro técnico municipal, elaboração de parcelamento do solo rural e urbano, dentre outros.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xx
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo geral	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. O cadastro técnico rural	4
2.1.1. O cadastro técnico rural no Brasil	5
2.1.2. Georreferenciamento de imóveis rurais: normas e legislações	8
2.2. A cartografia cadastral rural	10
2.2.1. Base cartográfica rural	10
2.2.2. Cartografia temática rural	11
2.3. Legislação brasileira pertinente à proteção do meio ambiente	11

	Página
2.3.1. Áreas de preservação permanente (APPs).....	11
2.3.2. Reserva legal	12
2.4. Métodos de obtenção de informações espaciais	13
2.4.1. Topografia – avanços recentes da topografia	14
2.4.2. Sistema de Posicionamento Global (GPS).....	14
2.4.3. Sensoriamento remoto	16
2.5. Classificação de imagens digitais	17
2.6. Sistemas geodésicos e datum	18
2.6.1. Sistemas referenciais geodésicos	19
2.6.2. Sistemas de projeções	22
2.7. Imagens orbitais.....	23
2.7.1. O satélite Ikonos	26
2.8. Georreferenciamento e retificação de imagens orbitais	27
2.8.1. Distorções geométricas.....	29
2.8.2. Distorção associada ao relevo	32
2.8.2.1. Ortorretificação digital	35
2.9. Métodos de correção geométrica e, ou, ortorretificação	36
2.9.1. Método polinomial simples	37
2.9.2. Método polinomial proporcional ou razão funcional	38
2.9.3. Método rigoroso ou paramétrico	40
2.10. Modelo digital de elevação.....	42
2.11. Controle de qualidade de bases cartográficas	44
2.11.1. Fonte de dados	45
2.11.2. Informações necessária para análise da exatidão cartográfica	46
2.11.3. Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).....	46
2.11.4. O Decreto nº 89.817 e a classificação das cartas	47
2.11.5. Classificação das cartas mediante a análise estatística.....	49
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	52
3.1. Caracterização da área de estudo	52
3.2. Materiais e atividades desenvolvidas	54

	Página
3.2.1. Imagem orbital Ikonos II	54
3.2.2. Receptores GPS e a obtenção de pontos de controle terrestres	56
3.2.3. Geração do Modelo Digital de Elevação (MDE).....	57
3.2.4. Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).....	59
3.2.5. Correção geométrica e ortorretificação	59
3.2.5.1. Influência da resolução do modelo digital de elevação na ortorretificação de imagens de alta resolução Ikonos II.....	60
3.2.5.2. Influência dos modelos matemáticos na correção geométrica e ortorretificação	61
3.2.5.3. Influência do número de pontos de controle terrestres na ortorretificação de imagens Ikonos II	63
3.2.6. Análise estatística	64
3.2.6.1. Teste estatístico da exatidão.....	66
3.2.6.2. Teste estatístico da precisão.....	68
3.2.7. Influência dos sistemas geodésicos e de coordenadas geográficas nos mapeamentos cartográficos originados de imagens de satélites.....	70
3.2.8. Mapeamento dos imóveis rurais e das classes de uso e cobertura da Terra.....	72
3.2.9. Delimitação das áreas de preservação permanente (APPs) e reservas legais	74
3.2.10. Delimitação das áreas de conflito de uso da terra	74
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.1. Correção geométrica e ortorretificação de imagem Ikonos II	75
4.1.1. Influência da resolução do modelo digital de elevação na ortorretificação de imagens.....	75
4.1.2. Influência dos três modelos matemáticos para georreferenciamento expedito e rigoroso (ortorretificação) de imagens Ikonos II	82
4.1.2.1. Qualidade dos pontos calculados com os parâmetros de transformação e ortorretificação	83
4.1.2.2. Qualidade posicional dos pontos nas imagens	88
4.1.3. Influência do número de pontos de controle terrestres na ortorretificação de imagens Ikonos II	100
4.1.3.1. Qualidade dos pontos calculados com os parâmetros de transformação e ortorretificação	100
4.1.3.2. Qualidade posicional dos pontos nas imagens	104

	Página
4.1.4. Influência dos sistemas geodésicos e de coordenadas geográficas nos mapeamentos cartográficos originados de imagens de satélites	111
4.2. Mapeamento dos imóveis rurais e das classes de cobertura e uso da terra	115
4.2.1. Delimitação e quantificação das áreas de preservação permanente e reservas legais	120
4.2.2. Cadastro técnico rural	129
5. CONCLUSÕES	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
ANEXOS	144

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Fontes de erros geométricos subdivididos em categorias e subcategorias	29
2 Deformação devido ao relevo (em metros).....	35
3 Valores do PEC e EP conforme Decreto nº 8.9817/84	49
4 Padrão de exatidão cartográfica e erro-padrão planimétrico para as escalas mais usadas.....	50
5 Distribuição das fases do relevo na área de estudo	54
6 Especificações da imagem Ikonos utilizada no estudo	55
7 Resolução espectral (λ) e espacial das bandas azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromática do satélite Ikonos II	55
8 Etapas necessárias para a realização do teste estatístico da análise de qualidade cartográfica	70
9 Definição das classes de cobertura e uso da terra mapeadas na imagem Ikonos II	73
10 Análise estatística do padrão de exatidão e precisão das ortoimagens para resoluções de 2, 5 10 e 20 m.....	82

	Página
11	Análise estatística do padrão de exatidão e precisão da imagem bruta 96
12	Análise estatística do padrão de exatidão e precisão da imagem resultante da aplicação do modelo polinomial simples 97
13	Análise estatística do padrão de exatidão e precisão das ortoimagens obtida utilizando os modelos razões de polinômios e rigoroso..... 98
14	Análise estatística do padrão de exatidão e precisão das ortoimagens em relação ao número de ponto de controle terrestre (PCT)..... 109
15	Áreas das classes de coberturas e uso da terra..... 116
16	Áreas (ha) dos imóveis e das classes de coberturas e uso da terra 117
17	Imóveis com suas áreas totais e respectivas áreas em APPs (ha) 122
18	Porcentagem das áreas ocupadas pelas classes de coberturas e uso da terra nas APPs..... 128
19	Área de cobertura florestal na área de estudo (ha) 130

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Elipsoide adaptado à região	20
2 Aquisição da Imagem por sensores de varredura linear (<i>Pushbroom Scanner</i>).....	24
3 Ilustração dos ângulos yaw, pitch e roll na trajetória do imageamento.....	24
4 Aquisição da Imagem por sensores de varredura mecânica (<i>Whiskbroom Scanner</i>)	25
5 Aquisição da Imagem por sensores de área ou quadro (Frame)..	25
6 Ilustração das distorções devido às variações da altitude, atitude e velocidade da plataforma.....	31
7 Deslocamento da imagem devido ao relevo	32
8 Efeito da ortorretificação de um ponto	33
9 Ilustração da deformação do relevo.....	34
10 Geração da ortoimagem a partir de pontos de controle e MDE....	36
11 Superfície e malha triangular correspondente	43
12 Superfície e grade regular correspondente.....	43

	Página
13	Área coberta pela imagem Ikonos II na Zona da Mata, no Estado de Minas Gerais e os municípios abrangidos 53
14	Ilustração das condições da tomada da imagem pelo satélite 56
15	Imagem Ikonos II com delimitação da região de estudo e posições dos pontos de controle e checagem obtidos com GPS . 58
16	Pontos de controle terrestres e pontos de checagem..... 62
17	Modelo Digital de Elevação da região em estudo com células de 2 m 62
18	Localização dos pontos de controle e de checagem 64
19	Análise da resultante 65
20	Região de aceitação e rejeição do teste de exatidão (PEC90 ou 90% de confiança) 68
21	Região de aceitação e rejeição do teste de precisão (PEC90 ou 90% de confiança) 69
22	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controle terrestres, MDE de 2 m e modelo das razões de polinômios..... 77
23	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controles, MDE de 5 m, e modelo das razões de polinômios..... 78
24	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controles, MDE de 10 m, e modelo das razões de polinômios..... 79
25	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controles, MDE de 20 m, e modelo das razões de polinômios..... 80
26	RMSs e médias dos valores absolutos das deformações em abscissas (E) e ordenadas (N), e das deformações resultantes, obtidos com os pontos de checagem medidos nas imagens corrigidas, utilizando-se 49 pontos de controle terrestres para os quatro MDEs testados 81

	Página
27	Deformações médias, RMS e máximas para os quatro MDE testados..... 81
28	Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de transformação obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e o modelo polinomial simples 84
29	Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortorretificação obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e o modelo das razões de polinômios..... 85
30	Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortorretificação obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e o modelo rigoroso 86
31	RMSs e médias dos valores absolutos das deformações em abscissas (E) e ordenadas (N), das deformações resultantes, e deformações resultantes máximas obtidos com os pontos de checagem calculados com os parâmetros de transformações obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e os modelos: polinomial simples, razões de polinômios e rigoroso 87
32	Deformações resultantes dos pontos de checagem na imagem bruta e nas imagens corrigidas obtidas com 49 pontos de controle terrestres e aplicação dos três métodos: Rigoroso (RIG), Razões de Polinômios (RP) e Polinomial (Polin) 89
33	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controles, MDE de 2 m e modelo das razões de polinômios..... 90
34	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controle terrestres, MDE de 2 m e modelo rigoroso..... 91
35	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com correção realizada com 49 pontos de controle terrestres e aplicação do modelo polinomial simples 92
36	Sentido das deformações resultantes: na imagem bruta (ampliada 5x), na imagem com correção geométrica simples (ampliada 10x) e nas imagens ortorretificadas pelos métodos das razões de polinômios e rigoroso (ampliada 100x) 93

37	RMSs e Médias dos valores absolutos das deformações em abscissas (E) e ordenadas (N), das deformações resultantes, e deformações resultantes máximas obtidos com os pontos de checagem medidos nas imagens corrigidas, utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e os modelos: polinomial simples, razões de polinômios e rigoroso	94
38	Deformações médias, máximas, mínimas e RMS resultantes das imagens corrigidas pelos modelos: polinomial simples (pol49), razão de polinômios (RP49) e método rigoroso (Rig49) e da imagem bruta.....	96
39	Avaliação da qualidade das coordenadas: calculadas utilizando os parâmetros de ortorretificação e medidas na ortoimagem resultante da aplicação do método das razões de polinômios.....	99
40	Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortorretificação obtidos utilizando-se 11 pontos de controle terrestres e o modelo das razões de polinômios.....	101
41	Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortorretificação obtidos utilizando-se 25 pontos de controle terrestres e o modelo das razões de polinômios.....	102
42	Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortorretificação obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e o modelo das razões de polinômios.....	103
43	RMSs e Médias dos valores absolutos das deformações em abscissas (E) e ordenadas (N), das deformações resultantes, e deformações resultantes máximas obtidos com os pontos de checagem calculados com os parâmetros de transformações obtidos utilizando-se 11, 25 e 49 pontos de controle terrestres e o modelo razões de polinômios	104
44	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem obtidos na ortoimagem gerada com MDE de 2 m, método das razões de polinômios e 11 pontos de controle terrestres.....	105
45	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem obtidos na ortoimagem gerada com MDE de 2 m, método das razões de polinômios e 25 pontos de controle terrestres.....	106

	Página	
46	Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem obtidos na ortoimagem gerada com MDE de 2 m, método das razões de polinômios e 49 pontos de controle terrestres.....	107
47	Médias e RMS nas abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes, e somas das deformações em E e N obtidas nas imagens ortorretificada usando 49, 25 e 11 pontos de controle terrestres..	108
48	Deformação média, RMS e deformação máxima para as imagens ortorretificada usando 49, 25 e 11 pontos de controle terrestres.....	108
49	Avaliação da qualidade das coordenadas: calculadas utilizando os parâmetros de ortorretificação e medidas na ortoimagem resultante da aplicação do método das razões de polinômios e 11 pontos de controle terrestres	110
50	Avaliação da qualidade das coordenadas: calculadas utilizando os parâmetros de ortorretificação e medidas na ortoimagem resultante da aplicação do método das razões de polinômios e 25 pontos de controle terrestres	110
51	Avaliação da qualidade das coordenadas: calculadas utilizando os parâmetros de ortorretificação e medidas na ortoimagem resultante da aplicação do método das razões de polinômios e 49 pontos de controle terrestres	111
52	Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem bruta	112
53	Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem resultante de georreferenciamento expedito (ou transformação polinomial simples).....	112
54	Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem resultante de georreferenciamento rigoroso (ortorretificação).....	113
55	Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem ortorretificada com falha na definição do sistema geodésico dos pontos de controle terrestres	113
56	Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem ortorretificada com falha na definição do sistema geodésico do MDE	114

	Página
57 Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem ortorretificada com falha na altitude dos pontos de controle terrestres	114
58 Superposição de todas as situações ilustradas anteriormente	115
59 Mapa das classes de cobertura e uso da terra e respectivos imóveis rurais na área de estudo	116
60 Imóveis rurais e suas áreas de preservação permanentes delimitadas na área de estudo.....	121
61 Mapeamento das classes de cobertura e uso das terras situadas em áreas de preservação permanente.....	121
62 Mapeamento das áreas de cobertura florestal na área em estudo.....	129
63 Modelo de planta de imóveis rurais. Fonte: Manual de georreferenciamento – INCRA.....	134

RESUMO

GRIPP JUNIOR., Joel, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009. **Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação em cadastro técnico rural e mapeamento de áreas de preservação permanente e reservas legais**. Orientador: Vicente Paulo Soares. Co-orientadores: Agostinho Lopes de Souza e José Marinaldo Gleriani.

As imagens orbitais de alta resolução espacial, além da riqueza de informações interpretativas, após serem submetidas a correções geométricas, permitem a extração de informações geométricas (ângulos, distâncias e áreas). Diferentes métodos de correções podem ser utilizados para este fim. Se o método utilizado corrige a influência do relevo, ele realiza a ortorretificação da imagem, e ela passa a servir como carta (ou mapa). O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a qualidade posicional e o potencial para uso em mapeamento cartográfico das ortoimagens oriundas do sensor Ikonos II, utilizando o produto comercializado na forma mais barata (tipo GEO), sobre uma região montanhosa da Zona da Mata de Minas Gerais. No presente trabalho, além de apresentar os diferentes métodos de correção, foram realizadas análises com uma imagem Ikonos II com resolução espacial de 1 m, de uma região montanhosa envolvendo parte dos municípios de Araponga, Canaã e Ervália. As análises realizadas incluem: Influência da resolução do modelo digital de elevação na ortorretificação; Análise comparativa dos métodos Polinomial Simples, Razão de Polinômios e Método Paramétrico (ou

Rigorous); Influência do número de pontos de controle terrestres na ortorretificação; Influência dos sistemas geodésicos e de coordenadas geográficas nos mapeamentos cartográficos originados de imagens de satélites. Para verificar os resultados realizaram-se análises estatísticas com aplicação dos testes *t de Student* e *Qui-Quadrado* necessários para a análise da qualidade cartográfica das ortoimagens. A maioria das ortoimagens geradas apresentou Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro-Padrão Classe A para a escala 1:5.000, mediante as normas vigentes no Brasil para a análise de qualidade cartográfica. Verificou-se que 11 pontos de controle terrestres bem distribuídos ao longo da imagem, são suficientes para obter um bom resultado com aplicação do modelo razão de polinômios. Foi realizada também uma análise usando uma ortoimagem para o mapeamento de 3.590,8834 ha, onde foram delimitadas as linhas divisórias de 151 imóveis rurais com os correspondentes usos e cobertura da terra. Em seguida foi feita uma análise de conflito de uso sob o aspecto ambiental, confrontando o mapa de uso com o mapa das áreas de preservação permanentes, chegando também em um diagnóstico quanto às áreas de reservas legais da região. Verificou-se que 54% das áreas analisadas encontram-se situadas em áreas de preservação permanentes, conforme dispõe a resolução 303 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, e apenas 13 imóveis atenderiam a demarcação de Reserva Legal por possuírem mais que 20% das coberturas florestais fora de área de preservação permanente.

ABSTRACT

GRIPP JUNIOR., Joel, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2009.
Orthorectification of high- resolution images for application in rural technical cadastral and mapping of permanent preservation and legal reserve areas. Adviser: Vicente Paulo Soares. Co-advisers: Agostinho Lopes de Souza and José Marinaldo Gleriani.

Besides the vast interpretative information generated after being submitted to geometric corrections, high spatial resolution orbital images allow extracting geometric information (angles, distances and areas). Different correction methods can be used for this purpose. If the method used corrects relief influence, it carries out image orthorectification, and it can be used as a map. The overall objective of this research was to evaluate the positional quality and potential use in cartographic mapping of the orthoimages originated from the Ikonos II sensor, utilizing the commercialized product in the least expensive form (GEO type) on a mountainous region in Zona da Mata-Minas Gerais. Besides presenting the different correction methods, analyses were carried out in this study, using an Ikonos II image with spatial resolution of 1 m on a mountainous region including the municipalities of Araçuaia, Canaã and Ervália. The analyses included: Influence of the digital elevation model resolution on orthorectification; Comparative Analysis, Simple Polynomial Methods Analysis, Polynomial Ratio, Parametric Method (or Rigorous); Influence of the Number of Terrestrial Control Points in Orthorectification; Influence of the Geodesic Systems and Geographic Coordinates on the

Cartographic Mapping originated from Satellite Images. To verify the results, statistical analyses were carried out by applying the Student t test and the *Qui-Square* test required for the orthoimage cartographic quality analysis. Most orthoimages generated presented a Cartographic Exactness Standard and Class A Standard Error at 1:5,000 scale, according to the current Brazilian norms for cartographic quality analysis. It was verified that 11 terrestrial control points well-distributed along the image are sufficient to obtain a good result applying the polynomial ratio model. An analysis using an orthoimage for the mapping of 3.590,8834 ha was also used, delimiting the dividing lines of 151 rural properties with the corresponding uses and land cover. A use conflict analysis under the environmental aspect was also conducted, confronting the map used with the permanent preservation areas map, also reaching a diagnosis in relation to the legal reserve areas in the region. It was verified that 54% of the areas analyzed are permanent preservation areas, according to the resolution 303 of the Environment National Council and that only 13 properties would meet the Legal Reserve demarcation as they possess more than 20% of forest cover outside the permanent preservation area.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

Com a publicação da Lei Federal nº 10.267, de 28 de agosto de 2001, ficou instituído o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais – CNIR, tornando-se obrigatório o georreferenciamento dos mesmos, em que as coordenadas que definem os limites dos imóveis, bem como as posições das reservas legais e áreas de preservação permanente devem estar referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro.

Entre as finalidades da criação desta legislação, têm-se a busca de soluções para problemas relacionados a limites de propriedades rurais, e a integração entre o Registro Imobiliário e o Cadastro de Imóveis Rurais. Como consequência da implantação da legislação, tem-se a possibilidade de realizar um mapeamento georreferenciado dos imóveis rurais, elemento fundamental para implantação de um Sistema de Informações Geográficas - SIG. Além do mapeamento, outras informações a respeito dos imóveis podem ser organizadas e introduzidas nos bancos de informações dos SIGs, permitindo que sejam realizadas de forma eficiente as mais diversas análises a respeito de imóveis rurais.

Para a realização do georreferenciamento, tornou-se obrigatório o uso do Sistema de Posicionamento Global (GPS), que permite a definição de limites de propriedades rurais numa forma que pode ser tida como

“perfeitamente conhecida” (GOMES, 2004). Outras vantagens importantes para o cadastro podem ser alcançadas integrando-se o conhecimento dos limites dos imóveis com a riqueza de informações que as imagens de satélites de alta resolução proporcionam.

Para a preservação do meio ambiente, e atendimento à legislação ambiental, diversas providências têm sido tomadas, entre elas, a obrigatoriedade da instituição de reservas legais nas propriedades rurais, bem como a delimitação das áreas de preservação permanentes. Embora estas legislações já estejam em vigor, elas ainda não estão sendo cobradas, na íntegra. Na hipótese da cobrança plena destas exigências, qual seria o impacto sobre os imóveis rurais? E qual seria o ganho ambiental?

É tarefa do homem conservar os fragmentos florestais que ainda restam, consolidando a conservação e uso econômico de seus bens e serviços. Para isso, no entanto, se faz necessário prover estudos que busquem conhecer esses ambientes em detalhes, utilizando-se das tecnologias e técnicas existentes (GANDOLFI *et al.*, 1995).

O sensoriamento remoto tem se constituído numa tecnologia, que tem merecido especial atenção em estudos que necessitam de maiores escalas, como os que relacionam as transformações de paisagens, desmatamentos, e fragmentação de áreas florestais. Esse fato se faz realidade a partir do advento de sensores que apresentam melhor resolução espacial, como o IKONOS II, com até 1 m de resolução espacial no modo pancromático e 4 m no modo multiespectral, incluindo o espectro visível e parte do infravermelho refletido.

Com a Lei Federal nº 10.267/2001, tornou-se obrigatória a utilização de informações geodésicas ou geográficas de linhas divisórias dos imóveis rurais em todas as transações cartoriais, possibilitando, com isto, a implantação de tecnologias digitais de mapeamentos. Para as mais diversas finalidades de um cadastro técnico rural, o mapeamento contendo somente linhas divisórias não foi suficiente, daí a necessidade de estudos de técnicas que permitam a agilização na produção de outras informações a respeito dos imóveis.

Uma grande vantagem das imagens de alta resolução é exatamente a possibilidade do mapeamento cartográfico com riqueza de informações, mas para este objetivo as imagens devem ser transformadas em ortoimagens com característica cartográfica, daí a importância do domínio desta tecnologia.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a qualidade posicional e o potencial para uso em mapeamento cartográfico das ortoimagens oriundas do sensor Ikonos II, utilizando o produto comercializado na forma mais barata (tipo GEO), sobre uma região montanhosa da Zona da Mata de Minas Gerais.

1.2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o uso de Modelos Digitais de Elevações com diferentes resoluções associado ao método das razões de polinômios, para ortorretificação da imagem Ikonos.

- Avaliar três métodos matemáticos utilizados em procedimentos de georreferenciamento da imagem Ikonos: o método polinomial simples, o método das razões de polinômios, e o método paramétrico (ou Rigoroso).

- Avaliar a influência do número e distribuição de pontos de controle terrestres, associados ao método das razões de polinômios na ortorretificação da imagem.

- Avaliar a influência de sistemas e elementos geodésicos de uso comum na comunidade técnica em transformações tipo ortorretificações de imagens de sensores orbitais.

- Identificar e mapear as propriedades rurais que compõem uma amostra de trabalho;

- Identificar e quantificar na amostra de trabalho as principais classes de uso e cobertura da terra.

- Identificar e quantificar na amostra de trabalho as Áreas de Preservação Permanentes e Reservas Legais;

- Identificar e quantificar na amostra de trabalho o uso da terra em desacordo com Legislação Ambiental.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O cadastro técnico rural

Por uma forma clássica pode-se definir cadastro técnico rural como sendo o conjunto de informações relativas a cada imóvel rural e que podem ser representadas em forma de mapas, fichas individuais, que são necessárias e suficientes para as apreciações das condições de sua titulação; informação do uso dado às terras; condições de ocupação; outras informações de natureza socioeconômica que se tornarem necessárias em nível de propriedade. Atualmente, o uso dos recursos da informática pode agilizar este processo (SALGADO, 2000).

A legislação no cadastro técnico rural deve definir e assegurar a propriedade e para isto é necessário determinar e registrar as divisas e a localização exata das linhas divisórias dos imóveis rurais (SALGADO, 2000).

Silva e Loch (1996) ressaltam que o cadastro técnico multifinalitário rural corresponde a um conjunto de mapas temáticos e informações descritivas sobre uma base cartográfica. Os dados cadastrais que podem ser descritivos ou posicionais devem ser confiáveis a todo o momento, caracterizando, portanto, a manutenção como uma atividade vital, durante a implantação do sistema cadastral.

O Estatuto da Terra (Lei Federal nº 4.504, de 30 de novembro de 1964) e a Lei nº 8.629, de fevereiro de 1993 definem imóvel rural como sendo o

prédio rústico de área contínua, qualquer que seja a sua localização, que se destine ou possa se destinar à exploração agrícola, pecuária, extração vegetal, florestal ou agroindustrial.

Em termos conceituais, considera-se como um único imóvel, uma ou mais áreas confinantes, registradas ou não, pertencentes ao mesmo proprietário ou posseiro, de forma individual ou em comum (condomínio ou com posse), mesmo na ocorrência das hipóteses: a) estar situado total ou parcialmente em um ou mais municípios; b) estar situado total ou parcialmente em zona rural ou urbana; c) ter interrupções físicas, como cursos d'água e estradas, desde que seja mantida a unidade econômica, ativa ou potencial (TEIXEIRA, 2005).

2.1.1. O cadastro técnico rural no Brasil

No Brasil, o Cadastro Rural foi instituído pelo Estatuto da Terra em 1964, o qual regulamentava os direitos e as obrigações concernentes aos bens imóveis rurais; entre outros, previa a execução de reforma agrária e promoção da política agrícola (Art. 1) e assegurava a todos a oportunidade de acesso à propriedade da terra, condicionada pela sua função social (Art. 2). Um cadastro declaratório era realizado por meio do apoio das Prefeituras municipais que auxiliavam a coleta das informações, não tendo sido, contudo efetivada em sua totalidade.

Em 1965, o Art. 52 do Estatuto da Terra recomenda que o cadastro deve ser atualizado de cinco em cinco anos, sendo aperfeiçoados os métodos de apuração dos dados pelo uso de fotografias aéreas das áreas já cobertas. As leis citadas asseguravam a todos a oportunidade de acesso a propriedade da terra, condicionada pela sua função social. Conforme o INCRA (1992), neste período cadastrou-se, através de formulários declaratórios para proprietários, parceiros e arrendatários.

Em 1970, foi criado o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, que fez com que se tornasse necessário reestruturar o sistema cadastral do país. Para isto, o Governo colocou em prática, em 1972, a Lei nº 5.868, que tratava do Sistema Nacional de Cadastro Rural e realizava o primeiro cadastramento geral, o qual compreendia o Cadastro de Imóveis

Rurais, o Cadastro de Propriedades e Detentoras de Imóveis Rurais, o Cadastro de Parceiros Rurais e o Cadastro de Terras Públicas. Estes cadastros tinham por objetivos promover a integração e sistematização da coleta, pesquisa e tratamento de dados e informações sobre o uso e posse da terra (SALGADO, 2000).

No final da década de 1970 houve o segundo recadastramento com a primeira tentativa de registrar uma coordenada geográfica do imóvel no formulário de coleta e posterior lançamento de cartas. Embora amplamente contemplados no Estatuto da Terra, o Cadastro Rural não se efetivou em sua totalidade, sendo desenvolvido de forma declaratória (SALGADO, 2000).

Em meados de 1992 foram efetuadas as atualizações, depois de quinze anos sem revisões, envolvendo inclusões e alterações de dados, sendo as demais informações, do ano agrícola de 1977/78. Nesta data, adotaram-se novos formulários de cunho declaratório com a finalidade de integrar dados gráficos. Os avanços tecnológicos deste período e os tratamentos de informações não foram absorvidos pelos órgãos gestores do cadastro, tornando o sistema obsoleto (SALGADO, 2000).

A partir desta data, através da Instrução Especial nº 45, de 15 de julho de 1992, aprovada na mesma data pela Portaria Ministerial nº 180, o INCRA passa a gerar estatísticas Cadastrais visando as ações de planejamento e as formulações de diagnósticos cadastrais (SALGADO, 2000).

Em 1996, o INCRA criou o Sistema de Informações Rurais (SIR), que é estruturado com sistema de dados gráficos e literais, integrados e georreferenciados, apresentando-se como um novo modelo de sistema de informações que objetiva administrar, com eficácia, a questão da posse e uso da terra no Brasil (SALGADO, 2000).

Recentemente, foi instituída a Lei Federal nº 10.267/2001, que tornou obrigatório o uso do georreferenciamento com a adoção da tecnologia GPS (Sistema de Posicionamento Global), a qual permite determinar a localização precisa das delimitações dos imóveis rurais. Com o avanço do uso do sensoriamento remoto com imagens de satélites tornou-se mais fácil o monitoramento do uso da terra no Brasil (SALGADO, 2000). Na atualidade, o cadastro de imóveis rurais continua parcialmente realizado de forma declaratória pelos proprietários de imóveis com menos de 500 ha, sendo já

exigido para aqueles com área maior os procedimentos constantes nas normas de georreferenciamento.

Segundo Loch (2007), o Sistema Nacional de Cadastro Rural é composto pelo cadastro de imóveis rurais, pelo cadastro de proprietários de imóveis rurais, cadastro de arrendatários e parceiros e pelo cadastro de terras públicas. O autor afirma também que devido à estrutura centralizada existente no Brasil, é raro encontrar dados correspondentes ao Cadastro Rural nos municípios, e que os governos locais tendem a realizar o mapeamento de seu território rural em escala menor que a utilizada para as áreas urbanas. Na maioria dos casos, os mapeamentos existentes são realizados com prioridade de representação do espaço físico e infra-estrutura, desconsiderando a identificação das parcelas ou unidades imobiliárias rurais.

Os dados que devem constar em um Cadastro Rural se referem ao detentor e ao imóvel (dimensões, localização, produção agrícola e pecuária, distribuição das áreas de uso e valor), os quais deveriam ser suficientes para refletir, de forma efetiva, todos os territórios rurais (LOCH, 2007). Atualmente, estas informações são colhidas a partir de informações prestadas pelos proprietários junto a Declaração do Imposto Territorial Rural, e podem não refletir a realidade devido à subjetividade das declarações que na maioria dos casos são desacompanhadas de documentos cartográficos.

Segundo o manual de orientações para a realização da Declaração de Cadastro de Imóveis Rurais de 2008, as informações a serem prestadas pelos proprietários se referem aos dados pessoais e de relacionamentos dos proprietários, dados sobre a estrutura e sobre o uso dos imóveis.

Dados pessoais e de relacionamento: refere-se às informações das pessoas físicas ou jurídicas, bem como os dados de sua vinculação com o imóvel rural (propriedade, posse, arrendamento, parceria e comodato). Para as pessoas físicas ou jurídicas são necessárias as informações de identificação e de localização, como: nome, endereço, CPF, identidade, data de nascimento, estado civil, nacionalidade, etc.

Dados sobre a estrutura: refere-se às informações sobre a estrutura do imóvel, como: área, identificação, localização, bem como sua composição relativa a desmembramentos e remembramentos, quantidades de residentes, mão-de-obra e valores do imóvel. As informações de localização solicitadas

não se referem às coordenadas geográficas ou cartográficas, e sim a dados que possam ajudar na localização do imóvel, como: distrito, povoado, colônia, núcleo, km de rodovia, etc.

Dados sobre o uso dos imóveis: refere-se às informações relativas à produção, formas de exploração e outras que permitem obter informações adicionais sobre a utilização das áreas e a destinação do imóvel. Estes dados são exigidos somente para os imóveis rurais com área total superior a quatro módulos fiscais.

Para os imóveis rurais com área total inferior a quatro módulos fiscais somente são exigidos os dados pessoais e de relacionamento e os dados sobre a estrutura dos imóveis.

O Módulo Fiscal é a unidade de medida expressa em hectares, fixada para cada município, considerando o tipo de exploração predominante no município, a renda obtida com a exploração predominante, e outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam significativas em função da renda ou da área utilizada.

O módulo fiscal é o parâmetro utilizado para classificar os imóveis rurais quanto ao tamanho, na forma da Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Por esta classificação, entende-se como pequena propriedade o imóvel rural com área compreendida entre um e quatro módulos fiscais; e média propriedade o imóvel rural com área superior a quatro e até 15 módulos fiscais.

2.1.2. Georreferenciamento de imóveis rurais: normas e legislação

Tendo por finalidade eliminar problemas relacionados a limites de imóveis rurais, assim como realizar ajustes do cadastro nacional de imóveis rurais à modernidade advinda com a disponibilidade de tecnologias digitais de mapeamento, culminando com a implantação de sistema de informações geográficas, é que vem se tentando implantar no Brasil novos procedimentos necessários para o mapeamento dos imóveis rurais. Um procedimento inicial necessário para atingir este objetivo, e que está se tentando adotar no Brasil, é passar a exigir nas transações cartoriais que envolvam imóveis rurais, que estes sejam apresentados na forma digital e amarrados a uma rede de pontos

fixos lançados ao longo do território nacional, o que constitui o denominado georreferenciamento (GOMES, 2004).

Com este objetivo foi criada a Lei Federal nº 10.267/2001, que institui o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais – CNIR, a ser gerenciado em conjunto pelo INCRA e pela Secretaria da Receita Federal, com a proposta de levantar em curto prazo, todas as propriedades rurais brasileiras. Estes levantamentos deverão ser apresentados aos Cartórios de Registro de Imóveis em coordenadas UTM, georreferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro (GOMES, 2004).

A partir da Lei nº 10.267/2001, com as suas regulamentações, instituem-se um importante instrumento de interação entre sistemas cadastral e registral. Ele também determinou que um código único do CNIR fosse atribuído pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, aos imóveis rurais; disciplinou as normas para identificação do imóvel rural, especialmente no tocante a definição de coordenadas dos vértices definidores de seus limites georreferenciados ao sistema geodésico brasileiro e estabeleceu ainda ao INCRA a tarefa de certificar a planta do imóvel rural e de seu memorial descritivo (GOMES, 2004).

Um conjunto de normas e procedimentos foi instituído pelo INCRA para a realização das atividades de campo, assim como elaboração de plantas, relatórios, memoriais descritivos, monumentação de marcos nas linhas divisórias dos imóveis, etc. Além da colocação de marcos de concreto com chapas devidamente numeradas nos extremos das linhas divisórias dos imóveis, as posições georreferenciadas destes marcos devem ser obtidas com procedimentos que conduzam a incertezas não superiores a 50 cm, o que deve ser feito com receptores GPS topográficos e geodésicos, utilizando procedimentos especiais.

No momento, encontra-se em vigor apenas a exigência do georreferenciamento de imóveis com mais de 500 ha, estando programado para 21 de novembro de 2011 o início da exigência para propriedades menores.

2.2. A cartografia cadastral rural

A elaboração e a atualização de bases cartográficas e de cartas temáticas referentes a áreas rurais podem ser realizadas a partir de levantamentos utilizando técnicas topográficas fazendo uso de estações totais com apoio GPS, ortofotografias ou a partir de imagens de satélites de alta resolução, aplicando diferentes técnicas hoje disponíveis.

Voltado para finalidades rurais, embora tenham já tido algumas sinalizações de intenções de investimentos nestas áreas, ainda faltam profissionais devidamente preparados para gerenciar os processos, tanto em instituições públicas que administram os cadastros quanto no setor privado de levantamentos (LOCH, 2007).

2.2.1. Base cartográfica rural

Com a implementação do novo Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR), através da Lei nº 10.267/2001 e do Decreto nº 4.449, que o regulamenta, pretende-se forçar a formação de bases cartográficas cadastrais rurais no país. O georreferenciamento dos vértices das linhas divisórias dos imóveis com precisão absoluta de, no mínimo 50 cm, dará rigor aos levantamentos fundiários, evitando o uso de técnicas inapropriadas para a medição e o uso de referenciais topográficos subjetivos para a localização.

Para serem completas, as bases cartográficas rurais não devem conter apenas a estrutura fundiária, mas também outras informações, como as redes viária, elétrica e outras, o relevo, além de informações temáticas e relacionadas ao meio ambiente. Para conseguir um mapeamento rural deste tipo, é necessária a utilização de diferentes tecnologias, assim como a integração de instituições.

A tecnologia a ser utilizada na definição de linhas divisórias já está bem definida, inclusive com o lançamento de normas e procedimentos presentes na Lei nº 10.267, restando apenas as exigências serem cumpridas e exigidas pelos órgãos competentes. Para o mapeamento contendo as outras informações, diferentes tecnologias podem ser aplicadas, desde levantamentos topográficos tradicionais até as restituições utilizando fotos aéreas, estando

cada vez mais próximo à possibilidade do uso de imagens de satélites de alta resolução, devido o avanço da tecnologia.

2.2.2. Cartografia temática rural

Vários são os temas que podem ser representados na cartografia rural, dependendo principalmente do uso ou finalidade do mapeamento. Loch (2007) destaca como fundamental os temas presentes em: Mapas de Glebas e, ou, Unidades Imobiliárias, Mapa de Declividade do Solo, Mapa Geológico, Mapa de Solo, Mapa de Uso do Solo, Mapa de Aptidão do Solo, e Mapa de Capacidade de Uso do Solo.

2.3. Legislação brasileira pertinente à proteção do meio ambiente

2.3.1. Áreas de preservação permanente (APPs)

As APPs foram criadas em Lei com a finalidade de evitar a degradação do ecossistema, conservar o meio ambiente e manter a qualidade de vida. Estão previstas no Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4.771/1965):

“considera-se área de preservação permanente aquela área protegida nos termos dos artigos 2º e 3º desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, não se permitindo ali exploração direta (madeira, agricultura ou pecuária), mesmo que com manejo” (BRASIL, 1965).

Nos referidos artigos do Código Florestal Brasileiro, define-se as APPs como aquelas situadas em nove tipos de ambientes: ao longo dos cursos d'água; em nascentes; no topo de elevações; nas encostas com declividade superior a 45°; nas restingas; nas bordas dos tabuleiros e chapadas; em terrenos com altitude superior a 1.800 m; nas áreas metropolitanas definidas em lei; e em áreas declaradas do Poder Público (SILVA, 1999).

Somente em 13 de maio de 2002 as APPs foram regulamentadas por meio da Resolução nº 303, do Conselho Nacional do Meio Ambiente

(CONAMA). Essa regulamentação estabelece parâmetros, definições e limites referentes às áreas de preservação permanente.

2.3.2. Reserva legal

O Código Florestal em seu artigo 1º, parágrafo 2º, inciso III, define a Reserva Legal como:

“área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas” (Brasil, 1965).

A Área de Reserva Legal (ARL) é a área obrigatória em todos os imóveis rurais, que consiste num percentual da área total do imóvel rural, onde não é permitido o corte raso da vegetação. No Art. 16 do Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4.771/1965) são definidos percentuais mínimos em função da localização dos imóveis. Aqueles situados em área de floresta localizada na Amazônia Legal, o percentual é 80%, e nas propriedades situadas em área de floresta ou outras formas de vegetação nativa localizada nas demais regiões do país, o percentual é 20%.

No mesmo artigo do Código Florestal Brasileiro, diz que a ARL deve ser averbada à margem da inscrição de matrícula do imóvel, no registro de imóveis competente, sendo vedada a alteração de sua destinação, no caso de transmissão a qualquer título, ou de desmembramento da área. Com isto, o proprietário do imóvel pode mudar, mas a área destinada para reserva legal permanece imutável.

Em 2002, entrou em vigor para o estado de Minas Gerais a Lei nº 14.309, que dispõe sobre as políticas florestais e de proteção à biodiversidade no estado, criando algumas importantes particularidades com relação à legislação federal. No seu Art. 14, ela destaca a importância da área de reserva legal, definindo sua equivalência a 20% da área total da propriedade, tal como consta na Lei Federal.

No Art. 15 desta Lei encontra-se um atenuante no que se refere ao percentual da Reserva Legal na propriedade, onde leva-se em conta o tamanho da mesma, e ainda está escrito que:

Na propriedade rural destinada à produção, será admitido pelo órgão ambiental competente o cômputo das áreas de vegetação nativa existentes em áreas de preservação permanente no cálculo do percentual de reserva legal, desde que não implique conversão de novas áreas para o uso alternativo do solo e quando a soma da vegetação nativa em área de preservação permanente e reserva legal exceder a:

I – 50% da propriedade rural com área superior a 50 ha, quando localizado no Polígono das Secas, e igual ou superior a 30 ha, nas demais regiões do Estado.

II – 25% da propriedade rural com área igual ou inferior a 50 ha, quando localizada no Polígono das Secas, e igual ou inferior a 30 ha, nas demais regiões do Estado.

No Art. 16 da mesma lei estadual estão escrito:

A reserva legal será demarcada a critério da autoridade competente, preferencialmente em terreno contínuo e com cobertura vegetal nativa. No seu § 1º diz: “Respeitadas as peculiaridades locais e o uso econômico da propriedade, a reserva legal será demarcada em continuidade a outras áreas protegidas, evitando-se a fragmentação dos remanescentes da vegetação nativa e mantendo-se os corredores necessários ao abrigo e ao deslocamento da fauna silvestre”.

Foi publicado no dia 22 de julho de 2008 o Decreto Federal nº 6.514, que dispõe sobre infrações e sanções administrativas ao meio ambiente que estabelece multas de R\$ 500,00 a R\$ 100.000,00 para quem deixar de averbar a reserva legal no registro de imóveis.

2.4. Métodos de obtenção de informações espaciais

Para criar ou atualizar plantas cadastrais básicas, pode-se obter dados espaciais georreferenciados a partir da transformação de dados já existentes ou a partir de métodos diretos (topografia e, ou, geodésia) ou métodos indiretos (sensoriamento remoto).

2.4.1. Topografia – avanços recentes da topografia

Apesar de se ter notícias de levantamentos topográficos realizados há mais de 3.000 anos atrás, nos últimos anos, com o desenvolvimento da eletrônica e da computação, surgiram os equipamentos eletrônicos para medir ângulos e distâncias, proporcionando um grande avanço nas tecnologias de obtenção e processamento dos dados de campo. Medidores eletrônicos de distâncias viabilizaram a medição de distâncias com precisão. Uma solução mais completa para a coleta e armazenamento de dados oriundos da mensuração apareceu com o uso das estações totais, que reúne num único equipamento um “teodolito eletrônico e um distanciômetro eletrônico”, o que se constituiu em um marco extremamente significativo em toda a história da topografia. O aparecimento desses equipamentos, aliados à automação de cálculos e desenhos, fundamenta o conceito de “topografia digital” permitindo que todas as etapas necessárias à elaboração de uma carta topográfica sejam efetuadas utilizando dispositivos digitais (SOUZA, 2001).

Assim, uma estação total (*total station*) combina os componentes básicos: a medição eletrônica de distâncias e de ângulos, um microprocessador, e um dispositivo próprio para armazenamento de dados, formando um único equipamento. Constitui-se, assim numa excelente ferramenta para trabalhos de natureza cadastral, inclusive por minimizar a atuação de um operador com anotação, inserção de dados no computador para cálculos, etc.

Nos microprocessadores das estações totais podem existir diferentes programas internos que possibilitam uma alta produtividade nos trabalhos de campo e facilidade no manuseio e transmissão dos dados. Uma vez transferidos os dados para o computador, pode-se utilizar diferentes programas de topografia, que permitem a realização de cálculos e desenhos digitais com excelentes qualidades.

2.4.2. Sistema de Posicionamento Global (GPS)

O GPS ou NAVSTAR-GPS (*NAVigation Satellite with Time And Ranging*) é um sistema de radionavegação por satélite desenvolvido pela Força Aérea dos EUA durante as décadas de 1970 e 1980 e foi declarado totalmente em

operação na década de 1990. O seu objetivo foi o de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas.

Como o nome sugere, o GPS é um sistema de abrangência global. Esse sistema tem facilitado todas as atividades que necessitam de posicionamento, fazendo com que algumas concepções antigas pudessem ser postas em prática (GALERA, 2000).

A concepção do sistema GPS permite que um usuário, a qualquer hora e em qualquer local da superfície terrestre, ou próximo a ela, tenha à sua disposição, no mínimo, quatro satélites para serem rastreados. Esse número de satélites permite que se realize um posicionamento em tempo real. A grande vantagem desta tecnologia em relação às tecnologias convencionais, é a não necessidade de intervisibilidade entre estações, além de poder ser utilizado sob quaisquer condições climáticas (GALERA, 2000).

O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distâncias entre o usuário e no mínimo quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites (GALERA, 2000).

Enquanto na topografia se mede diretamente ângulos e distâncias, com o GPS se obtém matematicamente as coordenadas espaciais do centro de uma antena coletora, através da resolução de sistema de equações que envolvem coordenadas e outros elementos (SOUZA, 2001).

O uso desta tecnologia está cada vez mais difundido. Existem rastreadores que trabalham com diferentes confiabilidades, podendo-se trabalhar com equipamentos desenvolvidos com a finalidade de se realizar navegação (receptores de navegação) e os receptores topográficos ou geodésicos que dispõem de ferramentas que permitem colher informações sobre posições de linhas e, ou, pontos que constituem os elementos básicos de um desenho digital resultante de um cadastro multifinalitário, realizado tanto no meio urbano como no rural.

As possibilidades de utilização do GPS são extremamente amplas para usos em geodésia, topografia, navegação e áreas afins. Podem ser usados em controle de levantamentos cadastrais, problemas de engenharia, navegação de precisão, fotogrametria, sensoriamento remoto, entre outros (SOUZA, 2001).

Para o processamento dos dados rastreados usando GPS podem-se utilizar diferentes metodologias, umas que conduzem a resultados compatíveis à elaboração de mapas em pequenas escalas (por exemplo, 1:100.000 com rastreadores de navegação), grandes escalas (por exemplo 1:500 com GPS topográficos ou geodésicos), e até desenhos na forma digital (na escala 1:1) ou pontos de redes de referencias cadastrais para as mais diversas finalidades, podendo servir inclusive para acompanhamento de obras de engenharia (SEGANTINE, 2005).

2.4.3. Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto utiliza sensores a bordo de aeronaves ou satélites, equipamentos para transmissão, recepção, armazenamento e processamento de dados, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre nos domínios espacial, temporal e físico, através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e os objetos presentes na superfície do planeta Terra (ROCHA, 2000).

A evolução do sensoriamento remoto através de sensores mais avançados, proporcionando imagens com resoluções cada vez melhores, associadas com as técnicas de extração de informações oriundas do processamento de imagens, ampliou sua aplicabilidade a diversas áreas do conhecimento: levantamento de recursos ambientais, análise ambiental, geologia, agricultura, florestas, estudos urbanos, entre outras (ROCHA, 2000).

O sensoriamento remoto tem sido cada vez mais utilizado na produção de mapas da cobertura terrestre e no monitoramento de recursos naturais. Os dados obtidos a partir de satélites propiciam coberturas repetitivas da superfície terrestre em intervalos relativamente curtos. Esses dados podem ser processados rapidamente, por meio de análise associadas aos sistemas computacionais (RIBEIRO, 2003).

Os primeiros satélites faziam a coleta de dados sobre a superfície da Terra contendo a bordo sensores com resolução espacial relativamente pobre. Por exemplo, o MSS (*Multispectral Scanner Subsystem*) dos satélites Landsat-1, 2 e 3 foi concebido com resolução espacial de 80 m por 80 m, o que equivale a uma área de 6.400 m² no solo. Hoje, existem satélites como o IKONOS, que

carregam a bordo sensor cuja resolução espacial, no módulo pancromático, é de 1 m x 1 m. Recentemente, foi colocado na órbita terrestre outro satélite com alta resolução espacial, o Quickbird, com resolução espacial de 61 cm x 61 cm, ou seja, menos de um metro quadrado (MOREIRA, 2004).

À medida que as técnicas de utilização e os sensores geradores das imagens de satélites de alta resolução vão se aprimorando, a sua utilização para o mapeamento cadastral rural em áreas de minifúndios vai se tornando cada vez mais utilizável. Elas ainda não estão atendendo a legislação no que diz respeito à precisão posicional de 0,5 m exigido pela Lei nº 10.267, para definição de vértices das linhas divisórias, porém a riqueza de informações da imagem compensa e complementa um mapa que possui apenas linhas e pontos.

2.5. Classificação de imagens digitais

Classificar uma imagem digital significa associar a cada pixel da imagem um rótulo ou tema. Desta forma, uma imagem numérica é transformada numa imagem temática, onde o número de categorias é definido pelo próprio analista. Segundo Novo (1992), a análise de uma imagem digital pode ser enquadrada em dois grandes grupos: análise digital e análise visual. Dentro do grupo da análise digital pode ser citada ainda a classificação supervisionada e classificação não-supervisionada.

Um terceiro método chamado de classificação híbrida pode também ser empregado. Trata-se da associação de algoritmos não-supervisionado e supervisionado. Exige do analista o conhecimento da área de estudo, mesmo que seja no final do processo, permitindo o agrupamento de pixels que podem ser convenientemente tratados como classes distintas (RIBEIRO, 2003).

Segundo Moreira (2004), a classificação visual de imagens é realizada utilizando o raciocínio lógico, dedutivo e indutivo para entender e definir o comportamento dos elementos presentes nas imagens, levando em conta elementos básicos da interpretação qualitativa, como: forma, tamanho, tonalidade, cor, textura padrão, sombra, adjacências, etc. Para esta operação pode-se realizar inicialmente uma individualização de áreas que apresentam os mesmos elementos básicos da interpretação qualitativa, e numa etapa

posterior, realizar um trabalho de campo para reconhecimento ou comprovação in loco do tipo de ocupação da terra que ocorre em cada uma das feições ou classe de cobertura e uso da terra mapeada.

Saraiva (2003) descreve os elementos da interpretação clássica de forma resumida como:

- tonalidade: a luz solar incide sobre os objetos e estes a refletem sob diferentes ângulos e intensidades, o que causa tonalidades diferentes entre as imagens da cena, permitindo, assim, a separação dos elementos;

- tamanho: a superfície ou volume de um objeto em relação ao outro auxilia na identificação dos elementos;

- textura: é a frequência de mudança de tonalidade dentro de uma imagem produzida por um agregado de componentes que isoladamente não são distinguidos na fotografia, devido ao seu pequeno tamanho;

- forma: reconhecimento de formas dos objetos na imagem conduz a dedução (diferença entre estrada de ferro e rodovia);

- sombra: ocorre quando um objeto se interpõe e impede que os raios solares alcancem a área dele. A sombra pode delinear o perfil do objeto, ajudando a defini-lo ou escondê-lo devido à falta de luz; e

- padrão: as características dos elementos e suas adjacências nos permitem sua identificação (diferença entre duas áreas de plantio).

2.6. Sistemas geodésicos e datum

Para representar os elementos da superfície terrestre com qualidade geométrica podem-se realizar mensurações diretamente na superfície física da terra ou a partir de imagens de satélites ou fotografias aéreas. Não existe um modelo matemático que venha descrever pontos na superfície física da Terra, por isto esta é substituída por uma forma geométrica que permite o cálculo exato de posições. Assim, tendo pontos na superfície de um modelo com perfeita definição matemática, pode-se projetar estes pontos em alguma outra superfície que pode ser planificada. Este é o problema fundamental da cartografia, ou seja, levar um ponto de uma superfície com curvatura para uma superfície plana (GRIPP e SILVA, 2001).

Para fazer esta operação, torna-se necessário ter conhecimento de como proceder para obter uma posição de um ponto na superfície terrestre, levar este ponto para o modelo matemático terrestre, e posteriormente projetá-lo para uma superfície que permita uma planificação, ou seja, uma representação num plano. A geodésia cuida da primeira atividade e a cartografia da segunda (GEMAEL, 1984).

A geodésia é a ciência que determina, por meio de observações, a forma e o tamanho da Terra, as coordenadas dos pontos, comprimentos e direções de linhas na superfície terrestre e as variações da gravidade terrestre. Na geodésia, estudam-se as superfícies matemáticas que representam a Terra, ou seja, o elipsoide e o esferoide (GEMAEL, 1984).

A cartografia é a ciência e a arte de expressar graficamente, por meio de mapas e cartas, o conhecimento humano da superfície da Terra. É ciência porque essa expressão gráfica, para alcançar exatidão satisfatória, procura um apoio científico que se obtém pela coordenação de determinações astronômicas e matemáticas com topográficas, geodésicas e aerofotogramétricas (GEMAEL, 1985).

Assim, para uma aplicação consistente da cartografia, torna-se necessário ter conhecimento básico de geodésia a respeito de:

- modelos matemáticos que representam a Terra (elipsoides e esferoide);
- posicionamento de pontos projetados na superfície do modelo matemático (coordenadas geodésicas curvilíneas – latitude, longitude e altitude), coordenadas geodésicas tridimensionais (X, Y, Z), etc.; e
- sistemas referenciais geodésicos (SIRGAS 2000, SAD 69, Córrego Alegre, WGS-84, etc.).

2.6.1. Sistemas referenciais geodésicos

Um dado georreferenciado é aquele que possui coordenadas amarradas a um modelo matemático que representa a Terra, ou seja, latitude, longitude e altitude. Em algumas situações são conhecidas coordenadas cartográficas que podem ser convertidas em coordenadas geográficas. Mas para conhecer as coordenadas geográficas de um ponto, é necessário também saber em qual

sistema de referência e modelo matemático ele foi obtido, ou seja, é necessário conhecer bem em qual sistema geodésico ele se encontra (GEMAEL, 1984).

Um sistema geodésico é definido por um modelo matemático da Terra ou elipsoide e o posicionamento deste em relação à Terra. O elipsoide pode ser geocêntrico onde o seu centro coincide com o centro de massa da Terra, ou então, quase geocêntrico, onde ele é posicionado, adaptando-se ao território a ser utilizado (GEMAEL, 1984), conforme ilustrado na Figura 1.

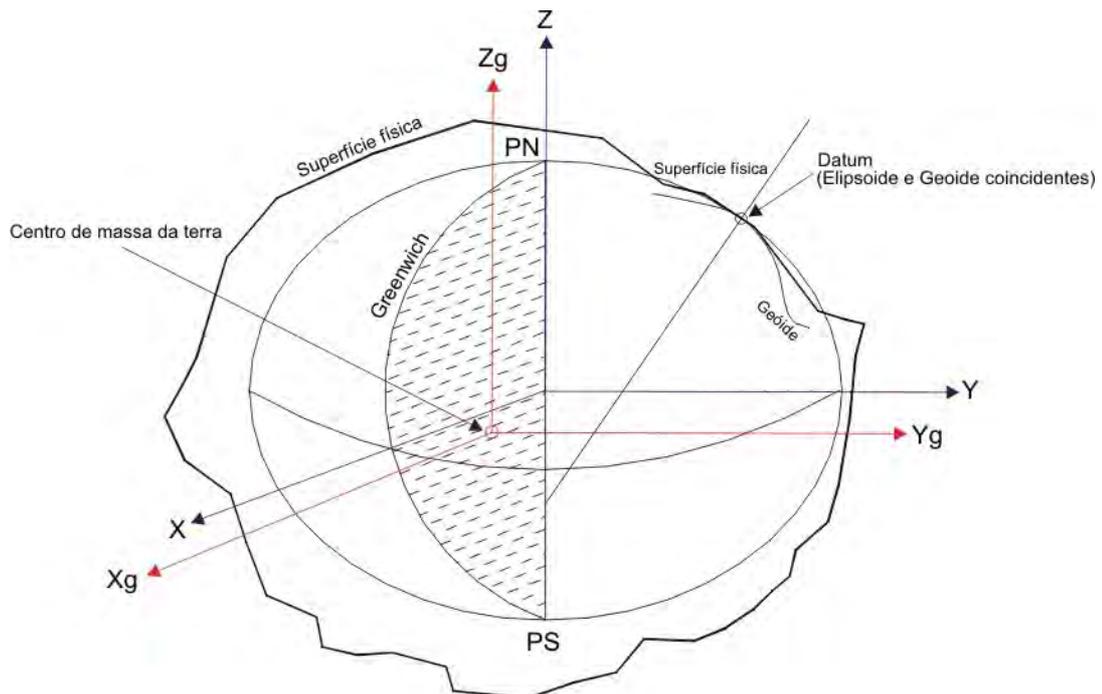


Figura 1 – Elipsoide adaptado à região. Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 1 encontra-se ilustrado um sistema geodésico geocêntrico cujos eixos coordenados $X_g Y_g Z_g$ tem origem no centro de massa da Terra, e um outro sistema geodésico $X Y Z$ que teve o elipsoide adaptado à superfície física de uma região em que foi lançado um datum (forçou-se uma coincidência entre o elipsoide e geóide). Todos os pontos de abrangência deste sistema geodésico forçosamente devem ser calculados usando pontos amarrados a este datum.

Até 1979, o Sistema Geodésico Brasileiro adotava o elipsoide de Hayford, com datum situado na localidade denominada Córrego Alegre, próximo à cidade de Uberaba, Minas Gerais (GEMAEL, 1984).

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) usado entre 1979 e o final de 2004, usava a imagem geométrica da terra como sendo o *Elipsoide de Referência Internacional de 1967* (SGR-67), cujo datum coincidia com o Datum Sul Americano – SAD-69, que está situado na localidade denominada CHUÁ, também próximo à cidade de Uberaba (GEMAEL, 1984).

Neste datum considerou-se a ondulação do geoide como sendo nula, ou seja, coincidiu-se o elipsoide ao geoide, fazendo com que o elipsoide se adaptasse ao nosso território, não importando o fato de o centro do elipsoide não coincidir com o centro de massa da Terra (GEMAEL, 1984).

Entrou em vigor no dia 25 de fevereiro de 2005 o Sistema Geodésico Brasileiro, denominado SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) em sua realização no ano de 2000. Na definição do sistema foram utilizadas estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC no ano 2000 (DALAZOANA e FREITAS, 2002).

Alem de ter o perfeito conhecimento do sistema referencial e o modelo matemático do sistema geodésico utilizado, é necessário também conhecer o geoide, que é uma superfície equipotencial (superfície de potencial gravitacional constante) e que, em média, coincide com o valor médio do nível médio das águas do mar. O Geoide é irregular e o elipsoide regular. A separação destas duas superfícies é a ondulação do geoide (ou altura do geoide). Surge daí a altitude geodésica e a altitude ortométrica. A altitude obtida com GPS é a geodésica ou geométrica e é medida ao longo de uma normal que é uma linha que passa pelo ponto e é perpendicular ao elipsoide. A altitude obtida em um nivelamento topográfico é a ortométrica, que é medida ao longo de uma vertical que é uma linha que passa pelo ponto e é perpendicular ao geoide.

O SIRGAS2000 corresponde a uma densificação da rede de referência internacional nas Américas ocorrida em maio de 2000. Desde o estabelecimento do sistema GPS, o seu Sistema Geodésico de Referência (WGS84) já passou por três atualizações, com vistas a refinar sua realização. A mais recente atualização ocorreu em 20 de janeiro de 2002. O WGS84 mais recente é essencialmente idêntico ao SIRGAS2000, ao nível de precisão de 1 cm, portanto, em termos práticos, não existem diferenças entre os sistemas SIRGAS2000 e o WGS84 (IBGE, 2005).

2.6.2. Sistemas de projeções

Diversos métodos podem ser empregados para se obter a correspondência de pontos de uma superfície matemática da Terra a uma superfície de projeção ou carta, constituindo os chamados sistemas de projeções (GRIPP e SILVA, 2001).

A teoria das projeções compreende o estudo dos diferentes sistemas em uso, incluindo a exposição das leis segundo as quais se obtém as interligações dos pontos de uma superfície (Terra ou superfície de referência) com os da outra (carta ou superfície de projeção) (GRIPP e SILVA, 2001).

Ao projetar a superfície curva para o plano, não se consegue uma solução perfeita, surgindo deformações de natureza angular, linear ou superficial. Estas deformações afetam os ângulos, os comprimentos e as áreas e, na impossibilidade de eliminá-las totalmente, podem-se evitar a deformação de uma das grandezas, e minimizar as outras, atendendo a um objetivo para o qual a representação está sendo realizada. Assim, pode-se confeccionar uma carta que não deforma área, porém deforma distâncias e ângulos, e vice-versa (GRIPP e SILVA, 2001).

Nas representações cartográficas estudam-se os diversos sistemas utilizados para a representação da superfície terrestre, considerando a curvatura e atendendo a propriedade necessária para um objetivo.

Entre os diversos sistemas de projeções, o mais utilizado e de uso consagrado é o sistema de projeção UTM (*Universal Transversal de Mercator*). No Brasil é utilizado pelos serviços de mapeamento oficiais, por norma, desde 1955 (GRIPP e SILVA, 2001).

O sistema de projeção UTM está cada vez sendo mais utilizado, haja vista ser o sistema de coordenadas de maior uso para o mapeamento, e pelo fato de ferramentas como os SIG estarem sendo cada vez mais necessários, além de fatores atuais em nosso país como a obrigatoriedade de uso de coordenadas georreferenciadas para o registro de imóveis rurais tal como é exigido pela Lei Federal nº 10.267, de agosto de 2001. Profissionais das mais diversas áreas que trabalham com posições, necessitam conhecer este tipo de coordenadas.

2.7. Imagens orbitais

As imagens orbitais são obtidas no formato raster, que é constituído de uma matriz com milhares de pixels, sendo associado a cada pixel um valor de radiância relativo à menor área da cena. Os pixels são distribuídos em forma de uma matriz (grade), em que cada célula desta matriz é representada por uma linha e coluna (x, y) e possui a ela associado um valor de média da intensidade da energia eletromagnética refletida pelos diferentes materiais presentes no pixel. Esta representação numérica da imagem permite uma grande variedade de aplicações, processamentos computacionais e técnicas de análise dos dados (SCHOWENGERDT, 1997).

Os sensores de imageamento ou varredura são compostos de sistemas óticos, que filtram a energia emitida ou refletida pelos objetos, por detectores, que detectam e produzem sinais elétricos, que são quantizados em níveis, segundo a intensidade do sinal, onde esses níveis são chamados de DNs (*digital numbers*). Estes dados são armazenados e enviados às estações de recepção em Terra, onde são reordenados em conjunto de duas dimensões, e os DNs são descritos em tons de cinza (PEDRO, 2005).

Segundo Wolf e Dewitt (2000), a maioria dos sensores utiliza um detector chamado CCD (*Charge Couple Device* – Dispositivo de Carga Acoplada), que é composto de elementos sensores pontuais, nos quais a tensão de saída é proporcional à intensidade de luz incidente.

Os dispositivos usados para detectar a energia eletromagnética refletida na produção de imagens orbitais são sensores que podem ser classificados quanto à geometria de aquisição das imagens:

- **Sensores de varredura linear eletrônica** (*pushbroom scanner*): é constituído de uma linha de detectores que produz uma imagem tal como ilustrado na Figura 2. À medida que o satélite se desloca ele vai formando uma varredura que é constituída de linhas transversais, que possuem cada uma os parâmetros de orientação exterior (X_c , Y_c e Z_c , κ , ϕ , ω), sendo X_c , Y_c e Z_c as coordenadas do centro de perspectiva no espaço objeto, e κ (yaw), ϕ (pitch), ω (roll) os ângulos eulerianos que representam as rotações necessárias para tornar os referenciais paralelos (Figura 3). Estes sensores possuem um sistema ótico com grande campo de visada e milhares de detectores para cada banda espectral;

- **Sensores de varredura mecânica** (*Whiskbroom scanner*): constituídos de um espelho ou prisma que realiza rotação mecânica, mudando o campo de visão segundo uma direção perpendicular à linha voo (Figura 4); e

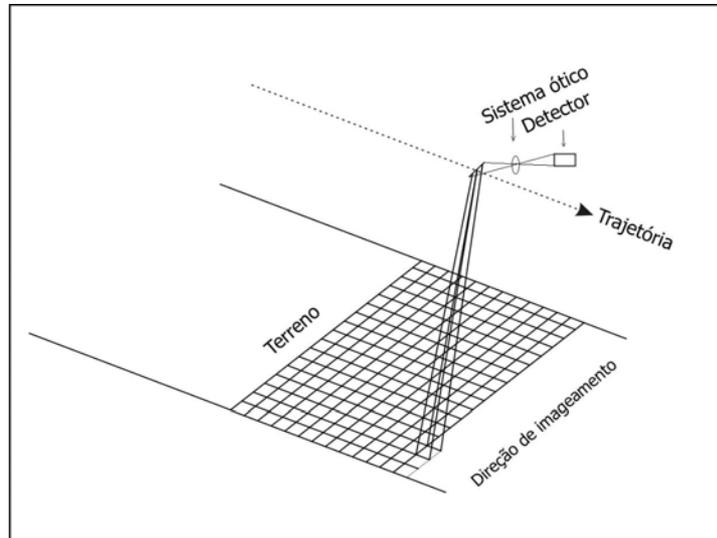


Figura 4 – Aquisição da Imagem por sensores de varredura mecânica (*Whiskbroom Scanner*). Fonte: adaptado de Wolf (2000).

- **Sensores de área ou quadro** (frame): constituídos de uma matriz de detectores capaz de capturar a imagem bidimensional em um único instante, similar à aquisição de imagens através de câmaras fotográficas analógicas (Figura 5).

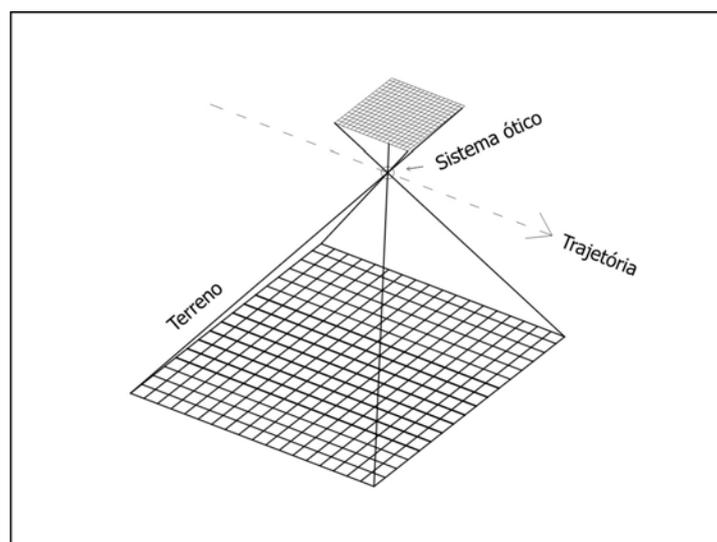


Figura 5 – Aquisição da Imagem por sensores de área ou quadro (Frame). Fonte: adaptado de Wolf (2000).

2.7.1. O satélite Ikonos

O satélite americano IKONOS foi lançado e colocado em órbita da Terra, no dia 24 de setembro de 1999, a uma altitude de 680 km. Sua órbita é heliossíncrona, e quase polar, percorrida em cerca de 98 minutos à velocidade de cerca de 7 km/s. Transporta a bordo um sensor de alta resolução, do tipo CCD, que permite a obtenção de imagens com resoluções espaciais de 4 m e 1 m. Foi o primeiro satélite a disponibilizar imagens de alta resolução para a comunidade civil. O sensor a bordo do satélite recolhe em vários canais, imagens multiespectrais e pancromáticas a uma taxa de 2.000 km² por minuto (SPACE IMAGING, 2003).

Tem a capacidade de realizar visadas fora do nadir (off-nadir) com ângulo de elevação entre 60° a 90° para qualquer azimute (SPACE IMAGING, 2003), o que permite uma taxa de revisita sobre uma mesma área, de dois a três dias, bem como possibilita a aquisição de par estereoscópico, utilizados para trabalhos de geração de MDE ou restituição altimétrica.

No Brasil estão disponíveis para comercialização, seis níveis de produtos Ikonos: Geo e sua variante Geo Ortho Kit, Standard Ortho, Reference, Pro, Precision, e PrecisionPlus.

Segundo Gisplan (2003), existem três famílias de produtos Ikonos: os georretificados, os ortorretificados e os estéreos. Os georretificados recebem apenas correção geométrica de sistema sem aplicação de pontos de controle e MDE, portanto, sem correção de relevo. Os produtos ortorretificados são gerados pela própria *Space Imaging*, segundo diferentes níveis de precisão, uns utilizando pontos de controle terrestres, outros não. Já os produtos estéreos são imagens de alta resolução espacial da mesma área geográfica, coletados de duas posições diferentes do satélite ao longo de uma mesma passagem orbital (coletas *along-track*), e com superposição de pelo menos 80%.

O produto Geo é o mais barato e com menor precisão, difere do produto Geo Ortho Kit por este vir acompanhado dos parâmetros de imageamento do sensor Ikonos no momento da tomada da imagem, e que são necessários para corrigir a imagem de suas deformações relativas ao relevo (SPACE IMAGING, 2001).

A principal diferença entre os diferentes tipos de produtos é a sua precisão planimétrica, sendo que as melhores precisões estão diretamente relacionadas com os ângulos de elevação com que a imagem é adquirida, e com a utilização de pontos de controle no seu processamento geométrico. Os produtos mais precisos (*Precision* e *Precision Plus*) são adquiridos com ângulo de elevação de 72° a 90°, e 75° a 90°, respectivamente, já os menos precisos, como é o caso dos produtos Geo e Geo Ortho Kit, de 60° a 90° (SPACE IMAGING, 2003).

2.8. Georreferenciamento e retificação de imagens orbitais

Imagens obtidas a partir de sensores remotos, sejam de plataformas aéreas ou orbitais, não possuem qualquer vínculo com a superfície terrestre no que diz respeito às coordenadas. Essas imagens brutas estão sujeitas a uma série de distorções espaciais, não possuindo precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos nela representados. Elas retratam a superfície imageada, porém cada pixel possui apenas as coordenadas da imagem, ou seja, a sua linha e coluna (i, j) necessárias para a construção da imagem na tela do computador.

Estas distorções espaciais ou geométricas podem ser classificadas em dois tipos: distorções sistemáticas ou previsíveis e as não sistemáticas ou aleatórias. As distorções sistemáticas que possuem os seus comportamentos conhecidos são corrigidas, já as não-sistemáticas, que se referem às distorções com comportamentos não conhecidos, são tratadas através de um ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados utilizando-se, por exemplo, pontos identificáveis na imagem e com posições cartográficas conhecidas (CAMPBELL, 1987). Esta posição cartográfica se refere às coordenadas de pontos de controle em algum sistema de coordenadas, sendo o mais comum, o uso do sistema de projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), obtido de alguma representação cartográfica já existente ou a partir de mensuração realizada diretamente na superfície terrestre através de levantamentos utilizando a tecnologia GPS (*Global Positioning Systems*) ou outro método de levantamento tradicional.

Quando se associa à imagem um sistema de coordenadas e este possui como base uma projeção cartográfica, que é uma maneira matemática de representar em um plano o que está na superfície curva da Terra, diz-se que foi realizado um georreferenciamento da imagem (TEIXEIRAS, 2004).

Para a realização desta operação deve-se criar uma relação entre os pontos do terreno, denominados pontos de controle terrestres, e os pixels (linha e coluna) na imagem, por meio de alguma função matemática, que a partir das diferenças de posicionamento dos pontos na imagem a ser corrigida e na projeção cartográfica, podem-se estabelecer parâmetros que permitem corrigir as distorções existentes na imagem pelos mais diversos motivos. Para estas operações, denominadas de transformações geométricas, pode-se utilizar diferentes tipos de modelos matemáticos.

Diz-se que a imagem é retificada se a ela foi atribuído algum sistema de coordenadas, que pode ou não ser um sistema cartográfico. Segundo Andrade (1998), o termo retificação advém dos conhecimentos da fotogrametria, da metodologia de retificação de imagens, que vem a ser o processo de eliminar os efeitos de inclinação da plataforma, transformando as imagens em verticais, ou como se tivessem sido tomadas para o nadir.

Dizer que a imagem sofreu correção geométrica é dizer que ela foi corrigida de alguma distorção. A imagem foi georreferenciada se a ela foi atribuído algum sistema de coordenadas cartográfico. Já ela estará ortoretificada se também foram realizadas as correções do relevo e os elementos visualizados na imagem estão segundo linhas de visadas perpendiculares ao plano da imagem, ou como se o ponto de vista que a deu origem estivesse no infinito.

Fonseca (2004) fez a seguinte classificação bem apropriada: o georreferenciamento de imagens pode ser realizado de dois modos distintos, o primeiro em que se realiza uma simples correção geométrica planimétrica, o georreferenciamento expedito utilizando-se pontos de controles, e o segundo, o georreferenciamento rigoroso, onde é realizada a ortoretificação da imagem, sendo necessário para isto além dos pontos de controles, um Modelo Digital de Elevação (MDE).

2.8.1. Distorções geométricas

As imagens de sensoriamento remoto podem conter distorções geométricas sistemáticas e não sistemáticas. Entre as sistemáticas, existem as oriundas da fabricação do sensor e da movimentação durante a aquisição dos dados, como distorção panorâmica, variação da velocidade da plataforma e rotação da Terra. Muitas destas distorções são removidas durante um pré-processamento realizado pelo fornecedor da imagem. Entre as distorções não sistemáticas, tem-se o resultado de variações ou perturbações na plataforma, como por exemplo, variações na altitude e atitude do satélite (CAMPBELL, 1987).

Toutin (2004) agrupa as fontes de distorções em duas categorias: as do observador ou sistema de aquisição (plataforma, sensor de imageamento e outros instrumentos de medição, como giroscópio, gps, sensor estelar, etc.) e as relacionadas ao que é observado (atmosfera e Terra). Tem também as distorções relacionadas ao sistema cartográfico em que se faz a projeção da superfície física da Terra para o elipsoide de referência, e da superfície do elipsoide para uma superfície de projeção. Na Tabela 1, as duas categorias encontram-se subdivididas em subcategorias, tendo as deformações do sistema de projeção cartográfica incluído na categoria de observado.

Tabela 1 – Fontes de erros geométricos subdivididos em categorias e subcategorias

Categoria	Subcategoria	Descrição da Fonte de Erro
Observador (sistema de aquisição)	Plataforma	Variação do movimento, variação na atitude da plataforma (posição, velocidade, orientação)
	Sensor	Variação mecânica no sensor Ângulo de visada Efeito panorâmico (ângulo de orientação, IFOV – <i>instantaneous field of view</i>)
	Instrumento de medição	Variação na medida do tempo
Observado	Atmosfera	Refração e turbulência
	Terra	Efeito de curvatura, rotação e relevo
	Mapa ou carta	Transferência da superfície física da Terra para o elipsoide e do elipsoide para o plano cartográfico

Fonte: Toutin (2004).

As distorções geométricas da Tabela 1 são previsíveis ou sistemáticas e geralmente bem conhecidas. Algumas destas distorções, especialmente as que relacionam à instrumentação, são geralmente corrigidas nas estações receptoras ou pelos vendedores de imagem. Outras, por exemplo, as que relacionam à atmosfera, não são corrigidas por serem específicas para as condições atmosféricas do local e no momento da aquisição da imagem que raramente são disponíveis (TOUTIN, 2004).

As distorções associadas à plataforma relacionam a órbita e a Terra, e dependendo do tempo de aquisição e o tamanho da imagem, as perturbações orbitais podem ser afetadas por várias distorções. Estes efeitos incluem a variação de altitude da plataforma em combinação com a distância focal do sensor, a curvatura da Terra e o relevo da superfície terrestre que podem mudar o espaçamento dos pixels. A variação de atitude de plataforma representada pelos ângulos yaw (deriva), pitch (arfagem) e roll (rolagem), conforme ilustrado na Figura 3, podem mudar a orientação e a forma das imagens. As variações de velocidade de plataforma podem acarretar uma mudança de escala na direção da trajetória (SCHOWENGERDT, 1997).

As distorções relacionadas ao sensor podem também incluir incerteza nos parâmetros de calibração do sensor, distorção panorâmica que surgem na tomada das imagens fora do nadir, e que fazem com que ocorra uma alteração nos tamanhos dos pixels no terreno.

As distorções relacionadas à Terra também podem incluir a rotação da Terra que gera deslocamentos para oeste; a curvatura da Terra que causa uma variação no espaçamento dos pixels, mas para as imagens que abrangem uma pequena porção da superfície terrestre, pode ser negligenciado. As deformações devido o relevo da superfície terrestre, por terem maior importância, serão abordados com mais detalhes à frente.

Na Figura 6 ilustram-se, de forma conjunta, as distorções devido às variações da altitude e atitude da plataforma, bem como a variação da velocidade (PEDRO, 2005).

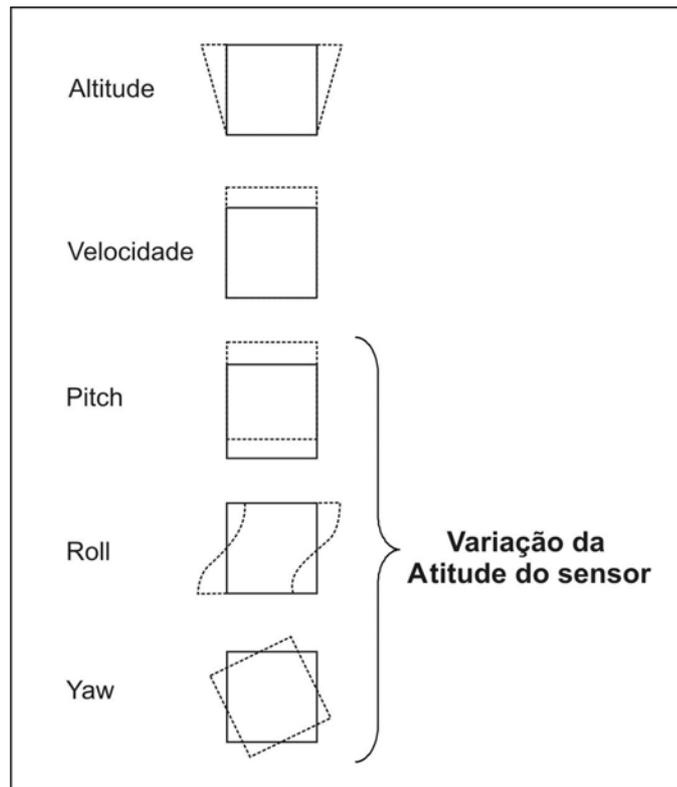


Figura 6 – Ilustração das distorções devido às variações da altitude, atitude e velocidade da plataforma. Fonte: Pedro (2005).

2.8.2. Distorção associada ao relevo

Com o objetivo de visualizar o deslocamento devido ao relevo, a análise da Figura 7 mostra uma fotografia aérea vertical, onde se encontram pontos no terreno localizados acima e abaixo de um plano tomado como referência.

Da Figura 7 podem-se tirar os seguintes elementos:

$\Delta r_a \rightarrow$ deslocamento do ponto (a) na imagem;

$pa \rightarrow$ distância na imagem do ponto (p) ao ponto (a) (a é imagem de A); e

$pa' \rightarrow$ distância na imagem do ponto (p) ao ponto (a') (a' é imagem de A_1).

Tem-se que $\Delta r = pa - pa'$.

Como o triângulo $a0a'$ é semelhante ao triângulo $A_20A_1 \rightarrow \frac{aa'}{A_2 A_1} = \frac{f}{H}$

O triângulo $a0p$ é semelhante ao triângulo $AA_1A_2 \rightarrow \frac{A_2 A_1}{r} = \frac{\Delta h}{f}$

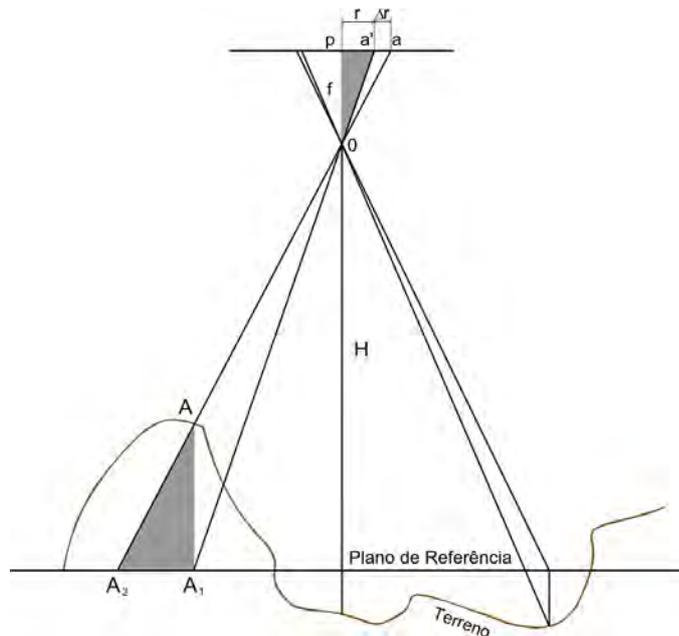


Figura 7 – Deslocamento da imagem devido ao relevo. Fonte: adaptado de Pinheiro (2003).

Realizando-se a multiplicação das igualdades dos lados homólogos proporcionais nos triângulos semelhantes, tem-se:

$$\frac{aa'}{A_2 A_1} \frac{A_2 A_1}{r} = \frac{f}{H} \frac{\Delta h}{f}, \text{ logo } \frac{aa'}{r} = \frac{\Delta h}{H}, \text{ mas } aa' = \Delta r, \text{ logo}$$

$$\Delta r = \frac{r \cdot \Delta h}{H} \tag{1}$$

em que

$\Delta r \rightarrow$ deslocamento radial devido ao relevo;

$r \rightarrow$ distância radial;

$\Delta h \rightarrow$ altura do objeto;

$H \rightarrow$ altura de vôo da plataforma em relação ao terreno imageado.

Da equação 1 podem-se tirar as seguintes conclusões:

- quanto maior a diferença de nível maior será o deslocamento, ou seja, as regiões com relevo mais acidentado apresentam maior deslocamento;
- quanto maior a altitude da plataforma, menor será o deslocamento; e

- o deslocamento devido ao relevo será positivo se o ponto do terreno estiver localizado acima de um plano tomado como referência e negativo em caso contrário.

Os fornecedores disponibilizam as imagens de satélites após aplicar no mínimo uma retificação, com remoção de distorções introduzidas no momento da coleta, inclusive realizando re-amostragem de forma tal que elas fiquem com os pixels uniformes segundo as características do sensor, e em um sistema de projeção cartográfica (GISPLAN, 2003; SPACE IMAGE, 2003). Partindo deste pressuposto, pode-se considerar a situação ilustrada na Figura 8, em que se tem o efeito da ortorretificação sobre um ponto situado na superfície do terreno com relevo acentuado e a posição do ponto corrigida ou ortorretificada.

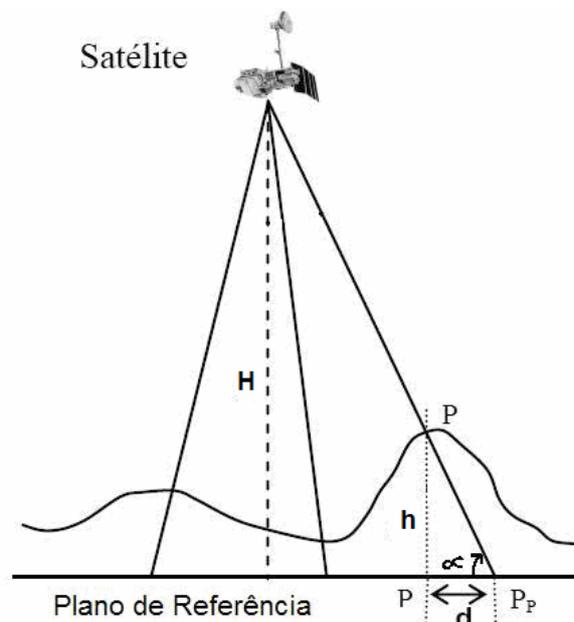


Figura 8 – Efeito da ortorretificação de um ponto. Fonte: montado pelo autor.

Os sensores de altas resoluções montados em plataformas orbitais tomam imagens não só visando para o nadir, mas também podem fazer a tomada com diferentes azimutes e inclinações fora do nadir. Seja por exemplo o IKONOS II, que pode tomar as imagens com elevações de 60° a 90°. Ao adquirir uma imagem, esta vem acompanhada de um arquivo de metadados

(txt) onde, entre outras informações, podem-se obter a elevação e azimute, a altura do plano de referência, etc. Gisplan (2003) e Space Image (2003).

Na Figura 9 pode-se visualizar, além da deformação devido o relevo, a projeção da deformação no eixo das abscissas e das ordenadas. Com o azimute (Az), a elevação da visada (α) e a altura devido o relevo (h), pode-se calcular também as projeções ΔE e ΔN (CHEN, 2001).

$$d = \frac{h}{\tan \alpha} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta E &= d \cdot \sin Az \\ \Delta N &= d \cdot \cos Az \end{aligned} \quad (3)$$

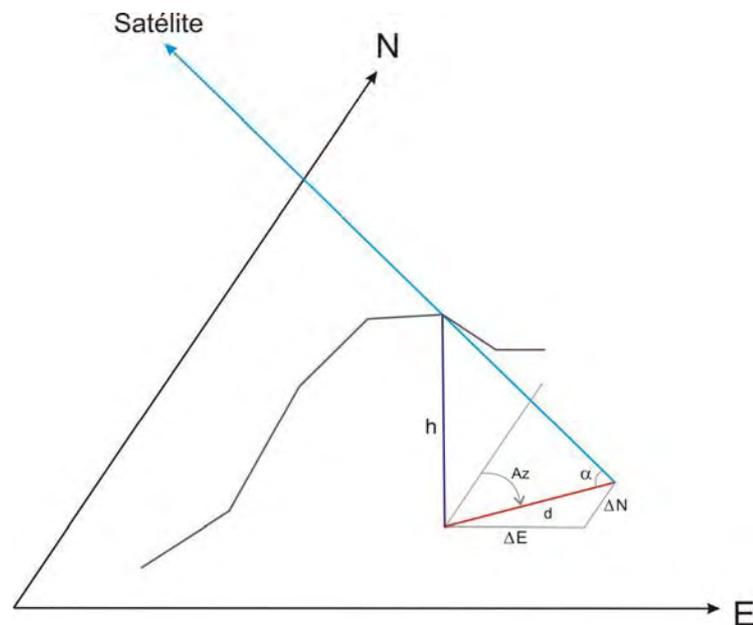


Figura 9 – Ilustração da deformação do relevo. Fonte: adaptado de Chen e Lo (2001).

Embora seja uma aproximação, por exemplo, por considerar a Terra plana, a equação 2 permite que se tenha uma ideia da grandeza da deformação devido ao relevo. Seja por exemplo os dados simulados e que constam na Tabela 2, em que foram calculadas as deformações para diferentes situações, com elevação de 90° a 60° e para desníveis de 50 m a 1000 m. Os desníveis se referem à diferença de nível entre o plano tomado como referência para geração da imagem e um ponto na superfície do terreno.

Tabela 2 – Deformação devido ao relevo (em metros)

Elevação/Desnível	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°
50 m	0	4,3	8,8	13,4	18,2	23,3	28,9
100 m	0	8,7	17,6	26,8	36,4	46,6	57,7
200 m	0	17,5	35,3	53,6	72,8	93,3	115,5
300 m	0	26,2	52,9	80,4	109,2	139,9	173,2
400 m	0	35,0	70,5	107,2	145,6	186,5	230,9
500 m	0	43,7	88,2	133,9	181,9	233,1	288,7
600 m	0	52,5	105,8	160,8	218,4	279,8	346,4
700 m	0	61,2	123,4	187,6	254,8	326,4	404,1
1.000 m	0	87,5	176,3	267,9	363,9	466,3	577,3

Tomando por base estes valores aproximados para as deformações devidas ao relevo, pode-se ter uma ideia das consequências do uso de imagens que não são submetidas à ortorretificação para regiões montanhosas.

2.8.2.1. Ortorretificação digital

O processo de ortorretificação digital consiste na correção da imagem devido às diversas distorções, especialmente as causadas pela posição do satélite, pela superfície física da Terra (relevo e curvatura) e pela projeção cartográfica. Para a realização da ortorretificação das imagens, deve haver necessariamente um modelo digital de elevação (MDE), sem o qual não seria possível a correção devido ao relevo (VOLOTÃO, 2001).

O princípio da geração de ortoimagens é conceitualmente simples. Inicialmente, a partir das coordenadas de imagem e cartográficas, além da altitude dos pontos de controle terrestres, é realizado um ajustamento de observações onde são obtidos os parâmetros de transformações. Dependendo do método de ortorretificação, utilizam-se também no ajustamento os dados de órbita do sensor no momento da tomada da imagem. Tendo-se estes parâmetros de transformação, passa-se à próxima etapa, onde para cada pixel i é extraído do MDE a correspondente altitude, e efetuado o cálculo matemático da posição corrigida do pixel, como ilustrado na Figura 10. Proceder-se a seguir uma interpolação para os valores de cinza dos pixels fazendo uso de algum método de reamostragem, chegando na matriz da ortoimagem.

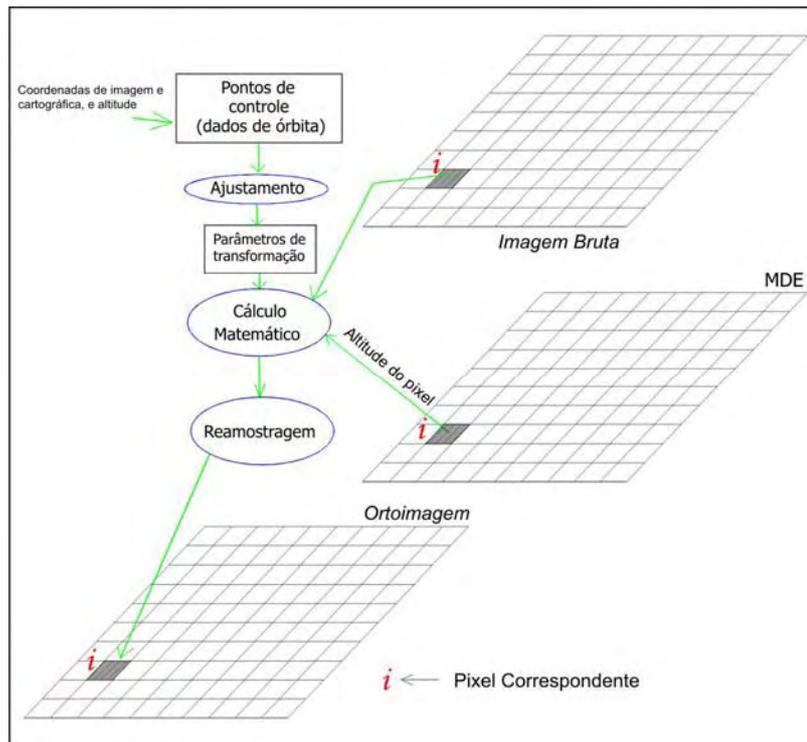


Figura 10 – Geração da ortoimagem a partir de pontos de controle e MDE.
Fonte: elaborado pelo autor.

2.9. Métodos de correção geométrica e, ou, ortorretificação

As distorções geométricas podem ser eliminadas e, ou, reduzidas, utilizando-se de modelos de correção geométrica. Entre os procedimentos matemáticos com aplicação em sensoriamento remoto, pode-se citar: Método Polinomial Simples, Método Polinomial Proporcional ou Racional (ou Razão de Polinômios) e Método Paramétrico ou Rigoroso.

Toutin (2000, 2002) classificou os modelos matemáticos de correção de distorções pelos métodos das funções polinomiais 2D/3D como empíricos e o método rigoroso como paramétrico.

Toutin (2002) afirma que a correção pelo método rigoroso normalmente é realizada pelos fornecedores das imagens que possuem os dados da realidade física da geometria da visada (plataforma, sensor, Terra e projeção cartográfica) que o aplicam passo a passo, mas afirmou também que o procedimento pode ser aplicado também pelo usuário, desde que se consiga extrair alguns dados de órbita do satélite e sejam utilizados também pontos de controle, constituindo-se numa solução combinada.

Boccardo (2004) referiu-se à aplicação dos métodos mencionados anteriormente, mas também faz menção a aplicação de redes neurais na resolução da ortorretificação.

2.9.1. Método polinomial simples

O método polinomial simples não considera a elevação do terreno, as informações sobre a posição do satélite ou do sensor, sendo que quando utilizado para dados de sensores de alta resolução espacial, fica limitado a pequenas áreas planas (TOUTIN e CHENG, 2000).

Trata-se de um método que faz uso de um modelo polinomial onde são estimados coeficientes de transformação a partir de pontos de controle identificáveis na imagem e com localização geodésica precisamente conhecida. O uso do polinômio do primeiro grau, projeção ou transformação afim é o mais utilizado. Lugnani (1987) diz que o modelo matemático de projeção Afim ou também conhecido como equação de projeção paralela, trata de um caso particular de uma projeção central onde o centro de projeção é deslocado para o infinito.

Realiza-se um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, efetuando um relacionamento dos pontos de controle na imagem e no terreno, observando-se três aspectos importantes na seleção dos mesmos: o número, a localização e a sua distribuição. O número de pontos está relacionado ao número de parâmetros, desejando-se, em geral, ter superabundância de pontos, a fim de otimizar a estimativa dos parâmetros de transformação (RICHARDS e JIA, 1999).

As feições recomendadas são os pontos bem visualizados na imagem e no terreno, como quinas de pontes, edificações, e cercas, entre outras.

Como recomendação à distribuição dos pontos de controle, é desejável que eles sejam bem distribuídos ao longo de toda a extensão da imagem.

No polinômio de primeira ordem ou transformação afim, seis parâmetros de transformação são suficientes para modelar seis tipos de distorções, incluindo mudança de escalas, um para cada dimensão, translação em x e y, rotação e um parâmetro para corrigir a não ortogonalidade entre eixos (LUGNANI, 1987).

Três seria o número mínimo de pontos necessários para encontrar as incógnitas ou parâmetros de transformação, já que para cada ponto formulam-se duas equações:

$$\begin{aligned}x' &= a_1 x + a_2 y + \Delta x \\y' &= b_1 x + b_2 y + \Delta y\end{aligned}\tag{4}$$

em que

x e y representam posições na imagem corrigida;
 x' e y' representam posições correspondentes na imagem original;
 Δx e Δy são coeficientes que representam a translação em x e y , e
 a_i e b_i são os outros coeficientes de transformação.

Polinômios de maior ordem poderiam ser utilizados, porém deve-se ter em mente que a utilização destes implicaria em maior volume de cálculos sem ganho significativo na qualidade, e que não corrigiriam outros erros, tal como o erro geométrico ocasionado devido à influência do relevo (SCHOWENGERDT, 1997). Os polinômios de segunda e terceira ordem poderiam ser apresentados da seguinte forma:

$$\begin{aligned}x' &= a_1 x + a_2 y + a_3 xy + a_4 x^2 + a_5 y^2 + \Delta x \\y' &= b_1 x + b_2 y + b_3 xy + b_4 x^2 + b_5 y^2 + \Delta y\end{aligned}\tag{5}$$

$$\begin{aligned}x' &= a_1 x + a_2 y + a_3 xy + a_4 x^2 + a_5 y^2 + a_6 x^2 y + a_7 xy^2 + a_8 x^3 + a_9 y^3 + \Delta x \\y' &= b_1 x + b_2 y + b_3 xy + b_4 x^2 + b_5 y^2 + b_6 x^2 y + b_7 xy^2 + b_8 x^3 + b_9 y^3 + \Delta y\end{aligned}\tag{6}$$

Para resolver os polinômios de segunda ordem, seriam necessários seis pontos de controle, já os de terceira ordem necessitariam no mínimo dez pontos de controle.

2.9.2. Método polinomial proporcional ou razão funcional

O Modelo Funcional Racional utiliza coeficientes polinomiais racionais que são calculados a partir dos dados da câmara do sensor e da órbita do satélite. As agências de distribuição de imagens podem disponibilizar estes

coeficientes para imagens de alta resolução como as originárias do IKONOS II e do Quickbird (PINHEIRO, 2003).

Na situação das imagens onde não se dispõem dos parâmetros de órbita, pode ser realizado também um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados tal como se faz pelo procedimento polinomial (transformação afim).

Segundo o PCI Geomatics (2003), os cálculos com as funções racionais conduzem a uma maior precisão que o método polinomial.

As equações matemáticas do modelo funcional racional relacionam as coordenadas objetos dos pontos (X, Y, Z) para as coordenadas de pixel da imagem (r, c) ou vice-versa, assim como o modelo físico do sensor, e podem ser apresentadas da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Linha}(X_n, Y_n, Z_n) = r_n &= \frac{p_1(X_n, Y_n, Z_n)}{p_2(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \\ \text{Coluna}(X_n, Y_n, Z_n) = c_n &= \frac{p_3(X_n, Y_n, Z_n)}{p_4(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p c_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p d_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \end{aligned} \quad (7)$$

em que (r_n, c_n) são linhas e colunas normalizadas dos pixels no espaço imagem; (X_n, Y_n, Z_n) são as coordenadas normalizadas no espaço objeto ou terreno; e a_{ijk} , b_{ijk} , c_{ijk} e d_{ijk} são os coeficientes da transformação, chamados de Coeficientes Polinomiais Racionais ou RPCs. As potências das coordenadas do espaço objeto podem variar caso a caso, sendo que quando a potência máxima é igual a 3, tem-se o caso particular utilizado pelas empresas que produzem as imagens, como a *Space Imaging* e o *Digital Globe*, em que os polinômios possuem 20 termos e são de 3ª ordem, e que vem sendo empregado como padrão (XU, 2004).

A *Space Imaging* fornece para alguns de seus produtos os coeficientes de transformação que inseridos nas funções racionais polinomiais vem a constituir uma expressão matemática precisa do relacionamento entre o terreno e a imagem, e vice-versa. Com isto, o usuário reconstitui a geometria de coleta da imagem sem necessidade de conhecimento explícito dos parâmetros de posicionamento e orientação do sensor (efemérides e atitude do satélite).

Neste caso, a precisão final da ortorretificação é limitada somente pela precisão do MDE da área de interesse, e dos pontos de controle terrestres.

Toutin (2000) afirma também que se a imagem não dispõe dos coeficientes polinomiais racionais (ou coeficientes de transformação), pode-se realizar um ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados, tal como o realizado para o método polinomial simples, só que neste caso o número de pontos de controle é bem superior.

2.9.3. Método rigoroso ou paramétrico

O método rigoroso é considerado o mais preciso e considera as informações do satélite e do sensor refletindo a realidade física da geometria da visada completa e corrige as distorções da plataforma, conforme Toutin (2000), Pinheiro (2003), Toutin (2004), dentre outros.

Pinheiro (2003) diz também que um modelo matemático para correção da geometria de uma imagem deve ser capaz de distinguir vários fatores como a física do sensor e o ambiente de aquisição da imagem. Uma das vantagens dos modelos rigorosos é que, normalmente, possuem a capacidade de corrigir a imagem com alta exatidão, muitas vezes com fração de um pixel.

Apesar de o modelo rigoroso apresentar significativas vantagens para a correção geométrica de imagens, ele apresenta como desvantagens:

- é matematicamente difícil e exige um considerável conhecimento de características físicas do sensor; e

- para aplicação deste método, é necessário conhecer os diversos parâmetros das imagens, que não são disponibilizados pelas empresas que as comercializam, a menos que se pague caro pelos mesmos.

Em Toutin (2004), os métodos de ortorretificação são apresentados de forma genérica, sendo que o método rigoroso, paramétrico ou também chamado do método do Modelo Físico 3D, é mencionado como resultado da aplicação das equações de colinearidades.

O Modelo Matemático da Órbita do Satélite é baseado na condição de co-linearidade que representa a lei física de transformação entre o espaço da imagem e o espaço do terreno. Usa princípios relacionados à fotogrametria, orbitografia, geodésia, e cartografia. O modelo reflete a realidade física

completa da geometria da visada, e reflete todas as distorções geradas durante a formação de imagem; como os causados por:

- a plataforma (posição, velocidade, e orientação);
- o sensor (orientação, integração de tempo, e campo de visada);
- a Terra (geoide, elipsoide e relevo); e
- a projeção cartográfica

A equação de colinearidade pode ser apresentada da seguinte forma (VOLOTÃO, 2001):

$$\begin{aligned} x - x_o &= (-f) \frac{m_{11}(X - X_c) + m_{12}(Y - Y_c) + m_{13}(Z - Z_c)}{m_{31}(X - X_c) + m_{32}(Y - Y_c) + m_{33}(Z - Z_c)} \\ y - y_o &= (-f) \frac{m_{21}(X - X_c) + m_{22}(Y - Y_c) + m_{23}(Z - Z_c)}{m_{31}(X - X_c) + m_{32}(Y - Y_c) + m_{33}(Z - Z_c)} \end{aligned} \quad (8)$$

em que

x e y são coordenadas do ponto na imagem;

x_o e y_o são coordenadas do ponto principal ou projeção vertical do centro de projeção sobre a imagem;

f é a distância focal;

X , Y e Z são as coordenadas do ponto no espaço objeto;

X_c , Y_c e Z_c são as coordenadas do centro de perspectiva no espaço objeto; e

m_{ij} são elementos da matriz de rotação M , resultante da multiplicação das matrizes de rotações, ou:

$$M = R_Z(\kappa), R_Y(\phi), R_X(\omega) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \quad (9)$$

em que

$$m_{11} = \cos \phi \cdot \cos \kappa;$$

$$m_{12} = \cos \omega \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa;$$

$$m_{13} = \sin \omega \cdot \sin \kappa - \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa;$$

$$m_{21} = -\cos \omega \cdot \sin \kappa;$$

$$m_{22} = \cos \omega \cdot \cos \kappa - \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa;$$

$$m_{23} = \sin \omega \cdot \cos \phi + \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa;$$

$$m_{31} = \text{sen } \phi;$$

$$m_{32} = -\text{sen } \omega \cdot \text{cos } \phi; \text{ e}$$

$$m_{33} = \text{cos } \omega \cdot \text{cos } \phi.$$

Sendo κ , ϕ e ω os ângulos que representam a rotação espacial do plano da imagem em torno de seu centro focal, e necessárias para tornar os referenciais paralelos.

Nas equações verificam-se nove parâmetros: κ , ϕ , ω , X_c , Y_c , Z_c , f , x_o e y_o , mas como as equações são não-lineares, para solução ou determinação de parâmetros, necessário se torna trabalhar com suas equações linearizadas, que fazem surgir 11 parâmetros, exigindo com isto no mínimo seis pontos (ou 12 equações) para a solução, conforme afirma (VOLOTÃO, 2001).

2.10. Modelo digital de elevação

Um modelo digital de elevação (ou MDE) é uma representação tridimensional (3D) do relevo do terreno, armazenado através de uma estrutura matricial (ou raster), constituído de uma grade retangular de células ou pixels, onde a cada pixel é associado um valor numérico contendo a elevação do terreno, amarrado em uma matriz bidimensional

O modelo digital de elevação (MDE) é a representação da superfície da Terra, no modo digital, cuja característica principal é descrever a morfologia de uma área qualquer de forma contínua.

O MDE pode ser armazenado através de estrutura matricial (ou raster) ou vetorial. Esta representação pode ser realizada usando as seguintes alternativas (CASANOVA, 2005):

- Curvas de nível (ou conjunto de isolinhas): são linhas às quais estão associados valores numéricos (cotas ou altitudes). As isolinhas não se cruzam, e são entendidas como estando “empilhadas” umas sobre as outras.

- Malha triangular ou TIN (do inglês *Triangular Irregular Network*): é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo nó-arco e representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x , y) e o atributo z , correspondente ao valor de elevação ou

altitude. Em geral, os algoritmos para geração da grade triangular baseiam-se numa triangulação denominada de Delaunay. Este método permite uma boa distribuição dos pontos e evita triângulos muito deformados (Figura 11).

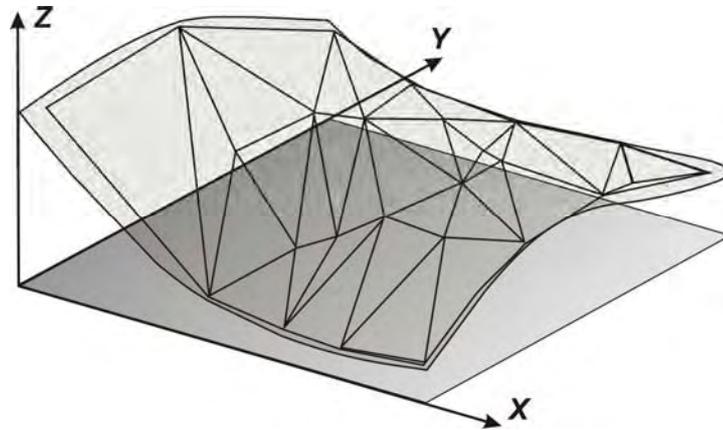


Figura 11 – Superfície e malha triangular correspondente. Fonte: Assad (1998).

- Grade regular: é uma representação matricial onde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico, como ilustra a Figura 12. Para a geração da grade, torna-se necessário estimar, por meio de interpoladores matemáticos, os valores para as células que não possuem medidas de elevação, considerando-se, para tanto, as medidas da vizinhança. Os procedimentos de interpolação para geração de grades regulares a partir de amostras variam de acordo com a grandeza medida.

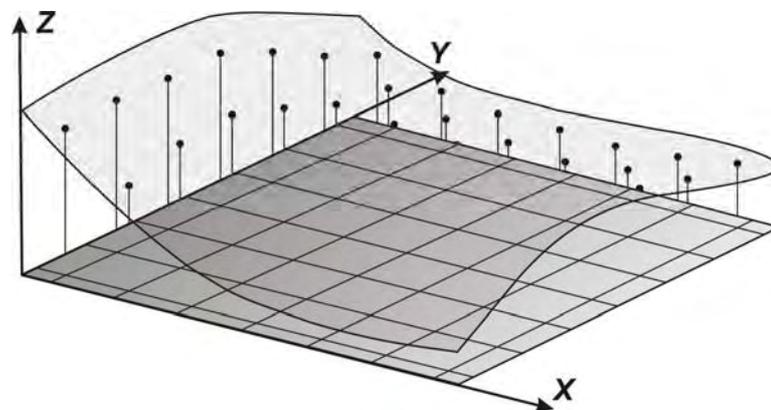


Figura 12 – Superfície e grade regular correspondente. Fonte: Assad (1998).

A grade retangular de células, denominada raster, é a estrutura mais comumente utilizada para representação digital do relevo nos Sistemas de Informações Geográficas, onde cada célula contém o valor médio da elevação, armazenado em uma matriz bidimensional (OLIVEIRA, 2002).

As principais aplicações do modelo digital de elevação e sua grande importância, dentro dos sistemas de informações geográficas, são (BURROUGH, 1986):

- elaboração de mapas de declividade e exposição para o apoio às análises geomorfológicas e de erodibilidade;
- apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis);
- armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- análise de visibilidade a partir de pontos predefinidos;
- geração de mapas de aptidão;
- definição automática de redes de drenagens e bacias hidrográficas;
- análises de projetos de terraplanagem com determinações de volumes cortes e aterros;
- superposições de MDEs com as imagens para geração de visualizações tridimensionais de uma área mostrando suas características, proporcionando com isto, uma boa fonte de informação para diversos estudos;
- geração de perfis;
- análise de variáveis geofísicas e geoquímicas; e
- ortorretificação de imagens de sensoriamento remoto.

2.11. Controle de qualidade de bases cartográficas

O controle de qualidade das representações cartográficas (mapas, cartas e plantas topográficas) é extremamente importante e pouco realizado no Brasil. Uma parcela de culpa pode ser atribuída ao próprio produtor do mapa, outra aos próprios usuários e contratantes destes produtos e a última ao processo de fiscalização (GALO, 1994).

Ishikawa (2001) define “qualidade” como sendo o grau de perfeição a atingir, e comenta a definição dada por alguns autores para qualidade como sendo satisfazer o cliente, ou seja, é a melhor forma de atender às necessidades explícitas ou implícitas do consumidor.

No Brasil, apesar da tecnologia digital já estar bastante disponível e divulgada, e já ser utilizada na elaboração de projetos nas mais diversas áreas do conhecimento, as Normas Técnicas da Cartografia Nacional vigentes foram elaboradas numa época em que se utilizava, predominantemente, a tecnologia analógica. O que existe no Brasil para normatizar a verificação de qualidade da produção cartográfica, é o Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece parâmetros para que se avalie e produza uma cartografia com qualidade compatível aos padrões internacionais utilizando a tecnologia daquela época (ISHIKAWA, 2001; LEAL, 2006).

Apesar de defasado em relação às tecnologias digitais atuais, o Decreto nº 89.817 é o que está em vigor, sendo, portanto o que se tem no Brasil para verificar a qualidade de mapeamento, razão pela qual será tomado neste trabalho como básico, e será alvo de estudo. Alguns aspectos relevantes e considerados no decreto serão apresentados, assim como serão discutidos outros aspectos relevantes em detrimento à tecnologia atual.

A verificação da qualidade cartográfica se confunde com a qualidade posicional, e é inerente aos processos e métodos utilizados na produção de cartas. Independente de o produto ser analógico ou digital, a sua validação utilizando-se do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é a mesma (ISHIKAWA, 2001).

2.11.1. Fonte de dados

As fontes de dados para os mapas digitais utilizados atualmente no Brasil podem ser divididas, conforme Leal (2006), em captura de dados primários, coletados a partir de fotografias aéreas, levantamentos topográficos digitais, ou a partir de imagens de satélites; já como dados secundários utiliza-se a digitalização de material cartográfico (mapas e cartas topográficos) na forma analógica, ou no papel.

Cabe aqui realçar que, no Brasil, assim como em outros países, utiliza-se na sua maioria, a fonte de dados secundários, já que a forma primária, apesar de ser vantajosa, demanda maiores recursos financeiros, que nem sempre são disponíveis.

2.11.2. Informações necessárias para análise da exatidão cartográfica

A análise da exatidão cartográfica é realizada verificando as diferenças entre as coordenadas de pontos da carta em estudo e as coordenadas dos pontos homólogos obtidos a partir de observações de campo, ou de outra representação cartográfica já testada e de maior confiabilidade que podem ser consideradas como coordenadas de referência. De posse destas diferenças, diversos procedimentos podem ser utilizados para a análise da exatidão (LEAL, 2006).

Para uma boa análise é importante que se tenha uma quantidade de pontos adequada, sendo recomendável um maior número possível, desde que o custo para o lançamento dos mesmos não seja inviável. MERCHANT (1982) sugere 20 como sendo o número mínimo de pontos, bem distribuídos por todos os quadrantes da carta.

Para a escolha dos pontos de referência deve-se realizar um bom planejamento, de forma que os pontos além da boa distribuição, sejam realmente homólogos, e dependendo do procedimento a ser utilizado, tenham boas condições para as operações de mensuração.

2.11.3. Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)

Entende-se por Padrão de Exatidão Cartográfica o conjunto de critérios e normas estabelecidos e que norteiam os processos de determinação e quantificação da exatidão de uma carta (ISHIKAWA, 2001).

Na utilização de qualquer material cartográfico é aconselhável um conhecimento prévio de sua precisão, podendo a não-observância desta recomendação incorrer em resultados que fiquem aquém do objetivo desejado (BURITY, 1999).

Com a finalidade de determinar a confiabilidade de uma base cartográfica, deve-se realizar um tratamento estatístico considerando-se a presença de erros sistemáticos e erros acidentais, baseando-se nas Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional presentes no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

Para um entendimento do assunto, torna-se necessário ter uma boa definição dos termos precisão, exatidão e acurácia cartográfica. Segundo Andrade (1991), deve-se entender o termo **exatidão** cartográfica como sinônimo de **acurácia**, que é o afastamento que, como um todo, a carta teria da verdade topográfica, enquanto **precisão** refere-se unicamente à dispersão de valores observados, no caso, dos erros nos vários pontos da carta. O mesmo autor afirma também que se testando n pontos em uma carta, a média \bar{x} dos erros obtidos representa sua exatidão, enquanto o desvio-padrão σ representa a precisão da mesma.

Segundo Leal (2006), a precisão é o grau de concordância de uma série de medidas feitas sob condições similares ou o desvio de um conjunto de valores de sua média. Daí traduz-se a confiabilidade das cartas em possibilitar ao usuário uma avaliação da dispersão ao se tomar posições planimétricas e, ou, altimétricas.

Para Vuolo (1992), precisão é uma palavra utilizada com relação aos erros estatísticos acidentais, assim quanto menor é o erro estatístico, tanto maior é a precisão medida, enquanto a acurácia descreve a proximidade do valor amostral com o valor verdadeiro.

2.11.4. O Decreto nº 89.817 e a classificação das cartas

No Brasil, as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional estão presentes no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que apresenta a seguinte classificação para as cartas quanto à exatidão (BRASIL, 1984):

Art. 8 – As cartas quanto à exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, segundo o critério abaixo discriminado:

1 – Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrica estabelecido

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

Parágrafo Primeiro – Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão dos trabalhos cartográficos.

Parágrafo Segundo – A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro-padrão – $PEC=1,6449 EP$ (erro-padrão).

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

Parágrafo Quarto – Para efeito das presentes instruções, considera-se equivalentes as expressões Erro-padrão, Desvio-padrão e Erro médio Quadrático.

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

Classe A

1 – Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.

2 – Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

b) Classe B

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

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

C) Classe C

1 – Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 1,0 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.

2 – Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas de nível, sendo a metade desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

Art.10 – É obrigatória a indicação da classe no rodapé da folha, ficando os produtos responsáveis pela fidelidade da classificação.

Parágrafo Único – Os documentos cartográficos não enquadrados nas classes especificadas no artigo anterior devem conter no rodapé da folha a indicação obrigatória do Erro-padrão verificado no processo de elaboração.

Art.11 – Nenhuma folha de carta será produzida a partir da ampliação de qualquer documento cartográfico.

Parágrafo Primeiro – Excepcionalmente, quando isso se tornar absolutamente necessário, tal fato deverá constar explicitamente em cláusula contratual no termo de compromisso.

Parágrafo Segundo – Uma carta nas condições deste artigo será sempre classificada com exatidão inferior do original, devendo constar obrigatoriamente no rodapé a indicação: "Carta ampliada a partir de (... documento cartográfico) em escala (... tal)".

A Tabela 3 apresenta um resumo dos diferentes valores do Padrão de Exatidão (PEC) e Erro-padrão (EP) – conforme as normas do Decreto 89.817/84.

Tabela 3 – Valores do PEC e EP conforme Decreto nº 8.9817/84

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm	0,3 mm	1/2 eq	1/3 eq
B	0,8 mm	0,8 mm	3/5 eq	2/5 eq
C	1,0 mm	0,6 mm	3/4 eq	1/2 eq

Na Tabela 4 encontram-se os Padrões de Exatidão Cartográfica e os Erros-Padrão planimétricos vigentes para as escalas mais utilizadas.

2.11.5. Classificação das cartas mediante a análise estatística

Como resultado da análise estatística pode-se realizar uma classificação do documento cartográfico observando o grau de confiança em atenção às normas vigentes. Verificando a análise realizada da exatidão e da precisão do documento avaliado, pode-se chegar às seguintes situações (LEAL, 2006):

1 – Carta Exata e Precisa: o erro médio e o desvio-padrão menores que o admissível. Este é o caso ideal em que a carta é totalmente confiável dentro dos padrões estabelecidos.

Tabela 4 – Padrão de exatidão cartográfica e erro-padrão planimétrico para as escalas mais usadas

Escala	Classe	PEC		Erro-padrão	
		Carta (mm)	Terreno (m)	Carta (mm)	Terreno (m)
1:1000	A	0,5	0,5	0,3	0,3
	B	0,8	0,8	0,5	0,5
	C	1,0	1,0	0,6	0,6
1:2000	A	0,5	1,0	0,3	0,6
	B	0,8	1,6	0,5	1,0
	C	1,0	2,0	0,6	1,2
1:5000	A	0,5	2,5	0,3	1,5
	B	0,8	4,0	0,5	2,5
	C	1,0	5,0	0,6	3,0
1:10000	A	0,5	5,0	0,3	3,0
	B	0,8	8,0	0,5	5,0
	C	1,0	10,0	0,6	6,0
1:25000	A	0,5	12,5	0,3	7,5
	B	0,8	20,0	0,5	12,5
	C	1,0	25,0	0,6	15,0
1:50000	A	0,5	25,0	0,3	15,0
	B	0,8	40,0	0,5	25,0
	C	1,0	50,0	0,6	30,0
1:100000	A	0,5	50,0	0,3	30,0
	B	0,8	80,0	0,5	50,0
	C	1,0	100,0	0,6	60,0

Fonte: Leal (2006).

2 – Carta Não-Exata e Precisa: o erro médio é maior que o admissível e o desvio-padrão é menor ou igual ao admissível. Neste caso a carta não é confiável segundo os padrões adotados em relação ao referencial usado como verdade terrestre, mas confiável internamente, ou seja, as diferenças de coordenadas entre seus pontos são confiáveis.

3 – Carta Não-Exata e Não-Precisa: o erro médio e o desvio-padrão maiores que o admissível. Este é o caso em que a carta não é confiável quer externa, ou internamente, conforme os padrões aceitos.

4 – Carta Exata e Não-Precisa: o erro médio é menor que o admissível e o desvio-padrão é maior que o admissível. Apesar de exata, a carta não apresenta coerência entre as feições representadas.

As cartas com as características apresentadas nos itens 3 e 4 devem ser desclassificadas, pois no caso de carta não-exata e imprecisa, indica falta de coerência nas posições quando comparadas aos valores de campo considerados

como verdadeiros, enquanto a carta exata e imprecisa revela falta de coerência interna entre as feições.

As cartas com as características apresentadas nos itens 1 e 2 devem ser classificadas, pois no caso da primeira em que é exata e precisa, tem-se a situação ideal, pois apresenta posições coerentes tanto em si quanto com a realidade física. Já a carta do item 2, apesar de falta de exatidão, apresenta precisão quando considerada a coerência entre as feições representadas. Neste caso, esta carta seria classificada no aspecto precisão, porém deve-se ter cautela no seu uso, pois suas feições não apresentam coerência com a realidade física, e em uma eventual articulação com outros trabalhos executados para áreas adjacentes, corre-se o risco de haver disparidades (LEAL, 1998).

No Decreto nº 89.817/84, as cartas, em função de seu PEC e EP podem ser classificadas em A, B e C, em função dos valores dos erros permitidos para cada classe. Desta forma uma carta pode ser classificada como sendo:

- Cartas Exatas e Precisas

Este tipo de carta pode ser exata na classe A e precisa na classe A, B ou C; ou exata na classe B e precisa na classe A, B e C; ou exata na classe C e precisa na classe A, B ou C.

- Cartas Inexatas e Precisas

É o caso das classificações como sendo não exata e seja precisa para a classe A, B ou C.

Na classificação das cartas deve-se adotar o critério de considerar conjuntamente exatidão e precisão, prevalecendo aquela que possuir ordem inferior, evitando assim classificar uma carta inadequadamente pela introdução de incertezas de uma classe inferior LEAL (1998).

Como diz Leal (2006), vale lembrar que o parágrafo único do Art. 10º do Decreto 89.817 estabelece que as informações da classificação da carta devem constar em seu rodapé ou dados marginais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo está situada na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, e compreende um trecho da bacia de contribuição da Usina Hidrelétrica Casquinha, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localizada em partes dos municípios de Canaã, Araponga e Ervália. A escolha da área se deu devido a sua proximidade de Viçosa, assim como devido à disponibilidade de imagem de satélite recente da região. A Figura 13 mostra a área de estudo coberta pela imagem do sensor Ikonos II, que fica compreendida entre os meridianos de 42° 31' 19" W e 42° 37' 20" W e entre os paralelos 20° 40' 22" S e 20° 45' 41" S.

A escolha desta área teve também como motivação o fato de a região ser uma amostra típica e representativa da Zona da Mata mineira, e se caracterizar por um relevo que varia de ondulado a montanhoso, com altitude mínima de 647 m e máxima de 1.288 m. Na Tabela 5 apresenta-se a distribuição das fases do relevo, segundo classificação utilizada por Resende (2002) e aplicado à região do estudo.

A vegetação natural da região pode ser classificada como Floresta Estacional Semidecidual, ou seja, parte das espécies arbóreas perde folhas no período correspondente ao inverno. Este tipo de vegetação é condicionado pelo comportamento estacional do clima, que apresenta verão quente com chuvas intensas, seguidas de inverno seco com queda acentuada de temperatura (MEIRA, 2006).

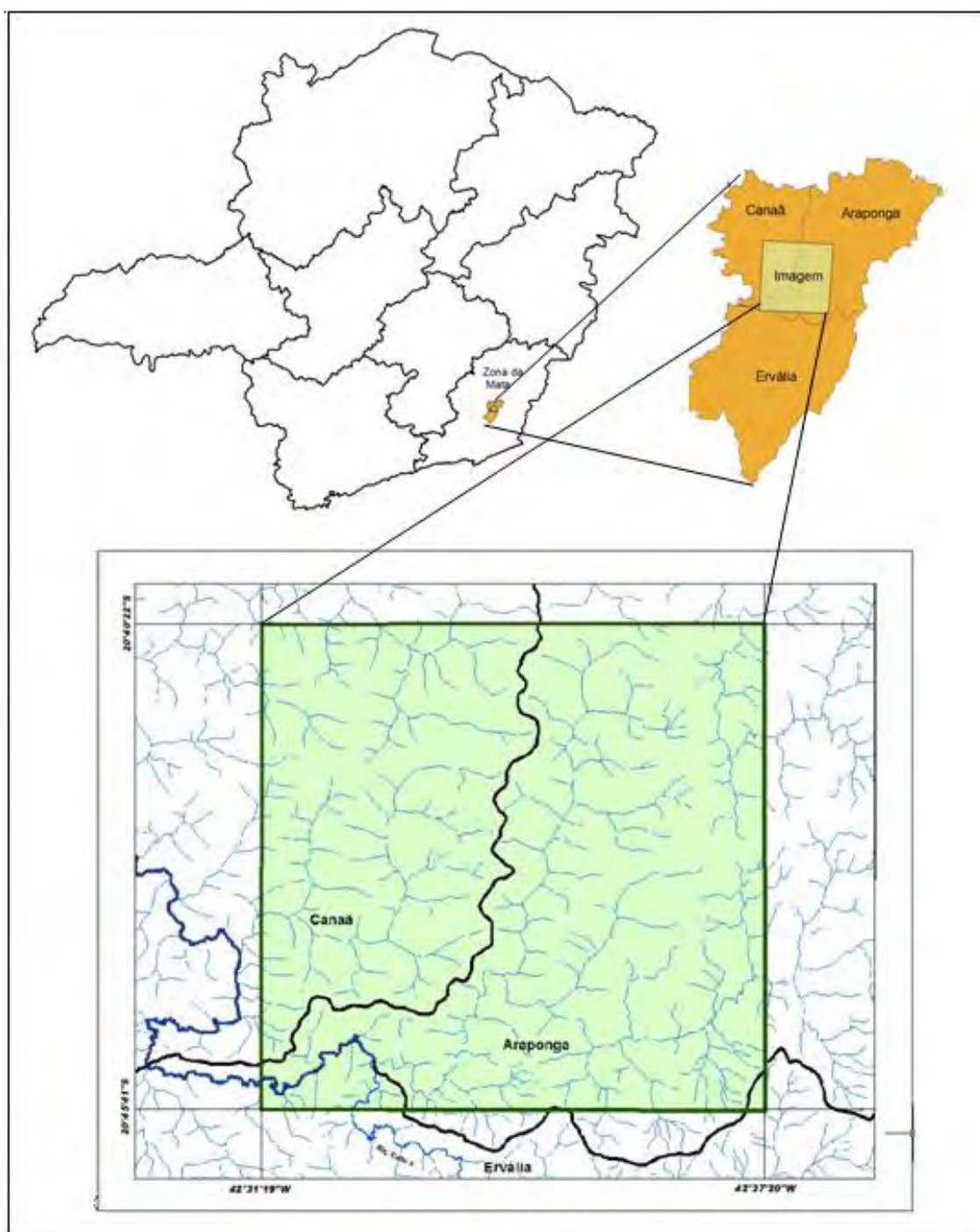


Figura 13 – Área coberta pela imagem Ikonos II na Zona da Mata, no Estado de Minas Gerais e os municípios abrangidos.

Tabela 5 – Distribuição das fases do relevo na área de estudo

Fases	Declividade (%)	Área (ha)	%
Plano	0 – 3	200,5312	1,6
Suavemente ondulado	3 – 8	875,4164	7,0
Ondulado	8 – 20	3.070,1144	24,6
Fortemente ondulado	20 – 45	5.455,8232	43,8
Montanhoso	45 – 75	2.214,7240	17,9
Escarpado	> 75	635,4544	5,1
Total		12.452,0636	100

Em uma parte considerável da região as terras são utilizadas para a agricultura, principalmente para milho, café e feijão, sendo também utilizadas para a pecuária, com grandes porções de terras em pastagem limpas e sujas.

3.2. Materiais e atividades desenvolvidas

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

- imagem IKONOS II, produto GEO, com 1m de resolução;
- cartas do IBGE na escala 1/50. 000;
- quatro receptores de uma frequência GPS, Promark 2;
- um receptor de duas frequências, Novatel;
- software ArcGIS 9.2;
- software OrthoEngine e Focus (PCI Geomatics); e
- softwares Ashtech Solution 2.6 e TGOoffice v 1.63.

3.2.1. Imagem orbital Ikonos II

A imagem IKONOS II utilizada foi adquirida pela UFV através da empresa Engesat Imagens de Satélite, cujas especificações técnicas encontram-se na Tabela 6.

A imagem do sensor IKONOS II tem composição das bandas azul, verde, vermelho, infravermelho próxima e pancromática (Tabela 7). Através da técnica de fusão de bandas é possível obter uma imagem multiespectral de alta resolução espacial, com pixels de 1 m². A resolução radiométrica é de 11 bits, gerando 2.048 níveis de cinza.

Tabela 6 – Especificações da imagem Ikonos utilizada no estudo

Nível de Processamento	Correção Geométrica-Padrão
Tipo de imagem	PAN/MSI
Método de interpolação	Convolução cúbica
Projeção cartográfica	UTM
Datum	WGS 84
Fuso	23 Sul
Azimute nominal	295,2658°
Elevação nominal	64,73846°
Direção da varredura	Reverse
GSD – varredura transversal	0,98 m
GSD – varredura longitudinal	0,92 m
Data de aquisição	31 de maio de 2005 às 13h25 horas (tempo médio de Greenwich)
Porcentagem de nuvem	17%
Ângulo de elevação do sol	42,81415°
Ângulo azimutal do sol	26,7147°
Altura do plano de referência	1.025 m
Resolução radiométrica	11 bits por pixel

Tabela 7 – Resolução espectral (λ) e espacial das bandas azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e pancromática do satélite Ikonos II

Banda	λ (μm)	Resolução Espacial (m)
Pancromática	0,45 - 0,90	1
Azul	0,45 - 0,52	4
Verde	0,52 - 0,60	4
Vermelho	0,63 - 0,69	4
Infravermelho próximo	0,76 - 0,90	4

A imagem IKONOS II disponível para a região em estudo é um produto do tipo GEO, que é o mais barato e de menor precisão, que não sofreu tratamentos especiais além de correção geométrica. A precisão deste tipo de produto torna-se pior em áreas montanhosas, principalmente se for adquirida com uma visada *off-nadir* (TOUTIN e CHENG, 2001).

Cabe aqui realçar que a imagem utilizada neste trabalho foi tomada em situação bem extrema em termos de elevação (ângulo de elevação nominal: 64,73846°, Figura 14), já que segundo a Space Imaging (2006), as imagens

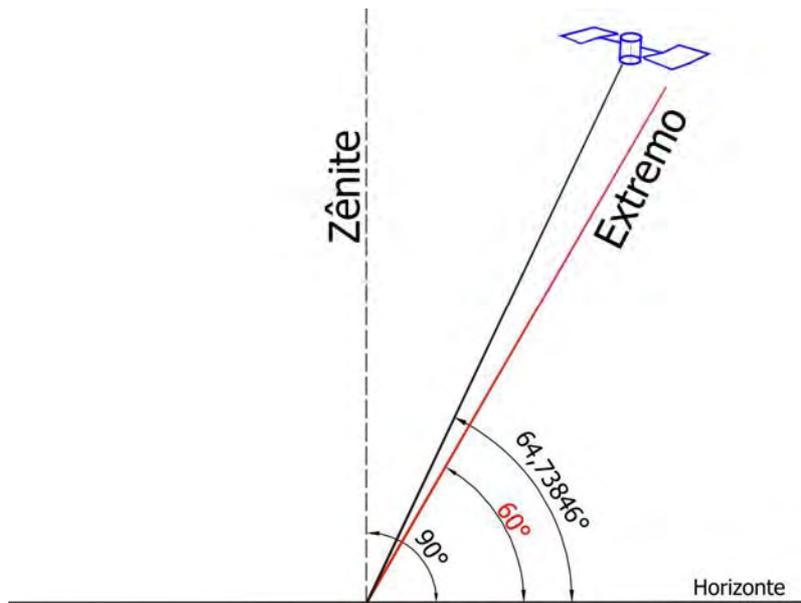


Figura 14 – Ilustração das condições da tomada da imagem pelo satélite.
Fonte: elaborado pelo autor.

tipo GEO são obtidas com inclinações entre 90° , que é o ideal, até 60° que é o caso extremo. Também se pode observar (Tabela 5) que a região em estudo tem relevo predominantemente montanhoso, o que faz com que a deformação do relevo seja mais acentuada.

3.2.2. Receptores GPS e obtenção de pontos de controle terrestres

As coordenadas dos pontos de controles terrestres necessários para a ortorretificação das imagens foram obtidas utilizando o posicionamento GPS. Conforme recomendado nas normas do INCRA para posicionamento de imóveis rurais, adotou-se como critério para a definição da metodologia de posicionamento com GPS, que os pontos tivessem precisão superior a 0,5 m.

Para atender esta precisão, o método empregado foi o estático com um tempo mínimo de rastreamento de uma hora. Um ponto-base foi lançado aproximadamente no centro da área com 8 horas de rastreamento com um equipamento de duas frequências.

Para escolha dos locais do ponto-base e dos pontos de controle, adotou-se como critério:

- boas condições para a recepção de sinais emitidos pelos satélites; e

- pontos bem definidos na imagem, e com uma distribuição homogênea por toda a área de estudo.

Desta forma, foram obtidos 91 pontos de controle selecionados em quinas de cercas e terreiros, cantos de pontes e muros, bifurcações de estradas, etc. Esta grande quantidade de pontos permitiu que se utilizassem diferentes distribuições e quantidades de pontos de controle terrestres (49), além de pontos de checagem (42) para testar os resultados da ortorretificação.

Ao término deste procedimento foram obtidas coordenadas geodésicas e coordenadas UTM dos pontos no sistema geodésico WGS-84 (*World Geodetic System – 84*).

Ao analisar a imagem Ikonos II disponível, optou-se por eliminar a região coberta com nuvens ou sombras. Para se conseguir uma boa distribuição dos pontos de controle terrestres ao longo da imagem, decidiu-se subdividir a área em quadrados com um quilômetro de lado, e ao realizar as operações de campo, procurou-se escolher, de preferência, no mínimo um ponto por quadrado. Na Figura 15 encontra-se a imagem com a subdivisão e pontos tomados como controle no processamento, ou como auxiliar na verificação ou checagem dos resultados.

As coordenadas dos pontos de controle terrestres obtidos com a utilização do rastreamento GPS se encontram no Anexo A.

3.2.3. Geração do Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para confecção do MDE, utilizaram-se os melhores materiais cartográficos disponíveis para a região, que são as bases cartográficas planialtimétricas em formato digital na escala 1:50.000 elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Trata-se do resultado de levantamento estéreo-fotogramétrico topográfico regular, cujas aerofotografias foram tomadas em 1965. O apoio suplementar e reambulação necessários à restituição foram realizados em 1976 pelo Departamento de Geodésia do IBGE, e a restituição, aerotriangulação e trabalhos afins foram realizados pelo Departamento de Cartografia também do IBGE.

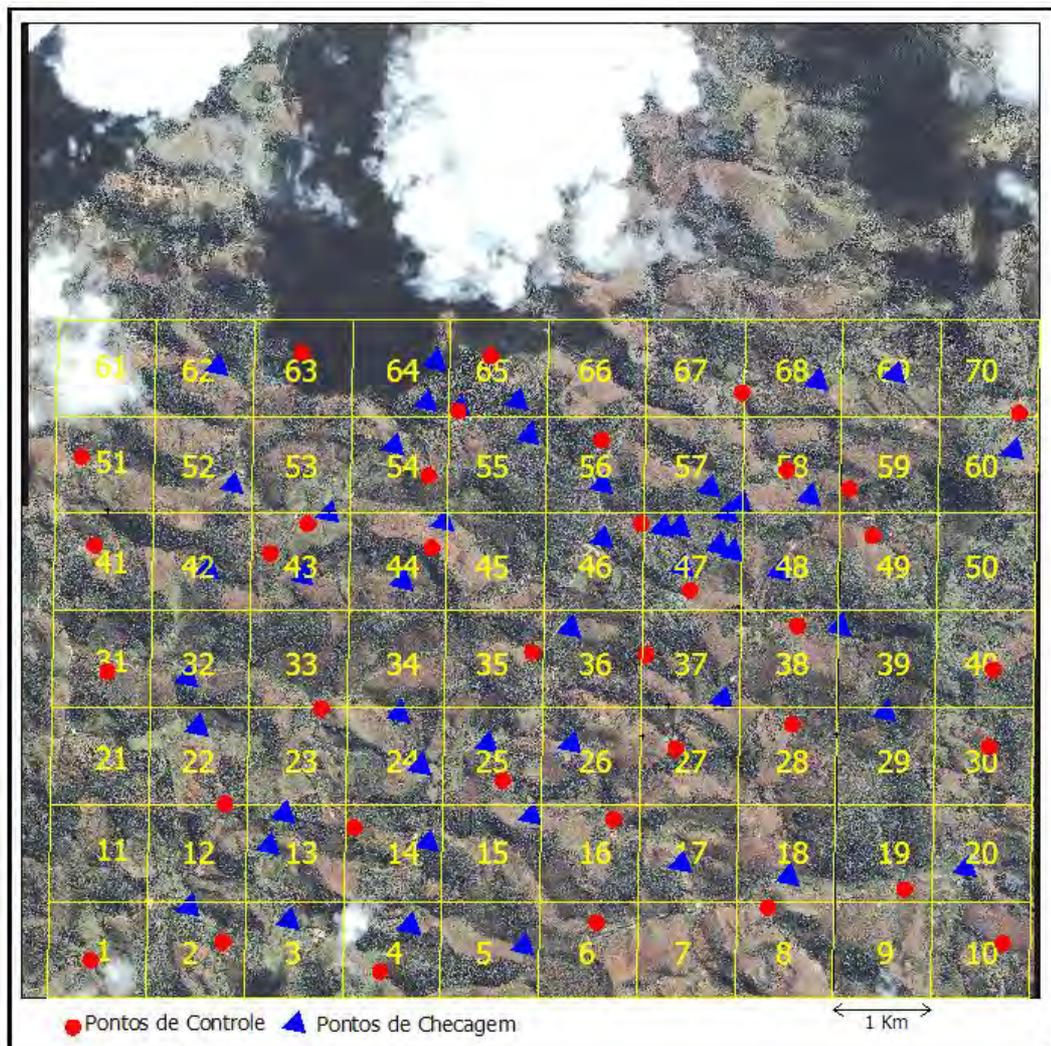


Figura 15 – Imagem Ikonos II com delimitação da região de estudo e posições dos pontos de controle e checagem obtidos com GPS.

As folhas utilizadas, no formato digital, são as de índice de nomenclatura SF-23-X-B-V-2 – São Miguel do Anta, e SF-23-X-B-V-4 – Ervália. Como a região de estudo não estava em apenas uma carta, houve a necessidade de realizar um recorte das cartas e um correspondente ajuste, de forma a possibilitar a geração do MDE necessário para a ortorretificação. Como ajustes realizados podem-se citar a junção de curvas de nível das diferentes cartas, a introdução de altitudes nas curvas de nível, o estudo da coerência da rede hidrográfica, etc. Todo este estudo foi realizado utilizando-se das ferramentas do programa ARCGIS.

Após verificada a coerência dos dados (curvas de nível, rede de drenagem e limite da área), gerou-se o MDE utilizando a ferramenta

TOPOGRID do ARCGIS, constituindo-se assim, num dos elementos necessário a ortorretificação da imagem. Este procedimento foi adotado para a geração de MDEs com diferentes resoluções (20, 10, 5 e 2 m).

Como a imagem original utilizada estava no sistema de projeção UTM e sistema geodésico WGS84, optou-se por trabalhar com o MDE também nestes sistemas, e utilizar as altitudes ortométricas.

3.2.4. Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)

Para mapeamento das áreas de preservação permanentes (APPs) é necessário gerar o modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC) para a região do estudo. Ribeiro *et al.* (2002, 2005) cita que estes modelos devem apresentar uma coincidência acentuada entre a drenagem derivada numericamente e a hidrografia real, estando isentos de sumidouros (depressões espúrias) que bloqueiam o trajeto do escoamento de água superficial. Deve ficar assegurado de que o escoamento superficial, de qualquer ponto do MDEHC, convirja para a calha do curso d'água e, dentro da calha, para a foz da bacia.

Em atenção a estas recomendações, tomou-se o MDE encontrado anteriormente, e utilizando-se as ferramentas do ARCGIS descritas em Ribeiro (2005), gerou-se o MDEHC constituindo-se no elemento básico e necessário para a delimitação das APPs.

3.2.5. Correção geométrica e ortorretificação

Para a realização deste trabalho foi utilizado o programa de computador PCI *OrthoEngine Satellite Edition* (Licença do IGA-MG), que suporta a aplicação dos três modelos de correção aplicados às imagens do sensor IKONOS II ou outros sensores (ASTER, Landsat, Spot, Radarsat, etc.). O processamento no programa é realizado em duas etapas, na primeira entra-se com os pontos de controle terrestres, e opcionalmente também com pontos de checagem, medindo-se as coordenadas de imagem e informando-se as coordenadas cartográficas correspondentes. Na opção de ortorretificação,

entra-se também com a altitude dos pontos. Como resultado desta primeira etapa tem-se os parâmetros de transformação com os resultados do ajustamento para os pontos tomados para controle terrestres, e para os pontos tomados para checagem dos resultados do ajustamento. Na segunda etapa realiza-se a correção ou ortorretificação com a realização de reamostragem de pixels.

Excetuando os estudos relacionados à influência das resoluções dos MDEs, as verificações de qualidades foram realizadas em duas etapas:

- Etapa 1: análise das qualidades posicionais de pontos calculados com os parâmetros de transformação ou ortorretificação resultantes dos ajustamentos de observações. Estes ajustamentos foram realizados utilizando os modelos matemáticos testados e tomando por base as coordenadas originadas de medições no campo com rastreo GPS e as correspondentes coordenadas extraídas da imagem bruta. O teste da qualidade da transformação ou ortorretificação foi realizado comparando as coordenadas calculadas dos 42 pontos de checagem com as coordenadas obtidas com GPS aqui tomadas como referência.

- Etapa 2: análise das qualidades posicionais de pontos medidos nas imagens geradas considerando diferentes modelos matemáticos e números de pontos de controle terrestres. O teste da qualidade da imagem foi realizado comparando as coordenadas medidas dos 42 pontos de checagem com os valores das coordenadas obtidas com medições de campo com rastreo GPS. As deformações resultantes do estudo desta etapa foram alvos de análise estatística tendo por objetivo a classificação do produto gerado de acordo com o Decreto 89.817.

Nos procedimentos de ortorretificação, testaram-se diferentes resoluções de MDEs, modelos matemáticos e quantidades de pontos de controle terrestres.

3.2.5.1. Influência da resolução do modelo digital de elevação na ortorretificação de imagens de alta resolução Ikonos II

Nesta parte da pesquisa foi avaliado o uso de Modelos Digitais de Elevações com diferentes resoluções, associado ao método das razões de

polinômios, para ortorretificação da imagem Ikonos. Optou-se pelo uso das razões de polinômios (equação 7) devido à simplicidade, precisão e não requerer parâmetros de transformações e, ou, informações de órbita do sensor, geralmente não disponibilizadas pelas empresas.

Utilizando-se 49 pontos de controle terrestres, juntamente com cada MDE, foram geradas quatro imagens ortorretificadas. A eficiência das resoluções dos MDEs foram avaliadas com o uso de 42 pontos de checagem, cujas coordenadas medidas nas ortoimagens tiveram seus resultados comparados com os resultados da medição de campo utilizando o rastreamento GPS, obtendo para isto a deformação em abscissa, ordenada e resultante, para cada ponto. A partir das deformações dos pontos, foram calculadas a deformação média, o desvio-padrão (ou RMS) e a deformação máxima. Os 91 pontos de controle terrestres (49 para a ortorretificação/transformação e 42 para checagem) encontram-se na Figura 16.

Utilizando como fonte de dados, o mapeamento digital do IBGE originário da escala 1/50.000 com equidistância de 20 m, foram gerados MDEs com resoluções de 2, 5, 10 e 20 m. Os MDEs gerados com resoluções diferentes, apresentam aparência semelhante ao ilustrado na Figura 17 que possui resolução espacial de 2 m.

As análises das qualidades das ortoimagens geradas foram feitas conforme descrito para a etapa 2. As análises correspondentes ao descrito para etapa 1 que se refere à qualidade de coordenadas calculadas com parâmetros de transformação e ortorretificação, foram apresentados junto aos estudos da influência dos modelos matemáticos e dos números de pontos de controle terrestres.

3.2.5.2. Influência dos modelos matemáticos na correção geométrica e ortorretificação

Foram avaliados três modelos matemáticos na ortorretificação, cujas características encontram-se a seguir:

- Método Polinomial Simples: neste método são necessários apenas os pontos de controle terrestres. Para o ajustamento e cálculo dos parâmetros de transformação pode-se escolher a ordem do polinômio a ser utilizado. O

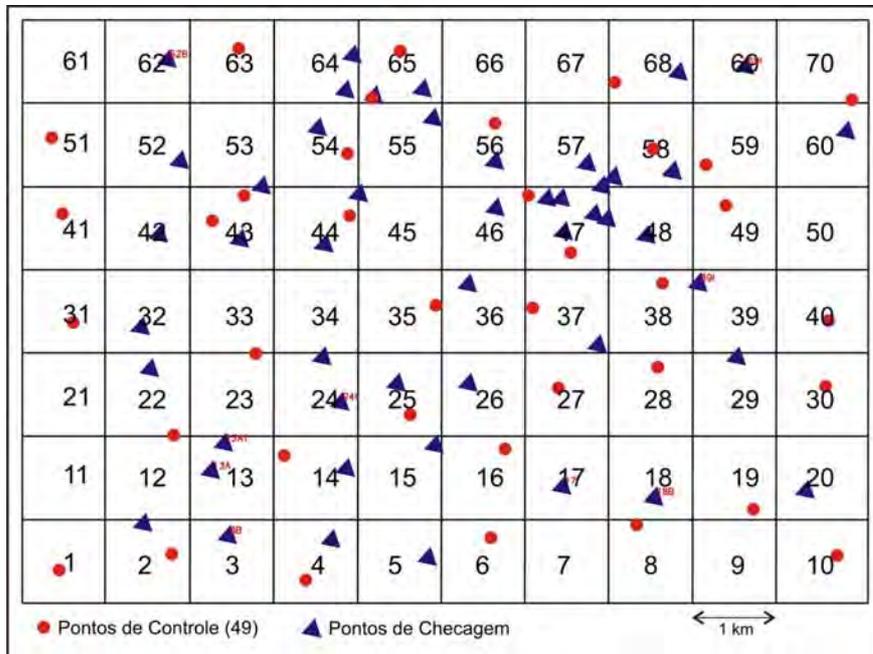


Figura 16 – Pontos de controle terrestres e pontos de checagem.

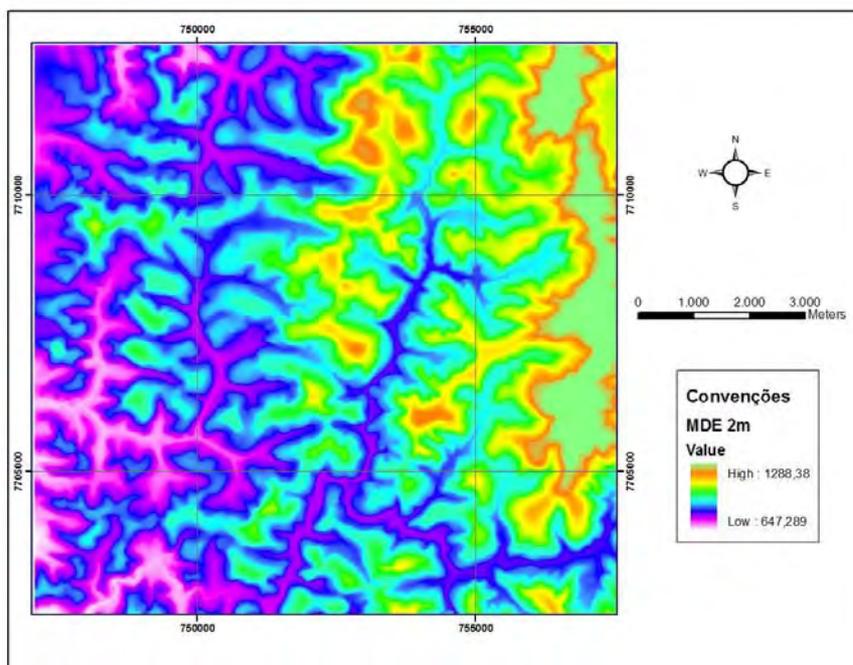


Figura 17 – Modelo Digital de Elevação da região em estudo com células de 2 m.

programa permite até a quinta ordem. Neste trabalho optou-se pelo polinômio de primeira ordem correspondente a uma transformação afim (equação 4).

- Método Razão de Polinômios: neste método entra-se com os pontos de controle terrestres e com o modelo digital de elevação. Para o ajustamento e cálculo dos parâmetros de transformação pode-se escolher o número de coeficientes polinomiais a serem utilizados. O programa permite ajustar com até vinte parâmetros. Tal como recomendado no manual do programa, neste trabalho foi realizado um teste e verificou-se que o melhor resultado foi obtido com seis parâmetros (equação 7).

- Método Paramétrico ou Rigoroso: neste método, além do arquivo contendo a imagem a ser ortorretificada, deve-se ter junto a ele um arquivo txt com o mesmo nome, contendo as informações do metadados que acompanha a imagem. Ao informar o nome da imagem, o programa efetua uma leitura na imagem e metadados e gera um arquivo contendo a mesma imagem, mas acompanhada com os seus dados de órbita. Feito isto, parte-se para a etapa de introdução dos pontos de controle, tal como nos métodos anteriores (equações 8 e 9).

Similarmente ao passo anterior, foram usados 49 pontos de controle terrestres para os procedimentos de correção geométrica/ortorretificação e 42 pontos de checagem para avaliar as imagens resultantes dos três modelos matemáticos. Nestes procedimentos, optou-se por um MDE com grade regular ou resolução espacial de 2 m.

3.2.5.3. Influência do número de pontos de controle terrestres na ortorretificação de imagens Ikonos II

Nesta etapa avaliou-se a influência do número e distribuição de pontos de controle terrestres, associados ao método das razões de polinômios, a partir de um MDE com 2 m de resolução. Ressalta-se novamente, que os pontos de controle terrestres são aqueles usados nos ajustamentos dos modelos matemáticos da ortorretificação, enquanto os outros, ditos pontos de checagem, não participam do ajustamento, mas são usados para verificação da qualidade dos produtos resultantes. A partir das deformações dos pontos, foram calculadas a deformação média, o desvio-padrão ou RMS e a

deformação máxima. Neste experimento foram utilizados 49, 25 e 11 pontos de controle terrestres.

Na Figura 18 encontra-se uma ilustração com a subdivisão da região de estudo em quadrados com um quilômetro de lado, bem como a distribuição e os números de pontos de controle terrestres testados.

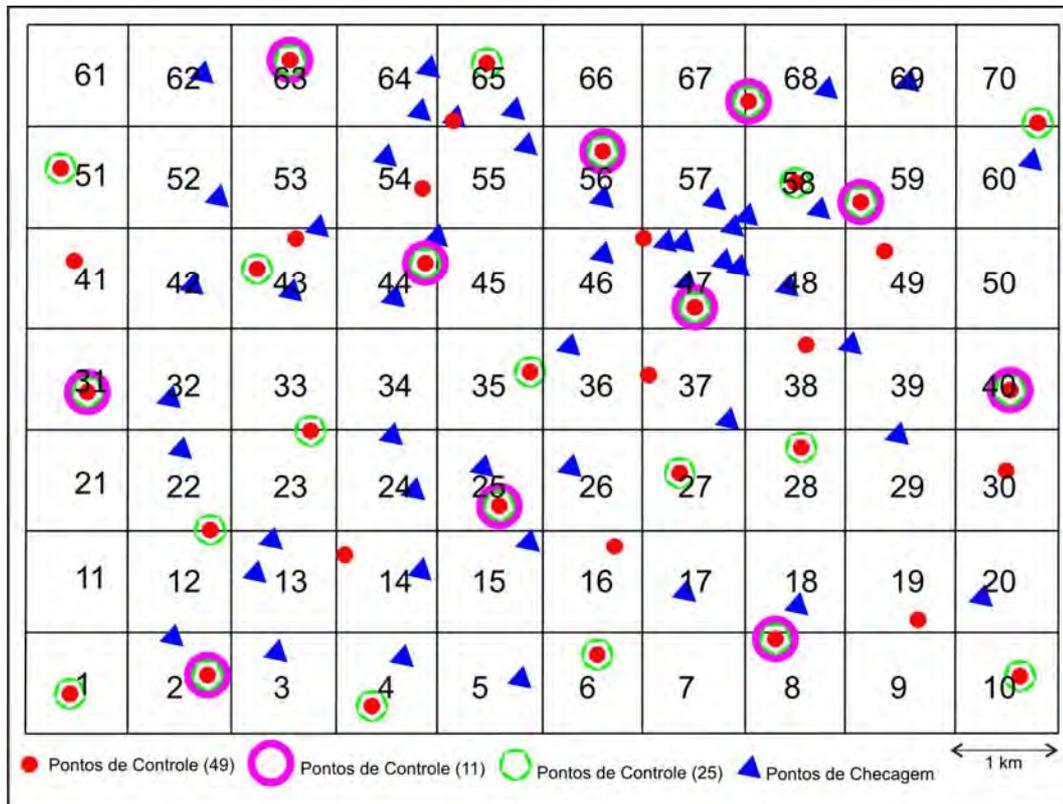


Figura 18 – Localização dos pontos de controle e de checagem.

Neste estudo foram testados diferentes números de pontos de controle terrestres, seguido de um ajustamento para cada número de pontos de controle terrestres (pct) testado, gerando com isto novos parâmetros de transformações. Assim, torna-se conveniente realizar também a análise da Etapa 1 e verificar as qualidades posicionais de pontos calculados com os parâmetros de transformação ou ortorretificação resultantes dos ajustamentos de observações.

3.2.6. Análise estatística

A análise da exatidão de uma carta é feita baseando-se numa análise estatística das discrepâncias (ΔN_i , ΔE_i e Δh_i) entre as coordenadas observadas

na carta (N_i , E_i e h_i) e as coordenadas de referência (N_{ir} , E_{ir} e h_{ir}), calculadas para cada ponto i por:

$$\Delta N_i = N_i - N_i^r$$

$$\Delta E_i = E_i - E_i^r$$

$$\Delta h_i = h_i - h_i^r$$

No lugar das discrepâncias planimétricas das componentes (abscissa e ordenada), pode-se utilizar na análise os erros da resultante, conforme pode ser visualizado na Figura 19.

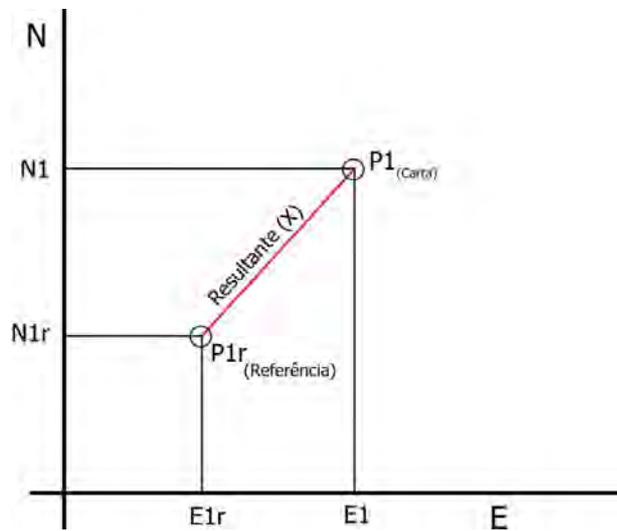


Figura 19 – Análise da resultante. Fonte: Elaborada pelo autor.

A resultante, a média, bem como o desvio-padrão das discrepâncias amostrais resultantes podem ser calculadas pelas equações 10, onde a variável X pode representar qualquer uma das coordenadas, sejam elas planimétricas, ou altimétricas:

$$X_i = \sqrt{(N_i - E_i^r)^2 + (E_i - E_i^r)^2}$$

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \tag{10}$$

$$RMS = S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2}$$

Desta forma, pode ser realizado com as discrepâncias planimétricas das abscissas e ordenadas (N e E), e o mesmo pode ser feito com a altitude (h). Os erros podem ser apurados em valores absolutos, já que isto é o necessário para uma análise estatística, porém, desejando, pode-se apurar o sentido em que os erros ocorrem.

Merchant (1982) diz que primeiramente deve-se realizar um teste de detecção de tendências, que apura se os resultados estão isentos de erros sistemáticos. Em seguida, trata de uma análise de precisão, onde esses testes são baseados no nível de significância de 90% conforme recomenda o Decreto Lei nº 89.817/84. Para a análise de tendência utiliza-se a distribuição t de Student, enquanto a análise de precisão usa a distribuição qui-quadrado χ^2 . Os testes de hipóteses devem ser efetuados sobre a média e desvio-padrão amostral das discrepâncias nas abscissas, ordenadas e altitudes.

Galo (1994), Leal (2006) e outros sugerem a estimativa intervalar dada pela distribuição t de Student por ser particularmente indicada para amostras menores que 30, consideradas pequenas. Consiste em construir um intervalo de confiança de 90% de certeza para a média populacional a partir da média e variância amostral que são conhecidas. Para a realização desta análise, pressupondo que os dados relacionados à posição só contem erros acidentais, considera-se que eles atendem uma distribuição normal.

Leal (1998) também fala sobre a análise da precisão utilizando-se da estimativa intervalar dada pela distribuição Qui-quadrado χ^2 , adotando-se um intervalo de confiança de 90% para a variância populacional σ^2 , a partir da variância amostral s^2 .

3.2.6.1. Teste estatístico da exatidão

A análise consiste em construir um intervalo de confiança de 90% de probabilidade para a média populacional μ , a partir da média amostral \bar{X} e da variância amostral s^2 , dada por:

$$IC = \mu \pm \bar{X} + (t_{\alpha}) \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

em que

μ = média populacional;

\bar{X} = média amostral;

s = desvio-padrão amostral;

n = tamanho da amostra

α = nível de significância = 10% para um intervalo de confiança de 90%; e

t_α = valor tabelado na distribuição de Student, para n e α .

Obtido o valor de μ , o próximo passo é aplicar um teste de hipótese com nível de significância de 10%, para validação da exatidão, confrontando a hipótese H_0 com a H_1 :

$$H_0 : \mu \leq \mu_0$$

$$H_1 : \mu < \mu_0$$

em que

μ_0 = é a média populacional esperada, obtida em função da classe da carta conforme normas ou o Decreto nº 8.9817/84.

O cálculo do valor da estatística amostral t pode ser calculado por:

$$t_{calc} = \frac{(\bar{X} - \mu_0)}{s} \sqrt{n}$$

O valor de t_{calc} amostral deve ser confrontado com o valor de t_α tabelado da distribuição t de Student para um determinado nível de significância $(1-\alpha)$ (Figura 20). O valor de t amostral não satisfazendo a desigualdade $t_{calc} < t_\alpha$ rejeita-se a hipótese H_0 .

Realiza-se a análise a partir do valor da PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) para a classe A, e na hipótese da não aceitação, faz-se o mesmo estudo considerando o valor para a classe B e para a classe C, se for o caso, verificando-se com isto em qual classificação se encaixa a carta sob o aspecto exatidão.

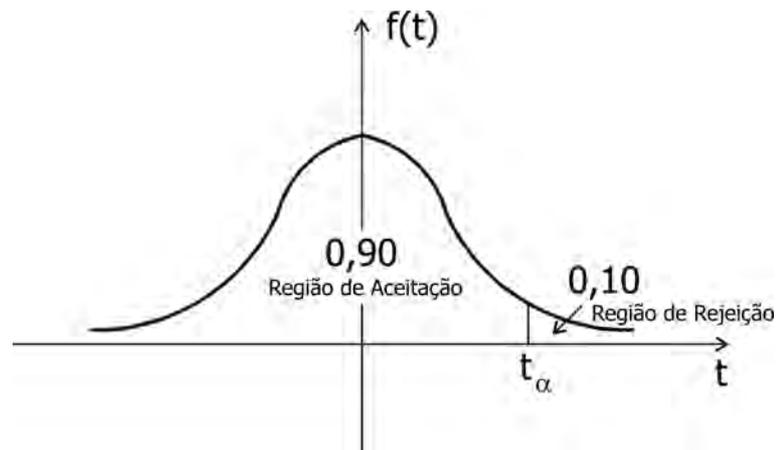


Figura 20 – Região de aceitação e rejeição do teste de exatidão (PEC90 ou 90% de confiança).

3.2.6.2 Teste estatístico da precisão

Conforme foi mencionado anteriormente, a precisão reflete o grau de dispersão em torno da média, identificando a coerência posicional entre as feições de uma carta.

Para verificar a precisão de uma carta ou um documento cartográfico qualquer, segue-se procedimento semelhante ao desenvolvido na determinação da exatidão, diferindo-se pelo tipo de teste a ser aplicado, utilizando-se o desvio-padrão, em que se tomava como base a média.

A estimativa do desvio-padrão populacional (σ) a partir do desvio-padrão amostral (s) é dada por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(n-1) \cdot s^2}{\chi^2_{1-\alpha}}}$$

em que $\chi^2 (1-\alpha) \rightarrow$ é o valor obtido na tabela da distribuição Qui-quadrado, onde se utiliza como argumento o grau de liberdade $(n-1)$ associado à probabilidade α .

A seguir, aplica-se um teste de hipótese com nível de significância de 10%, formulando-se as seguintes hipóteses:

$$H_0 : \sigma^2 \leq \sigma_0^2$$

$$H_1 : \sigma^2 > \sigma_0^2$$

em que σ_0 é o erro-padrão máximo admissível (ou desvio-padrão) em precisão, obtido em função da classe da carta conforme normas ou Decreto nº 8.9817/84.

Para o cálculo do valor da estatística amostral Qui-quadrado (χ_x^2) utiliza-se da equação:

$$\chi_x^2 = (n - 1) \frac{s^2}{\sigma_0^2}$$

A hipótese H_0 é aceita (Figura 21) se este valor satisfaz a desigualdade

$$\chi_x^2 \leq \chi_{(n-1; \alpha)}^2$$

em que α é o nível de significância e é igual a 10% para um intervalo de confiança de 90%.

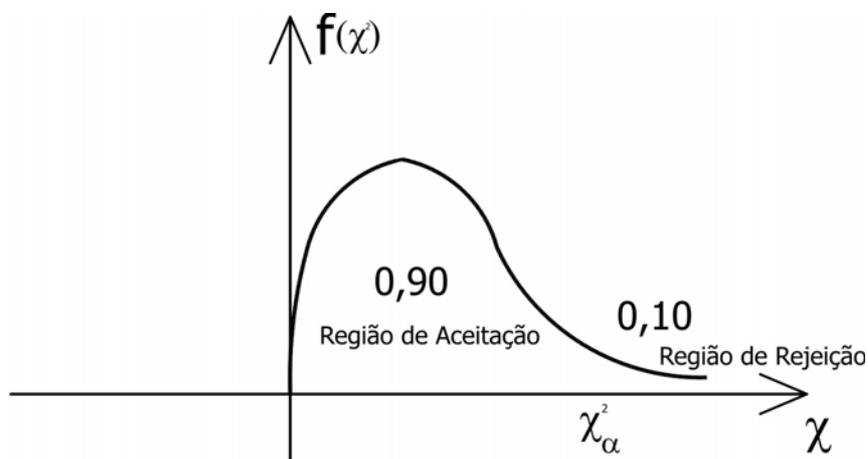


Figura 21 – Região de aceitação e rejeição do teste de precisão (PEC90 ou 90% de confiança).

Realiza-se a análise a partir do valor do EP (erro-padrão) para a classe A, e na hipótese da não aceitação, faz-se o mesmo estudo considerando o valor para a classe B e para a classe C, se for o caso, verificando-se com isto em qual classificação se encaixa a carta sob o aspecto precisão.

Na Tabela 8 encontra-se de forma resumida as etapas a serem seguidas para a realização do teste estatístico. Os seguintes dados são necessários:

- n → número de observações;
- s → desvio-padrão amostral;
- \bar{x} → média amostral; e
- IC → intervalo de confiança (90%).

Tabela 8 – Etapas necessárias para a realização do teste estatístico da análise de qualidade cartográfica

Etapas do Teste Estatístico		
1	Avaliação da exatidão/acurácia	Pela norma ver → μ_0
	Estimar a média populacional (μ) a partir da média amostral (\bar{X})	$t_{\alpha, n-1} \Rightarrow$ tabelado ($\alpha = 1 - IC$) ($n - 1$) $t_{calc} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s} \cdot \sqrt{n}$
	Realizar teste de hipótese para a média (t de Student)	Ho : $\mu \leq \mu_0$ OU $t_{calc} \leq t_{\alpha, n-1}$ H1: $\underline{\mu} > \underline{\mu_0}$
	Aceitar/rejeitar a hipótese H_0	
2	Avaliação da precisão	Pela norma ver → σ_0
	Estimar o desvio-padrão populacional a partir do desvio-padrão amostral	$\chi^2_{\alpha} \Rightarrow$ tabelado ($\alpha = 1 - IC$) ($n - 1$) $\chi^2_{\alpha} = (n - 1) \cdot \frac{s^2}{s_0^2}$
	Realizar teste de hipótese para o desvio-padrão (Qui-quadrado)	Ho : $\sigma^2 \leq \sigma_0^2$ ou $\chi^2_x \leq \chi^2_a$ H1 : $\sigma^2 > \sigma_0^2$
	Aceitar/rejeitar a hipótese H_0	

3.2.7. Influência dos sistemas geodésicos e de coordenadas geográficas nos mapeamentos cartográficos originados de imagens de satélites

Um dado georreferenciado é aquele que possui coordenadas amarradas a um modelo matemático que representa a Terra, ou seja, latitude, longitude e altitude. Em algumas situações são conhecidas as coordenadas cartográficas que podem ser convertidas em coordenadas geográficas. Entretanto, para se

conhecer as coordenadas geográficas de um ponto, é necessário também saber em qual sistema de referência e modelo matemático ele foi obtido, ou seja, é necessário conhecer em qual sistema geodésico ele se encontra (GEMAEL, 1984).

Devido à variedade de sistemas geodésicos disponíveis, é comum haver confusões por parte daqueles que fazem determinações e, ou, operações envolvendo transformações de pontos ou imagens, cartas, etc.

No presente trabalho foi analisado a influência de sistemas e elementos geodésicos de uso comum na comunidade técnica em transformações tipo ortorretificações de imagens de sensores orbitais.

Para ser usado como base de referência, realizou-se um levantamento topográfico digital de um trecho da região, utilizando-se estação total GTS 212 TOPCON, partindo-se de marcos com posições conhecidas obtidas com rastreamento GPS. Como resultado, gerou-se uma planta digital com curvas de nível de 2 em 2 metros, com coordenadas UTM no sistema WGS 84.

Por meio de superposições (*overlays*) foi confrontado o levantamento topográfico digital, com as imagens Ikonos II, tipo bruta (tal como é entregue pelos fornecedores) e submetidas a diferentes tratamentos, como: imagem ortorretificada sem falha nos dados; imagem ortorretificada, mas com falha no sistema geodésico dos pontos de controle terrestres; imagem ortorretificada, mas com falha no sistema geodésico do MDE e imagem ortorretificada, mas com as altitudes dos pontos de controle terrestres informada como sendo geodésica, quando deveria ser ortométrica.

A seguir são apresentadas as situações onde foram realizadas superposições do mapa digital usado como referência as diferentes imagens, bruta e ortorretificadas.

Situação 1: superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem bruta.

Situação 2: superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem resultante de georreferenciamento expedito (ou transformação polinomial simples).

Situação 3: superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem resultante de georreferenciamento rigoroso (ortorretificação).

Situação 4: superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem gerada com incoerência ao informar sobre sistema geodésico. No processo de ortorretificação, o MDE utilizado encontrava-se no sistema geodésico correto (WGS 84), já os pontos de Controle terrestres estavam no sistema errado (SAD 69).

Situação 5: superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem gerada com incoerência ao informar sobre sistema geodésico. No processo de ortorretificação, o MDE utilizado encontrava-se no sistema geodésico errado (SAD 69), já os pontos de Controle estavam no sistema correto (WGS 84)

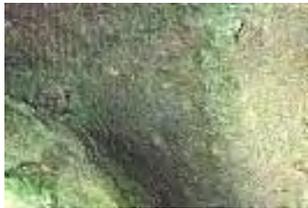
Situação 6: superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem gerada com incoerência ao informar sobre sistema geodésico. No processo de ortorretificação, o MDE encontrava-se no Sistema geodésico correto (WGS 84), os pontos de controle terrestres também estavam no sistema correto (WGS 84), só que os pontos de controle estavam com altitudes geodésicas e não ortométricas como é o caso do MDE. Cabe aqui ressaltar que a ondulação do geoide média da região é 6,76 m.

3.2.8. Mapeamento dos imóveis rurais e das classes de uso e cobertura da Terra

Para o presente trabalho foram delimitadas as linhas divisórias de 151 propriedades rurais por meio de entrevistas com proprietários no campo e tendo em mãos a imagem IKONOS II obtida em maio de 2005 devidamente ortorretificada. A área total avaliada foi de aproximadamente 3.600 ha.

Na sequência, foi efetuado o mapeamento do uso e cobertura da terra, como definição das seguintes classes: cafezal, área agrícola, reflorestamento, pasto limpo, pasto sujo, cobertura florestal e edificações. A descrição de cada uma delas se encontra na Tabela 9. Para tal foi efetuada uma classificação visual da imagem ortorretificada na tela do computador, seguida de visita a campo para sanar possíveis dúvidas que tenham surgido durante a classificação. Como resultado desta operação foi obtido um mapa temático no formato vetorial.

Tabela 9 – Definição das classes de cobertura e uso da terra mapeadas na imagem Ikonos II

Classe Temática	Chave de Interpretação	Descrição
Cobertura florestal		Áreas cobertas com vegetação nativa nos diferentes estágios de vegetação (capoeira, mata, etc.)
Pasto sujo		Pequenos arbustos associados à pastagem abandonada
Pasto limpo		Áreas transformadas para o pastoreio
Cafezal		Cultura perene
Área agrícola		Culturas anuais (milho, feijão, hortaliças, etc.)
Reflorestamento		Áreas com plantio de eucalipto e pinus.
Edificações		Edificações e benfeitorias (Casas de colonos, terreiros de secagens de grãos, tulhas, etc.)

3.2.9. Delimitação das áreas de preservação permanente (APPS) e reservas legais

A delimitação das áreas de preservação permanente foi efetuada seguindo a metodologia desenvolvida por Ribeiro *et al.* (2002, 2005), que atende às recomendações da Resolução nº 303 do CONAMA, e permite a delimitação automática das seguintes categorias de APPs: terço superior dos morros; encostas ou elevações com declividade superior a 100% ou 45°; entorno de nascentes e suas áreas de contribuição; margens dos cursos d'água; e ao longo das linhas de cumeada, nos terço superiores das sub-bacias. Neste procedimento é requerido um MDEHC.

Inicialmente, foi produzida uma base de dados digital no formato matricial (grade) para cada uma das cinco categorias de APPs. Os mapeamentos foram gerados com uma grade regular ou resolução espacial de 10 m, compatível com as cartas do IBGE na escala 1:50.000 utilizadas como base de dados de altimetria e hidrografia utilizada.

Numa segunda etapa do estudo foi gerado um mapa, no formato vetorial, contendo simplesmente as regiões que se encontra em APP ou não, independente da categoria de APP.

Não tendo informações a respeito do posicionamento das Áreas de Reservas Legais (ARLs) dos imóveis em estudo, foram considerados neste trabalho como apropriado para ARLs as áreas com cobertura florestal correspondente às áreas coberta com vegetação nativa nos diferentes estágios de vegetação (capoeira, mata, etc.).

3.2.10. Delimitação das áreas de conflito de uso da terra

Para identificação e análise do conflito de uso nas áreas destinadas à preservação permanente foram utilizados o mapa temático com posicionamento das linhas divisórias dos imóveis rurais com as correspondentes classes de cobertura e uso da terra e o mapa contendo as regiões de APPs, independente da categoria de APP. Inicialmente, realizou-se a sobreposição desses mapas por meio das ferramentas disponíveis no módulo ArcMap do ArcGIS, encontrando-se as regiões de interseções. Em seguida, foram obtidas as áreas de conflito para cada classe de cobertura e uso da terra.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Correção geométrica e ortorretificação de imagem Ikonos II

Nesta etapa foram analisadas as influências das resoluções dos Modelos Digitais de Elevação, dos modelos matemáticos e do número de pontos de controle terrestres (pcts) na ortorretificação da imagem Ikonos II.

Para a geração das imagens ortorretificadas, foram usados 49 pct's quando se avaliou os modelos matemáticos e as resoluções dos MDEs. Em um outro procedimento avaliou-se também, além de 49 pct's, a influência de 25 e 11 pct's. Para a validação de todas as imagens corrigidas geometricamente e ortorretificadas foram usados 42 pontos de controle terrestres, aqui denominados de pontos de checagem.

4.1.1. Influência da resolução do modelo digital de elevação na ortorretificação de imagens

Tomando por base o modelo de ortorretificação das razões de polinômios e 49 pontos de controle terrestres, foram geradas ortoimagens com modelos digitais de elevações com as seguintes resoluções espaciais: 2, 5, 10 e 20 m. Para a análise da qualidade posicional dos produtos gerados, foram realizadas medições nas imagens em 42 pontos de checagem, cujos

resultados foram comparados com as coordenadas obtidas com GPS e tidas como referência.

Os resultados das deformações nas abscissas, ordenadas e resultantes obtidos nos pontos de checagem das ortoimagens geradas com as diferentes resoluções espaciais podem ser visualizados nas Figuras 22, 23, 24 e 25; já nas Figuras 26 e 27 encontram os resultados de forma resumida e mostrando as médias e valores RMS das deformações nas abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes e deformações máximas.

Analisando as Figuras 22, 23, 24 e 25 verifica-se visual e numericamente que as deformações em abscissas (E) apresentaram-se com valores em módulos ligeiramente maiores e com uma pequena predominância para valores negativos. Esta diferença pode ter acontecido devido às condições bem extremas do sensor na tomada da imagem, bem como as condições do relevo acidentado da região. Pode ainda ser resultado do uso de MDE originário de dados de tecnologia analógica e antiga.

Por uma análise das informações contidas na Figura 26 verifica-se que as médias dos valores absolutos das deformações em E no caso dos MDEs de 2, 5 e 20 m apresentam valores maiores, já os valores RMSs das deformações em E são maiores nas quatro ortoimagens estudadas. Pela Figura 26 podem ser observados também que os resultados apresentados com o uso do MDE de 2 m foram ligeiramente melhores.

Na Figura 27 encontra-se também uma síntese dos resultados mostrando as deformações médias, RMS e máximas a partir das ortoimagens geradas de MDEs com resoluções espaciais de 2, 5, 10 e 20 m.

Analisando a Figura 27 verifica-se também a tendência de superioridade dos resultados apresentados com o uso do MDE com 2 m em relação às demais resoluções, haja vista que as deformações médias e máximas foram menores, embora o valor RMS tenha-se mantido constante para as demais resoluções, exceto a de 20 m que foi ligeiramente superior.

Na Tabela 10 encontram-se os resultados da análise estatística realizada, objetivando a verificação do padrão de exatidão e precisão das ortoimagens para resoluções de 2, 5 10 e 20 m.

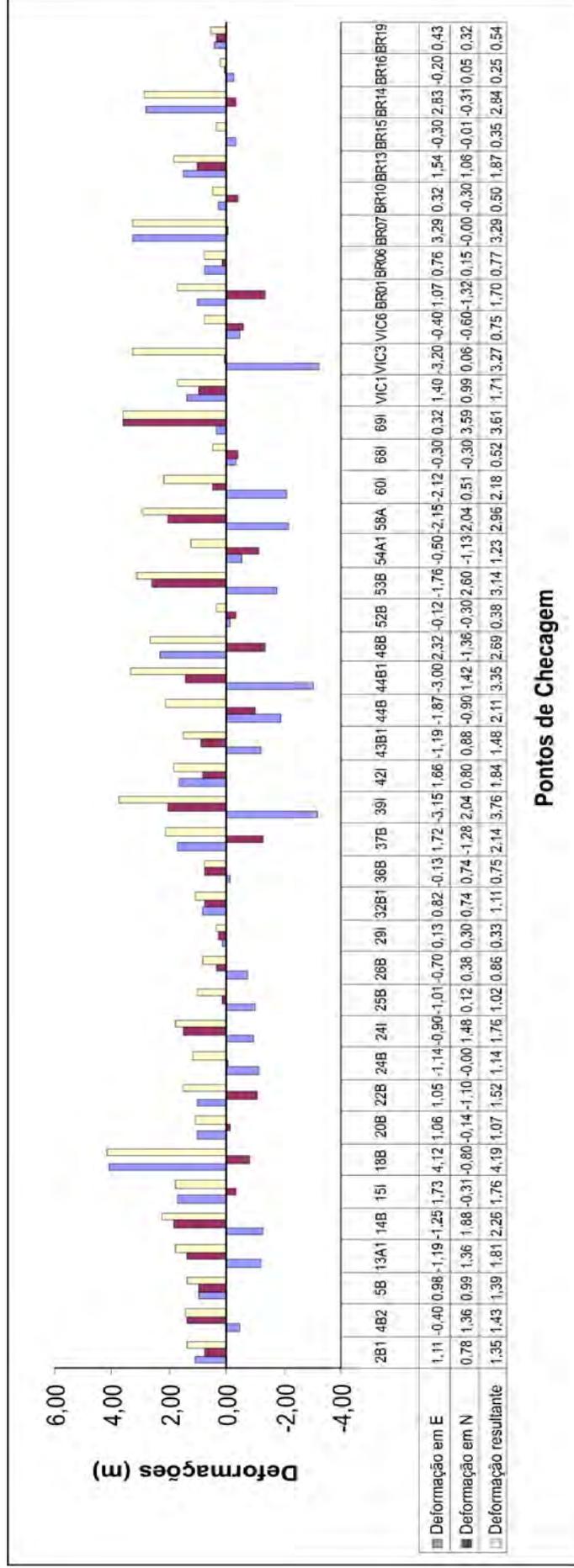


Figura 22 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controle terrestres, MDE de 2 m e modelo das razões de polinômios.

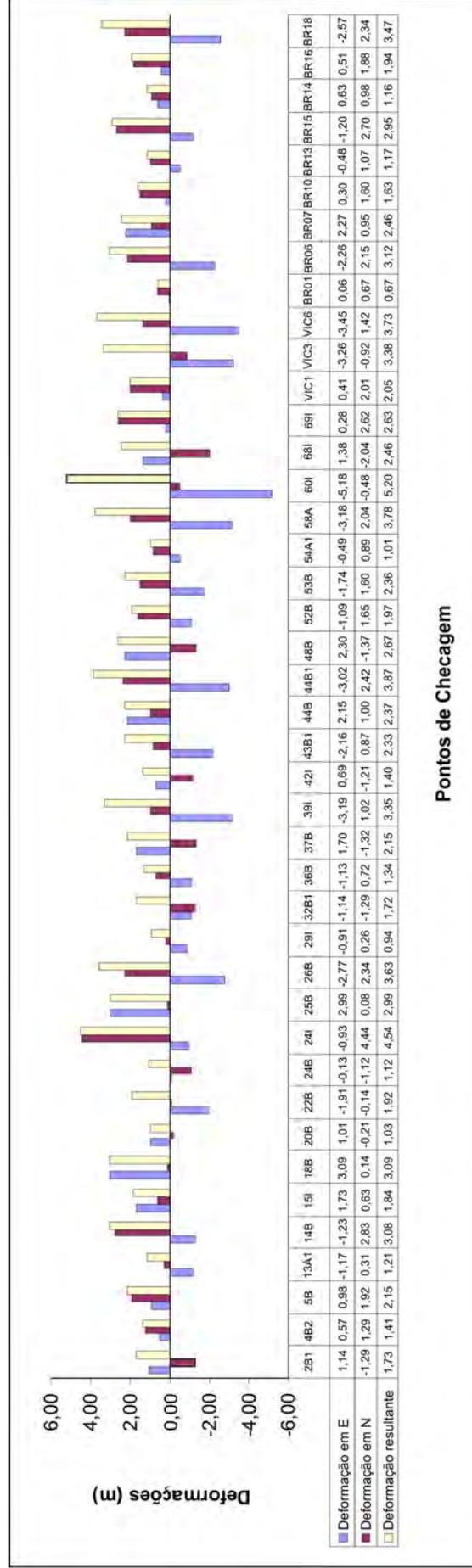


Figura 23 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controles, MDE de 5 m, e modelo das razões de polinômios.

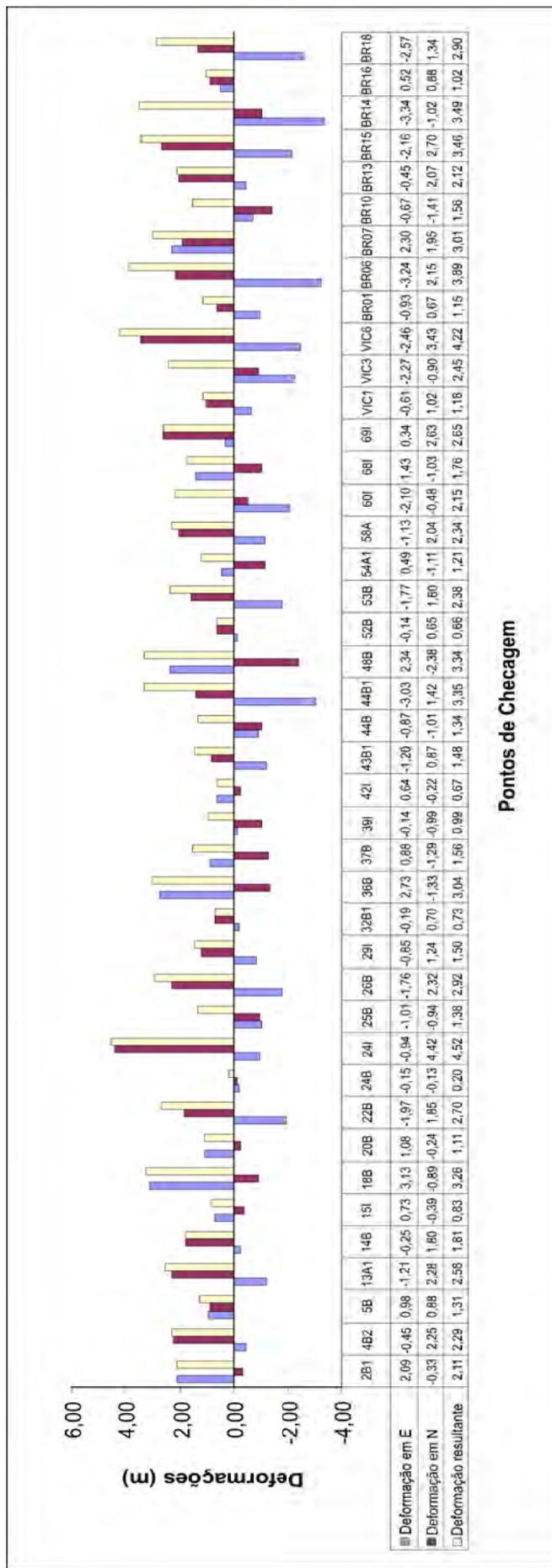
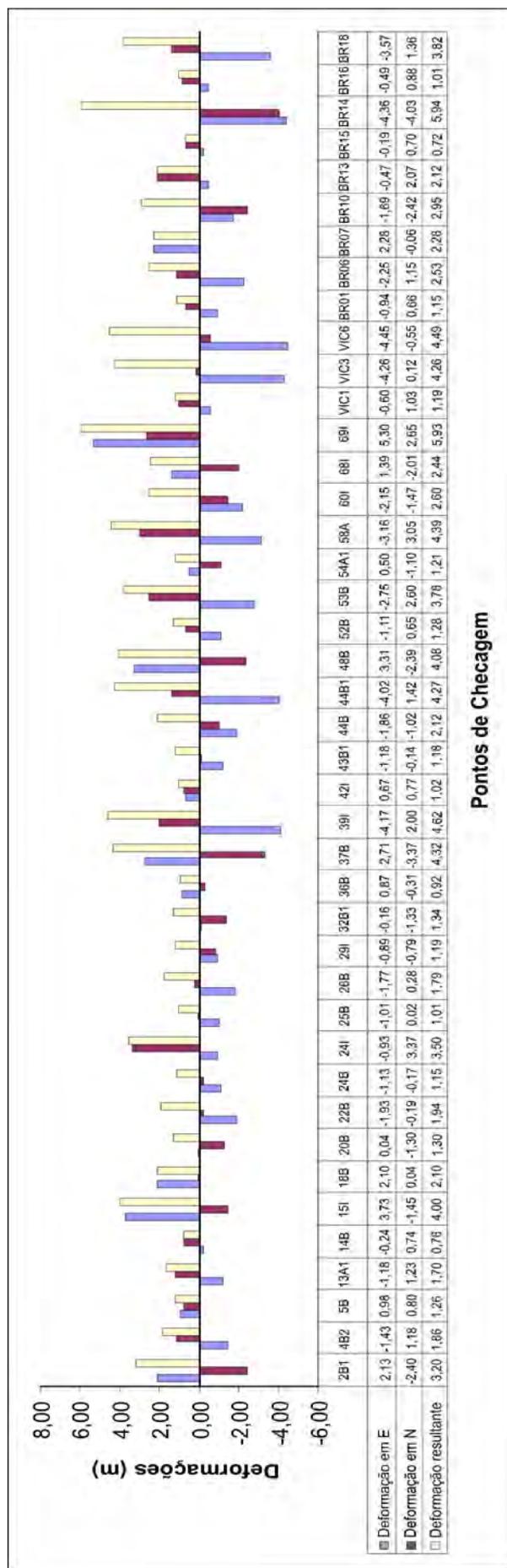


Figura 24 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controles, MDE de 10 m, e modelo das razões de polinômios.



Pontos de Checagem

Figura 25 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controles, MDE de 20 m, e modelo das razões de polinômios.

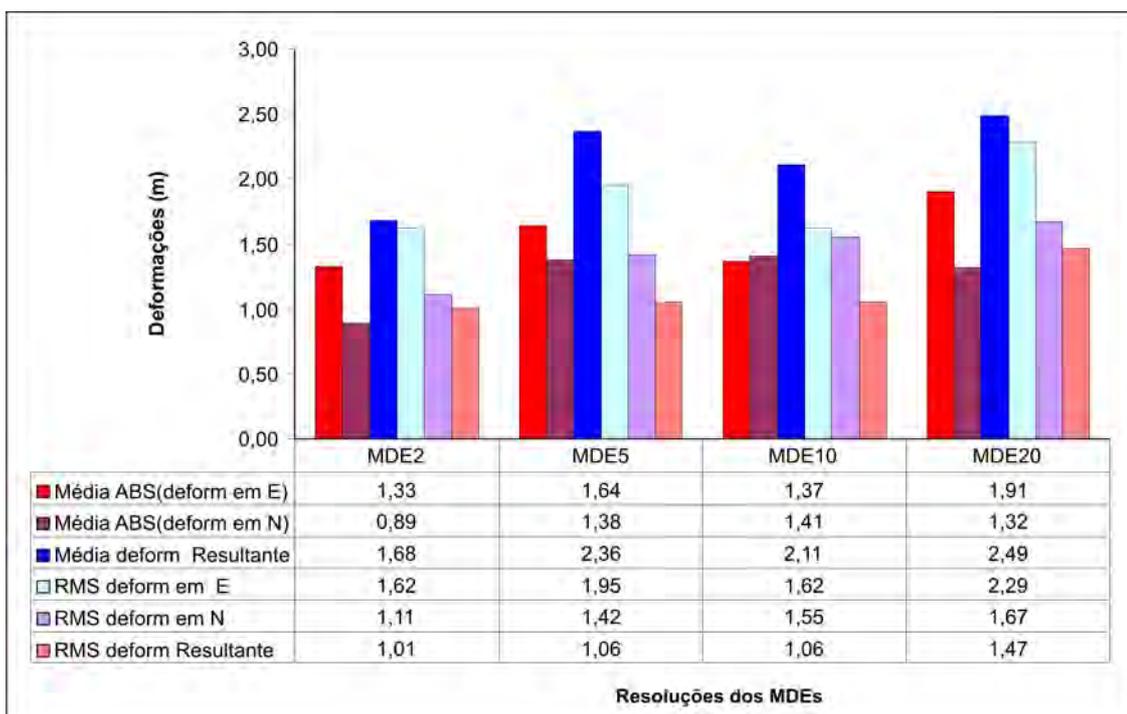


Figura 26 – Valores de RMSs e médias dos valores absolutos das deformações em abscissas (E) e ordenadas (N), e das deformações resultantes, obtidos com os pontos de checagem medidos nas imagens corrigidas, utilizando-se 49 pontos de controle terrestres para os quatro MDEs testados.

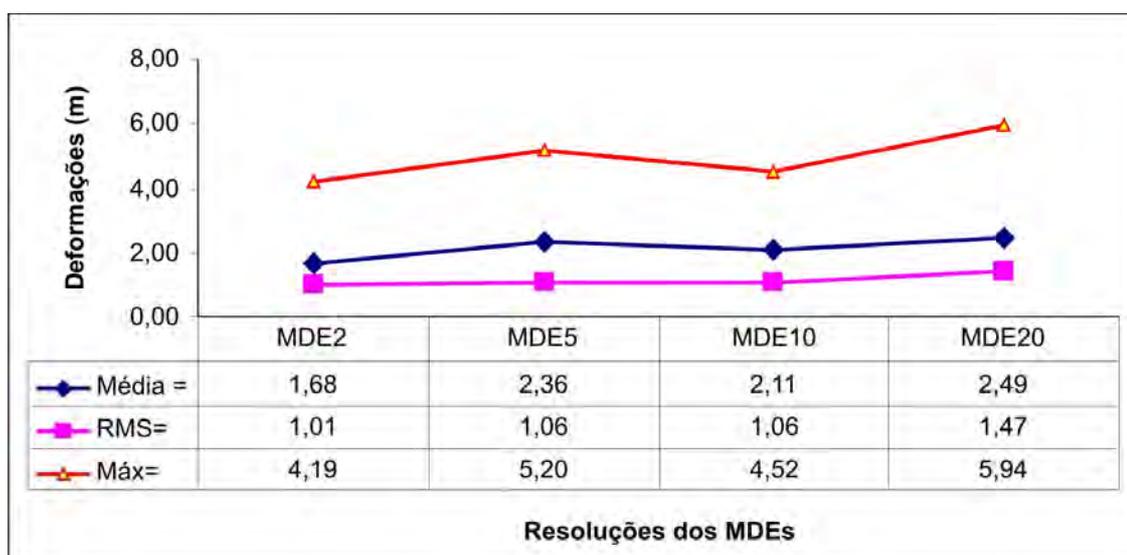


Figura 27 – Deformações médias, RMS e máximas para os quatro MDE testados.

Tabela 10 – Análise estatística do padrão de exatidão e precisão das ortoimagens para resoluções de 2, 5 10 e 20 m

		MDE →	2 m	5 m	10 m	20 m
Dados	Média amostral \bar{X}		1,68	2,36	2,11	2,49
	Desvio-padrão amostral (s)		1,01	1,06	1,06	1,47
	Número de amostras (n)		42	42	42	42
	Grau de liberdade (n-1)		41	41	41	41
	Intervalo de confiança (IC)		90%	90%	90%	90%
Padrão de Exatidão Escala 1/5.000	PEC máximo (Classe A) μ_0		2,50	2,50	2,50	2,50
	$t_{(\alpha, n-1)}$ (Tabela t de Student) ($\alpha = 1 - IC$)		1,303	1,303	1,303	1,303
Condição: $t_{calculado} < t_{(\alpha, n-1)}$	$t_{calculado} \quad t_{calc} = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s} \sqrt{n}$		-5,261	-0,856	-2,384	-0,044
	Satisfaz a condição?		Sim	Sim	Sim	Sim
Avaliação da Precisão: Escala 1/5.000	Erro-padrão máximo (Classe A) σ_0		1,50	1,50	1,50	1,50
	χ^2_{α} (v = 41, p = 0,10) (Tabela χ^2)		52,941	52,941	52,941	52,941
Condição: $\chi_x^2 \leq \chi_{\alpha}^2$	χ_{α}^2 amostral $\chi_x^2 = (n-1) \frac{s^2}{\sigma_0^2}$		18,588	20,474	20,474	39,376
	Satisfaz a condição?		Sim	Sim	Sim	Sim

Pelas análises estatísticas realizadas, todas as ortoimagens geradas se apresentaram classificadas com Padrão de Exatidão Cartográfica e erro-padrão Classe A para a escala 1:5000 com os MDEs com resoluções de 2, 5, 10 e 20 m.

Embora os dados que geraram os MDEs sejam originados da tecnologia analógica de cartas na escala 1:50.000 com curvas de nível com equidistância de 20 m, as condições da tomada da imagem sejam extremas, e a região apresentar um relevo montanhoso, os resultados apresentados foram bons para as quatro resoluções de MDE utilizadas, mostrando, contudo, que os melhores resultados foram obtidos com a resolução de 2 m.

Mediante os resultados apresentados com a utilização do MDE com 2 m de resolução, este será utilizado nas demais análises deste trabalho.

4.1.2. Influência dos três modelos matemáticos para georreferenciamento expedito e rigoroso (ortorretificação) de imagens Ikonos II

Antes da apresentação do estudo da qualidade da imagem corrigida ou ortorretificada, será apresentada uma verificação da qualidade dos resultados

do ajustamento onde foram determinados os parâmetros de transformação ou ortorretificação. Estes ajustamentos foram realizados utilizando de coordenadas originadas de medições no campo com rastreo GPS e as correspondentes coordenadas de imagem de 49 pontos de controle terrestres.

4.1.2.1. Qualidade dos pontos calculados com os parâmetros de transformação e ortorretificação

Nas Figuras 28, 29 e 30 encontram-se as deformações nas abscissas (E), ordenadas (N) e deformações resultantes, originados da aplicação dos parâmetros de transformação e ortorretificação aplicados aos pontos de checagem, obtidos respectivamente, pelos modelos: polinomial simples, razões de polinômios e modelo rigoroso. Na Figura 31 encontra-se uma síntese da aplicação dos parâmetros de ortorretificação com os pontos de checagem.

Analisando a Figura 28, verifica-se que o resultado da aplicação dos parâmetros de transformação originários do modelo polinomial simples conduziu a um resultado com predominância de deformações em abscissas (E) e ordenadas (N) positivas.

Analisando as Figuras 29 e 30 verifica-se visual e numericamente que as deformações nos pontos de checagem obtidos com as coordenadas calculadas com os parâmetros resultantes do ajustamento utilizando o modelo razões de polinômios são inferiores às deformações obtidas com o modelo rigoroso, apresentando com isto um melhor resultado. Entre os pontos resultantes da aplicação do modelo rigoroso, salientaram as deformações apresentadas pelos pontos 60I e 69I com deformações correspondentes a 13,4 e 8,61 m, bem superiores às dos demais pontos. Feito um estudo das informações ou condições destes pontos, não foram encontradas falhas, mas observou-se que os mesmos estão situados no extremo leste da imagem. Com relação ainda às deformações em abscissas (E) apresentadas pelo resultado da aplicação do modelo rigoroso, verifica-se uma tendência para valores negativos, e os valores absolutos das deformações em ordenadas (N) apresentam pequenos valores, em sua maioria, menores que 1 pixel da imagem, ou seja 1 m.

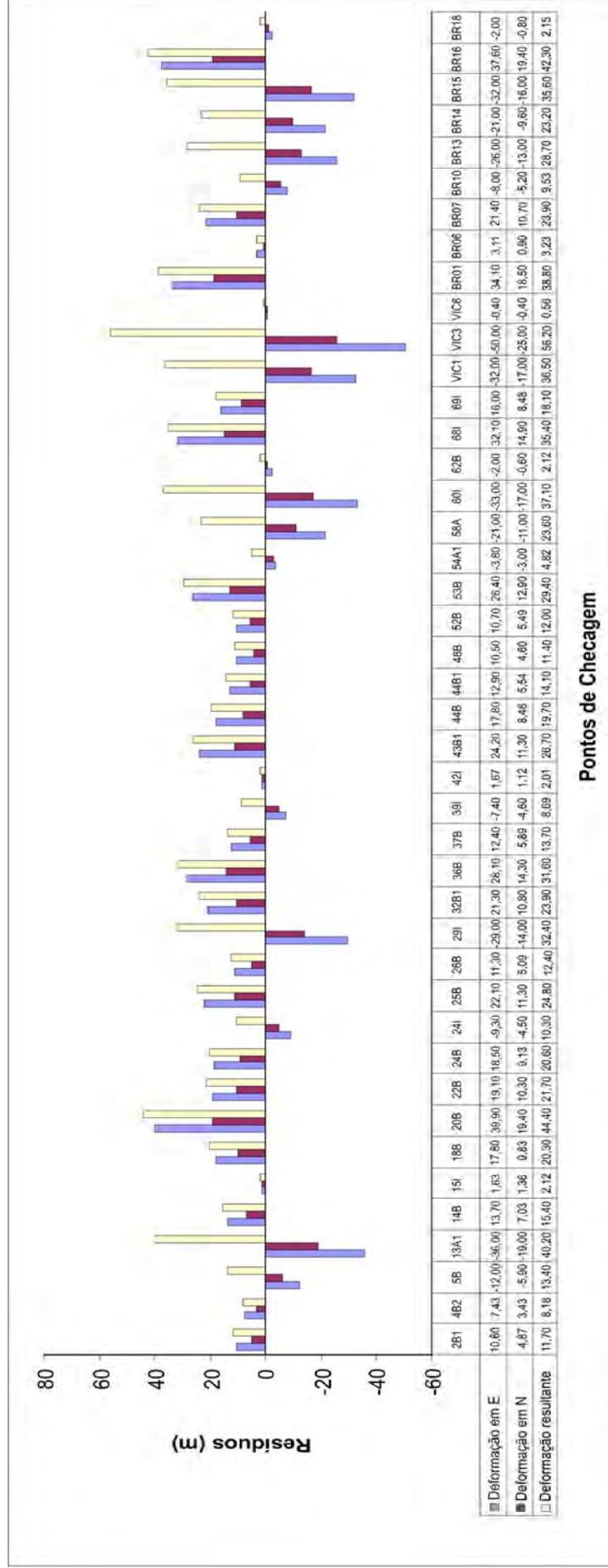


Figura 28 – Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de transformação obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e o modelo polinomial simples.

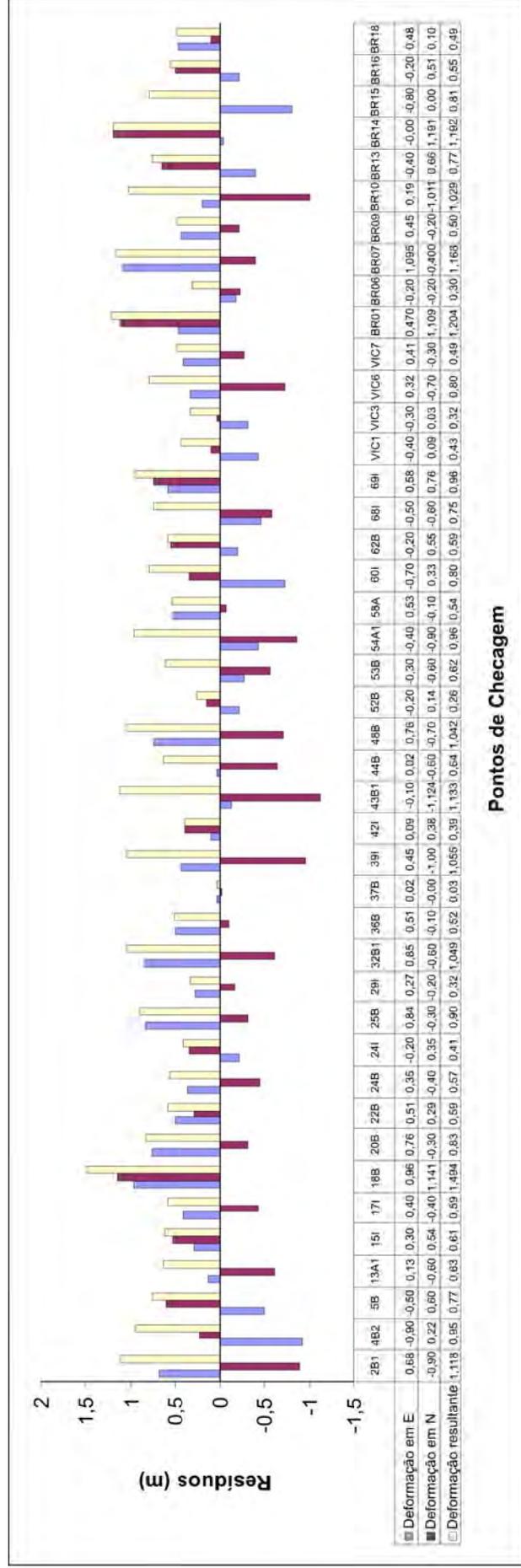


Figura 29 – Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortorretificação obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e o modelo das razões de polinômios.

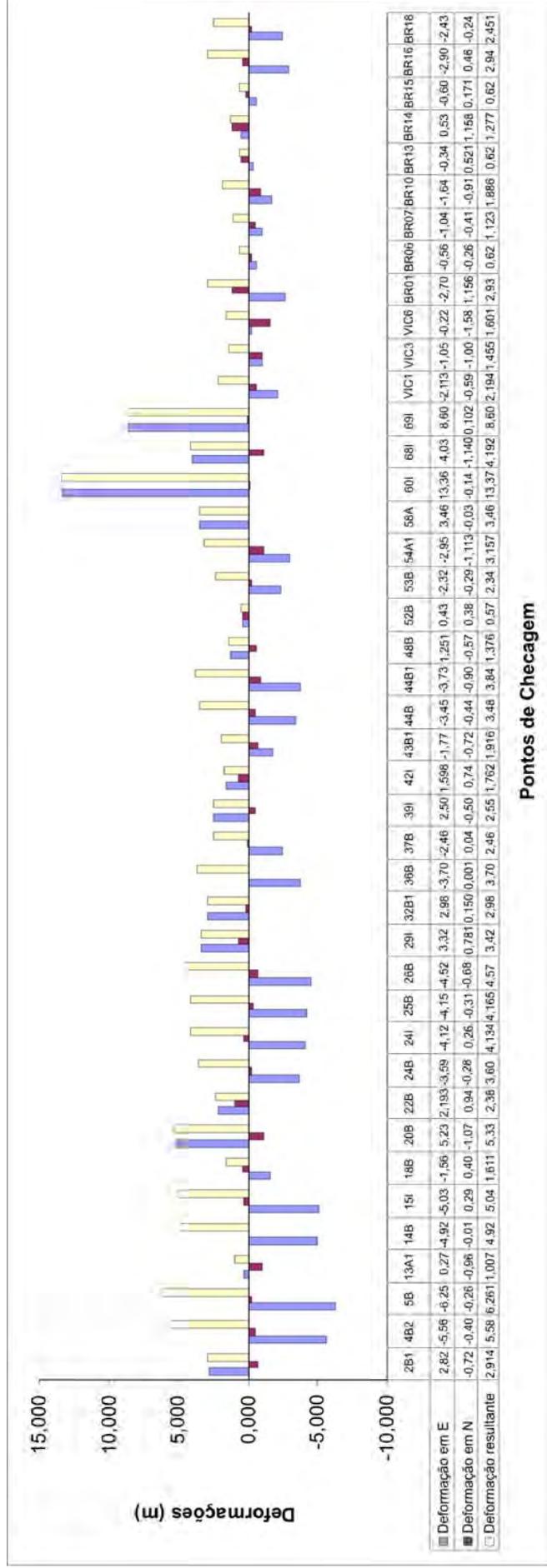


Figura 30 – Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortoreificação obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e o modelo rigoroso.

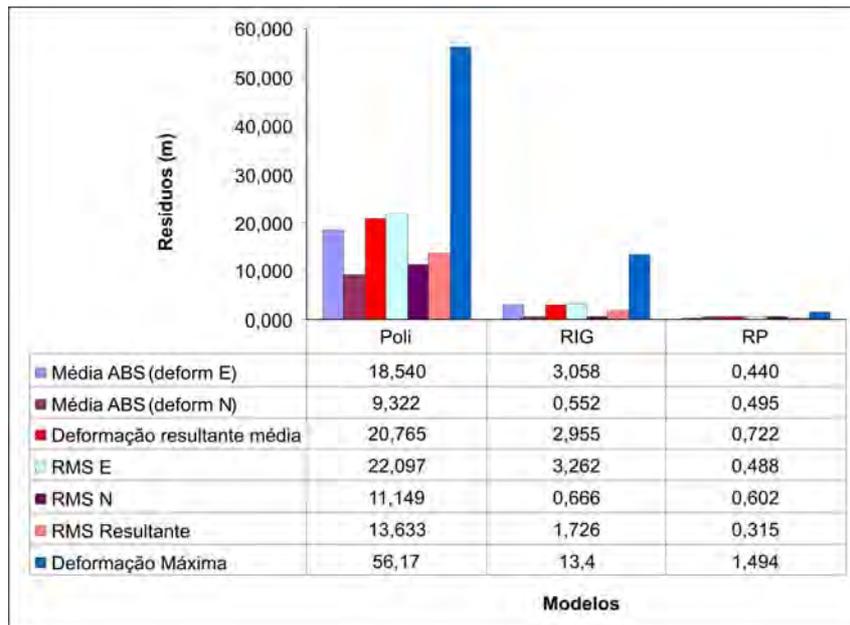


Figura 31 – RMSs e médias dos valores absolutos das deformações em abscissas (E) e ordenadas (N), das deformações resultantes, e deformações resultantes máximas obtidos com os pontos de checagem calculados com os parâmetros de transformações obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e os modelos: polinomial simples (Poli), razões de polinômios (RP) e rigoroso (RIG).

A maioria das deformações resultantes da aplicação do modelo das razões de polinômios (Figuras 29) se apresentou inferior a um pixel da imagem Ikonos utilizada (1 m).

Pela síntese de resultados apresentados na Figura 31, nota-se uma superioridade do modelo das razões de polinômios em relação ao modelo rigoroso.

Os estudos anteriores se referem apenas a influência da aplicação dos parâmetros resultantes dos ajustamentos utilizando os três modelos matemáticos e as coordenadas de campo e de imagem dos pontos de controle. O modelo rigoroso apresentou um resultado inferior ao das razões de polinômios, o que pode ter acontecido devido às condições bem extremas (ângulo de elevação $64,73846^\circ$) na tomada da imagem e o terreno apresentarem um relevo bem acentuado, ou então, o arquivo de imagens brutas e, ou, seu correspondente arquivo de metadados apresentarem alguma falha.

Toutin (TOUTIN e CHENG, 2000) testou os três métodos (polinomial simples, razões de polinômios e rigoroso) em uma região com desnível máximo de 240 metros, e chegou em coordenadas calculadas de 30 pontos de checagem que conduziram a valores de RMSs, respectivamente, iguais a 3,35 m, 0,86 m e 1,36 m.

4.1.2.2. Qualidade posicional dos pontos nas imagens ortorretificadas

Para o estudo das qualidades das imagens, os resultados das deformações resultantes na imagem bruta e nas imagens corrigidas podem ser visualizados na Figura 32.

Nas Figuras 33, 34 e 35 encontram-se as deformações nas abscissas e ordenadas e resultantes obtidas nas imagens corrigidas com a aplicação dos modelos: razões de polinômios, rigoroso e polinomial simples.

Na Figura 36 encontram-se representados os vetores resultantes das diferenças entre as coordenadas tomadas como referências (obtidas com o GPS) e na imagem bruta e imagens resultantes da aplicação dos três modelos de correções.

Analisando a disposição e os dados que constam na Figura 32, verifica-se que as deformações nos pontos de checagem nas imagens ortorretificadas são consideravelmente inferiores às deformações apresentadas na imagem que sofreu apenas correção planimétrica com o uso do método polinomial simples. Observa-se também que as deformações obtidas na imagem resultante da aplicação do método polinomial simples em comparação com o obtido na imagem bruta, foram consideravelmente inferiores, mostrando que a correção geométrica planimétrica que usa apenas informações de pontos de controle terrestres permitem melhorias geométricas à imagem.

Analisando a Figura 33, verifica-se que os pontos de checagem na imagem corrigida com o modelo polinomial simples, conduziram a um resultado com predominância de deformações em abscissas (E) negativas.

Analisando as Figuras 34 e 35 verifica-se visual e numericamente que as deformações nos pontos de checagem na ortoimagem resultante da aplicação do modelo razões de polinômios são inferiores às deformações obtidas na ortoimagem resultante da aplicação do modelo rigoroso. Esta diferença pode ter acontecido devido às condições bem extremas do sensor na tomada da imagem, bem como as condições do relevo acidentado da região, que podem ter afetado as informações de órbita contidas na imagem e no arquivo de metadados utilizados pelo programa OrthoEngine PCI Geomatics. O programa extrai as informações (dados de órbita), mas não as disponibilizam para o usuário, ele insere estes dados de órbita em uma imagem auxiliar que é criada e que serve como elemento de apoio do processamento.

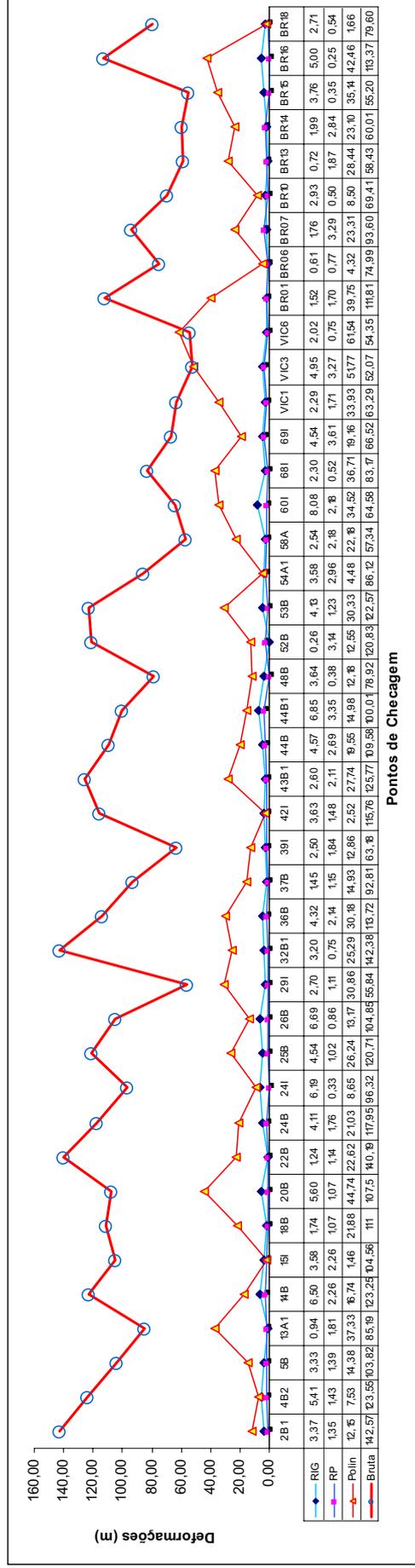


Figura 32 – Deformações resultantes dos pontos de checagem na imagem bruta e nas imagens corrigidas obtidas com 49 pontos de controle terrestres e aplicação dos três métodos: Rigoroso (RIG), Razões de Polinômios (RP) e Polinomial simples (Polin).

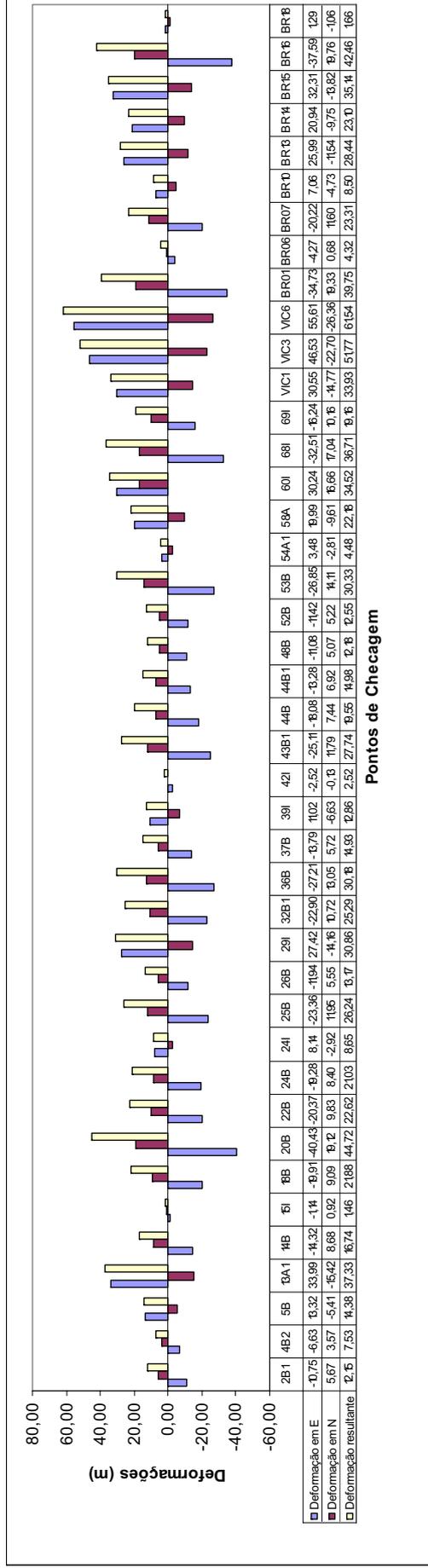


Figura 33 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com correção realizada com 49 pontos de controle terrestres e aplicação do modelo polinomial simples.

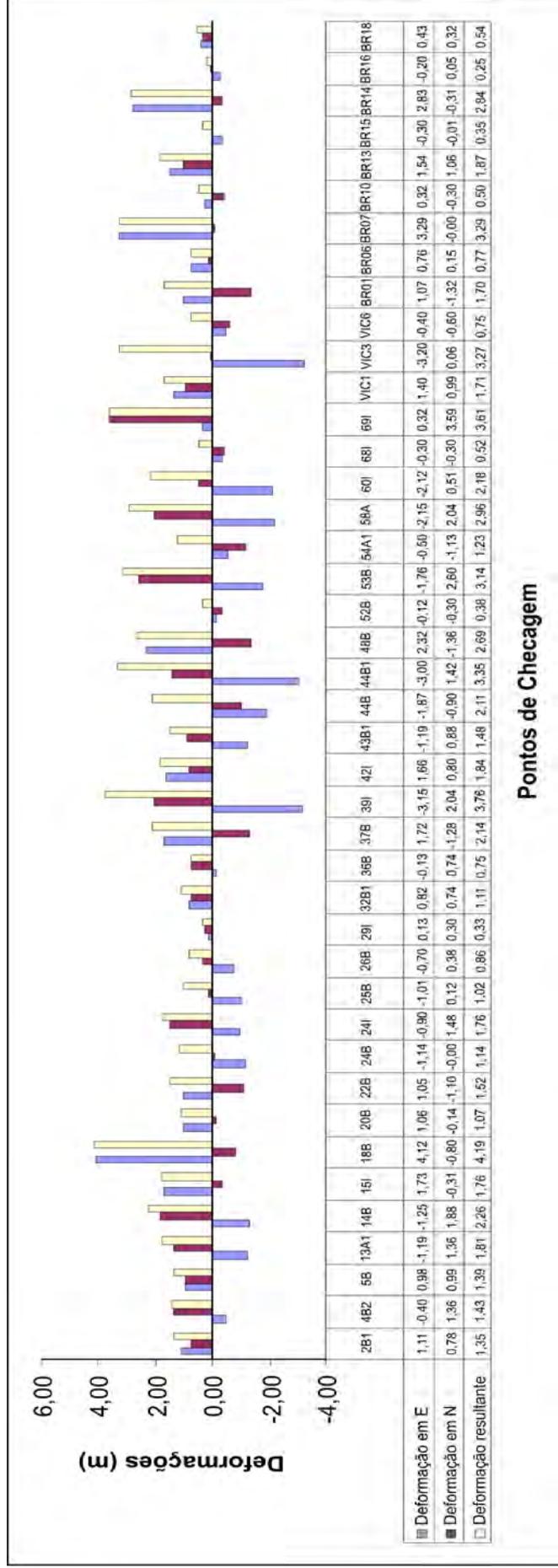


Figura 34 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controles, MDE de 2 m e modelo das razões de polinômios.

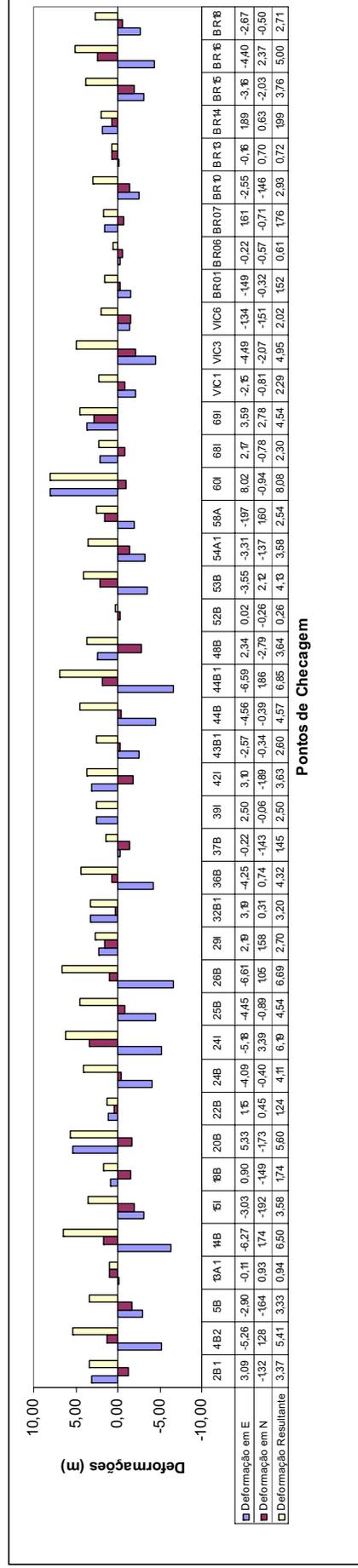


Figura 35 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem com ortorretificação realizada com 49 pontos de controle terrestres, MDE de 2 m e modelo rigoroso.

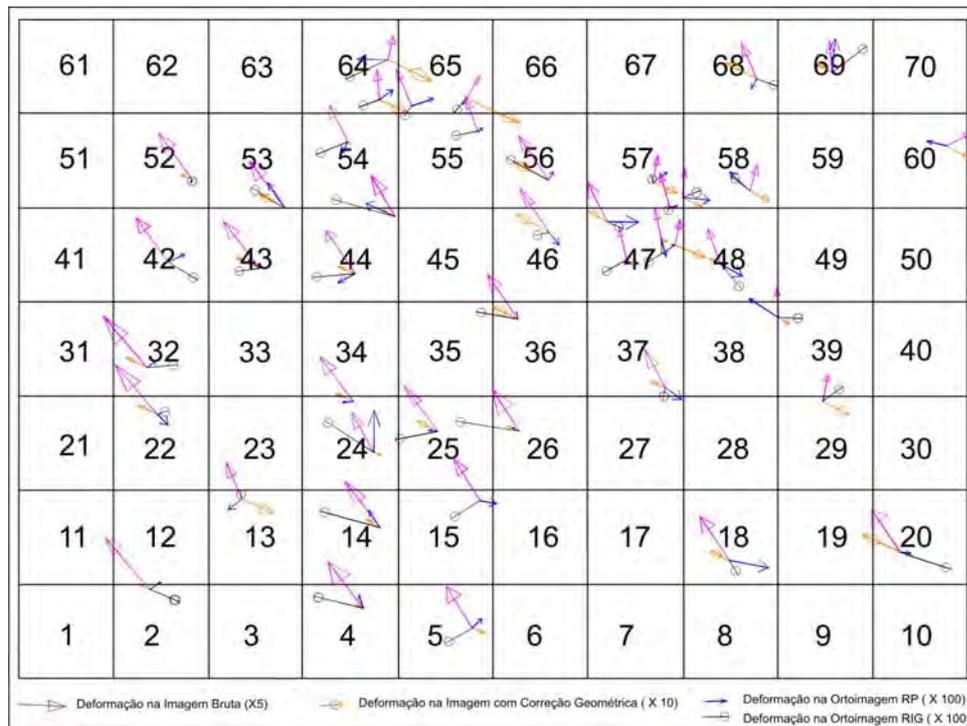


Figura 36 – Sentido das deformações resultantes: na imagem bruta (ampliada 5x), na imagem com correção geométrica simples (ampliada 10x) e nas imagens ortorretificadas pelos métodos das razões de polinômios e rigoroso (ampliada 100x).

Por uma análise visual da Figura 36 verifica-se que a imagem bruta apresenta uma tendência sistemática evidenciada pela direção e sentido dos vetores resultantes das deformações. Esta tendência pode estar acontecendo devido à imagem ter sido corrigida pela empresa fornecedora utilizando-se de pontos de controle sem apoio de campo, a região tem relevo acentuado e o sensor obteve a imagem com ângulo de elevação bem extremo ($64,73846^\circ$).

Pela Figura 36 verifica-se também que após a aplicação da correção com pontos de controle terrestres obtidos com apoio de campo e aplicação do método polinomial simples, a tendência e os valores das deformações diminuíram. Verifica-se ainda que após a aplicação da ortorretificação ela fica ainda menor. Esta diminuição da tendência fica evidenciada devido às deformações planimétricas passarem a acontecer de formas aleatórias, não possuindo os seus vetores uma direção preferencial. Comparando os resultados dos dois métodos de ortorretificação, nota-se que além de apresentar menores deformações, o método das razões de polinômios apresenta também vetores com maior aleatoriedade, e conseqüentemente menor tendência.

Na Figura 37 encontram-se as médias dos valores absolutos das deformações nas abscissas, ordenadas e resultantes, os RMSs das deformações nas abscissas, ordenadas e resultantes para os três métodos testados, razão de polinômios, rigoroso e polinomial simples.

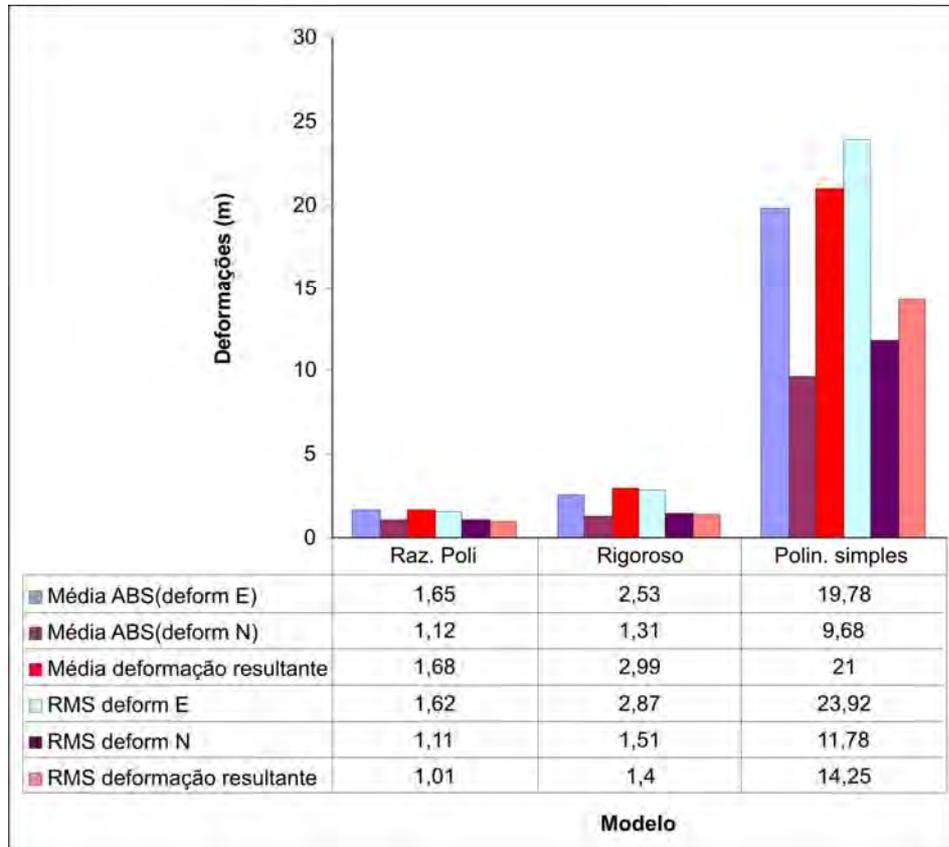


Figura 37 – Valores RMSs e Médias dos valores absolutos das deformações em abscissas (E) e ordenadas (N), das deformações resultantes, e deformações resultantes máximas obtidos com os pontos de checagem medidos nas imagens corrigidas.

Observando os dados apresentados na Figura 37, observa-se que nas três situações as médias das deformações (em módulo) das abscissas (E) foram maiores do que os das ordenadas (N); os valores RMS das deformações em E também são superiores, indicando com isto que na direção das abscissas ocorre uma maior variabilidade. Nota-se também que o método das razões de polinômios apresenta menores deformações que o método rigoroso. Por outro lado o método polinomial simples, que sofre apenas correção planimétrica, apresenta deformações bem maiores que os dois outros métodos.

Na Figura 38 encontram-se as deformações médias, os valores RMSs, deformação máxima e mínima em cada imagem analisada. Pela análise dessa figura verifica-se a grande importância dos tratamentos ou transformações aplicadas à imagem orbitais, principalmente pelos seguintes fatos:

- A deformação média nos pontos de checagem que na imagem bruta era 92,33 m, diminuiu para 21,00 m na imagem resultante da aplicação do método polinomial simples, para 2,86 m na imagem ortorretificada pelo método rigoroso, e 1,68 m na imagem ortorretificada pelo método das razões de polinômios.

- A deformação máxima nos pontos de checagem que na imagem bruta era de 142,52 m, diminuiu para 61,54 m na imagem resultante da aplicação do método polinomial simples, para 6,19 m na imagem ortorretificada pelo método rigoroso, e 4,19 m na imagem ortorretificada pelo método das razões de polinômios.

- A deformação mínima nos pontos de checagem que na imagem bruta era 52,07 m, diminuiu para 3,12 m na imagem resultante da aplicação do método polinomial simples, para 0,26 m e 0,33 m nas ortomagens geradas, respectivamente pelos métodos rigoroso e razões de polinômios.

Nas Tabelas 11, 12 e 13 encontram-se, de forma resumida, os resultados das análises estatísticas realizadas objetivando a verificação do padrão de exatidão e precisão na imagem bruta, na imagem resultante da aplicação da correção planimétrica usando o método polinomial simples, e nas imagens resultantes da aplicação de dois modelos de ortorretificação.

Para realizar a análise estatística foram tomados como referência os valores de médias de deformações e RMSs recomendados pelo Decreto nº 89.817 para as escalas apropriadas a cada situação. Assim, analisando os dados (média e RMS das deformações) obtidos na imagem bruta verifica-se a possibilidade de utilizar a escala 1:100.000, para a imagem corrigida pelo modelo polinomial simples a escala 1:25.000, e para as imagens ortorretificadas verificam-se a possibilidade de usar escala 1:5.000. Usando estas informações deve-se, então, fazer a análise estatística e verificar se as imagens atendem à recomendação do Decreto, assim como em que Classe (A, B ou C) ela se encaixa.

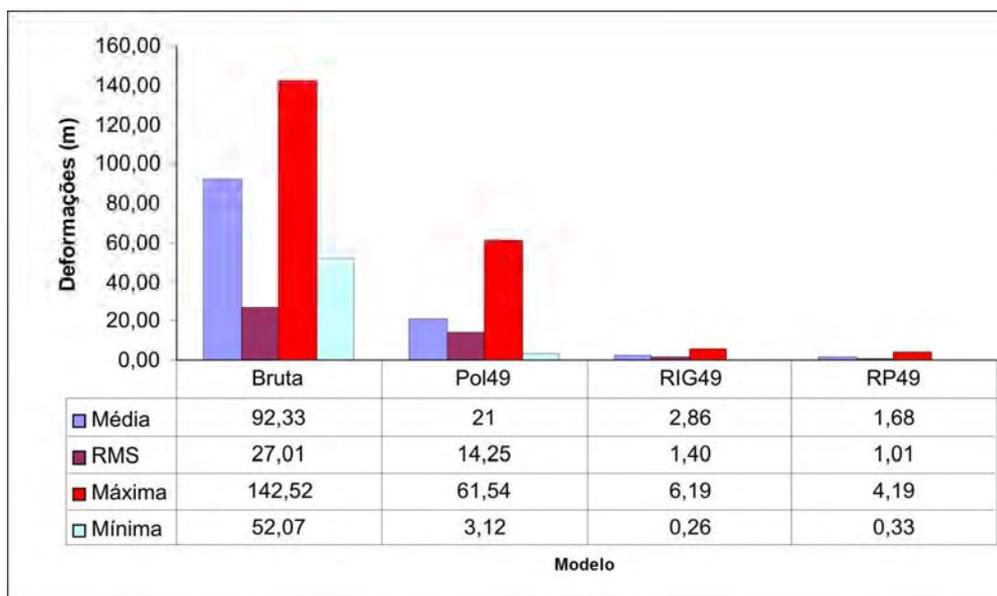


Figura 38 – Deformações médias, máximas, mínimas e valores RMS resultantes das imagens corrigidas pelos modelos: polinomial simples, razão de polinômios e método rigoroso e da imagem bruta.

Tabela 11 – Análise estatística do padrão de exatidão e precisão da imagem bruta

	Produto Analisado →	Imagem Bruta	
Dados	Média amostral \bar{X}	92,33	
	Desvio-padrão amostral (s)	27,01	
	Número de amostras (n)	42	
	Grau de liberdade (n - 1)	41	
	Intervalo de confiança (IC)	90%	
Padrão de Exatidão: Escala 1/100.000	PEC máximo (Classe C) μ_0	100,00	
	$t_{(\alpha, n-1)}$ (Tabela t de Student) ($\alpha = 1 - IC$)	1,303	
	Condição: $t_{calculado} < t_{(\alpha, n-1)}$	$t_{calc} = \frac{(\bar{X} - \mu_0)}{s} \sqrt{n}$	-1,840
	Satisfaz a condição?	Sim	
Avaliação da Precisão: Escala 1/100.000	Erro-padrão máximo (Classe C) σ_0	60,00	
	$\chi^2_{\alpha} = (\nu = 41, p = 0,10)$ (Tabela χ^2)	52,941	
	Condição: $\chi^2_x \leq \chi^2_{(n-1; \alpha)}$	$\chi^2_x \text{ amostral } \chi^2_x = (n-1) \frac{s^2}{\sigma_0^2}$	8,308
	Satisfaz a condição?	Sim	

Tabela 12 – Análise estatística do padrão de exatidão e precisão da imagem resultante da aplicação do modelo polinomial simples

	Método →	Polinomial Simples
Dados	Média amostral \bar{X}	21,00
	Desvio-padrão amostral (s)	14,25
	Número de amostras (n)	42
	Grau de liberdade (n - 1)	41
	Intervalo de confiança (IC)	90%
Padrão de Exatidão Escala 1/25.000 Condição: $t_{calculado} < t_{(\alpha, n-1)}$	PEC máximo (Classe A) μ_0	12,50
	$t_{(\alpha, n-1)}$ (Tabela t de Student) ($\alpha = 1 - IC$)	1,303
	$t_{calc} = \frac{(\bar{X} - \mu_0)}{s} \sqrt{n}$	3,865
	Satisfaz a condição?	Não
	PEC máximo (Classe B) μ_0	20,00
	$t_{calculado}$	0,454
	Satisfaz a condição?	Sim
Avaliação da Precisão: Escala 1/25.000 Condição: $\chi_x^2 \leq \chi_{(n-1; \alpha)}^2$	Erro-padrão máximo (Classe A) σ_0	7,50
	$\chi_{\alpha}^2 = (v = 41, p = 0,10)$ (Tabela χ^2)	52,841
	$\chi_x^2 \text{ amostral } \chi_x^2 = (n-1) \frac{s^2}{\sigma_0^2}$	148,010
	Satisfaz a condição?	Não
	Erro-padrão máximo (Classe B) σ_0	12,50
	χ_x^2	53,283
	Satisfaz a condição?	Não
	Erro-padrão máximo (Classe C) σ_0	15,00
	χ_x^2	37,002
Satisfaz a condição?	Sim	

Pelos resultados das análises estatísticas realizadas e apresentadas na Tabela 11, a imagem bruta pode ser classificada como Classe C para a escala 1:100.000, já que apresentou Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro-padrão Classe C para esta escala.

Pelos resultados das análises estatísticas realizadas e apresentadas na Tabela 12, a imagem resultante da aplicação do modelo polinomial simples pode ser classificada como Classe C para a escala 1:25.000, já que apresentou Padrão de Exatidão Cartográfica Classe B e Erro-padrão Classe C para esta escala.

Tabela 13 – Análise estatística do padrão de exatidão e precisão das ortoimagens obtida utilizando os modelos razões de polinômios e rigoroso

	Método →	RP 49 pct	RIG 49 pct
Dados	Média amostral \bar{X}	1,68	2,86
	Desvio-padrão amostral (s)	1,01	1,40
	Número de amostras (n)	42	42
	Grau de liberdade (n - 1)	41	41
	Intervalo de confiança (IC)	90%	90%
Padrão de Exatidão Escala 1/5.000 Condição: $t_{calculado} < t_{(\alpha, n-1)}$	PEC máximo (Classe A) μ_0	2,50	2,50
	$t_{(\alpha, n-1)}$ (Tabela t de Student) ($\alpha = 1 - IC$)	1,303	1,303
	$t_{calc} = \frac{(\bar{X} - \mu_0)}{s} \sqrt{n}$	-5,261	1,666
	Satisfaz a condição?	Sim	Não
	PEC máximo (Classe B) μ_0		4,0
	$t_{calculado}$		-5,277
	Satisfaz a condição?		SIM
Avaliação da Precisão: Escala 1/5.000 Condição: $\chi_x^2 \leq \chi_{(n-1; \alpha)}^2$	Erro-padrão máximo (Classe A) σ_0	1,50	1,50
	$\chi_{\alpha}^2 = (\nu = 41, p = 0,10)$ (Tabela χ^2)	52,941	52,941
	$\chi_x^2 \text{ amostral } \chi_x^2 = (n-1) \frac{s^2}{\sigma_0^2}$	18,588	35,715
	Satisfaz a condição?	Sim	Não
	Erro-padrão máximo (Classe B) σ_0		2,50
	$\chi_x^2 \text{ amostral}$		12,857
	Satisfaz a condição?		Sim

Pelas análises estatísticas realizadas e apresentadas na Tabela 13, o método das razões de polinômios apresentou resultados ligeiramente superiores em relação ao método rigoroso, podendo ser classificado como Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro-padrão Classe A para a escala 1:5000. Já com o uso do método rigoroso a ortoimagem apresentou Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro-padrão Classe B para a escala 1:5000.

Pela análise dos resultados da aplicação do modelo polinomial simples, modelo das razões de polinômios e o modelo rigoroso, em uma imagem Ikonos II obtida fora do nadir e em condições bem extremas (ângulo de elevação

64,73846°), verificou-se a importância da correção do relevo mediante os procedimentos de ortorretificação, levando a média das deformações superiores a 20 m obtida na imagem corrigida sem considerar o relevo, para próximo de 2 m nas imagens ortorretificadas. Também é de salientar que na imagem bruta a deformação mínima obtida com os 42 pontos de checagem era superior a 50 m, e após a ortorretificação pelos dois métodos utilizados passou para poucos centímetros, conforme pode ser visualizado na Figura 38.

Na Figura 39 encontram-se os dados resultantes das deformações obtidas com as coordenadas calculadas utilizando os parâmetros de ortorretificação, e as deformações obtidas com as coordenadas extraídas na ortoimagem resultante da aplicação do modelo das razões de polinômios.

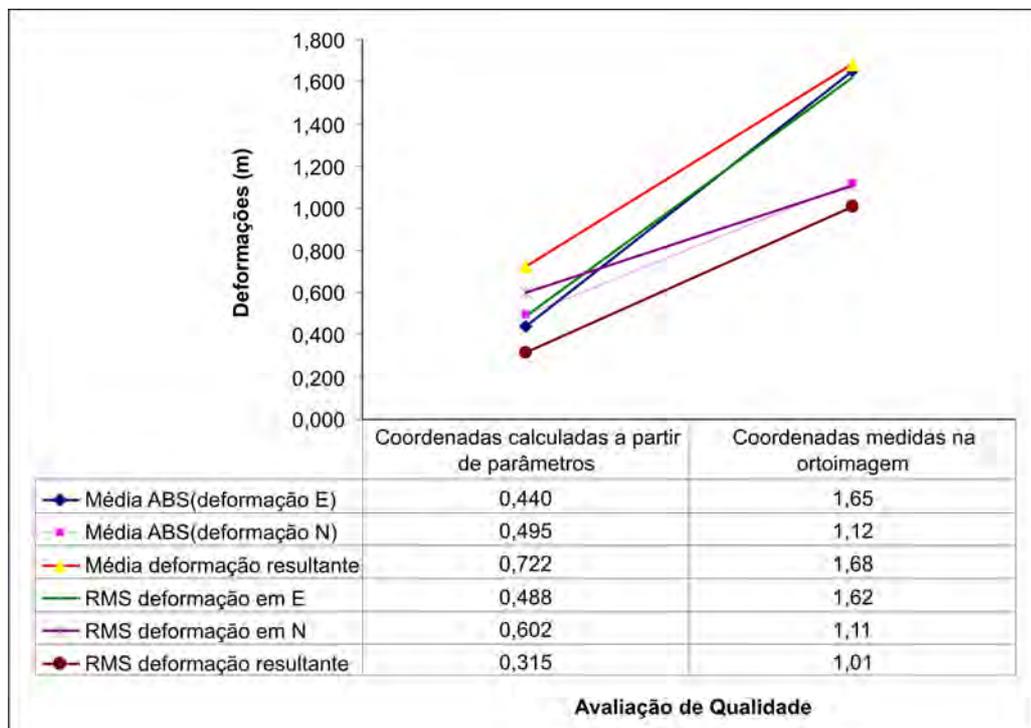


Figura 39 – Avaliação da qualidade das coordenadas: calculadas utilizando os parâmetros de ortorretificação e medidas na ortoimagem resultante da aplicação do método das razões de polinômios.

A diferença dos resultados apresentados na Figura 39 pode ter ocorrido principalmente pelo fato de que para geração da ortoimagem foi utilizado um MDE com resolução espacial de 2 m com qualidade altimétrica diferente daquela utilizada para os pontos de controle terrestres.

4.1.3. Influência do número de pontos de controle terrestres na ortorretificação de imagens Ikonos II

Antes da apresentação do estudo da qualidade da imagem corrigida ou ortorretificada, será apresentada uma verificação da qualidade dos resultados do ajustamento onde foram determinados os parâmetros de transformação ou ortorretificação.

4.1.3.1. Qualidade dos pontos calculados com os parâmetros de transformação e ortorretificação

Nas Figuras 40, 41 e 42 encontram-se as deformações nas abscissas (E), ordenadas (N) e deformações resultantes, originados da aplicação dos parâmetros de transformação e ortorretificação aplicados aos pontos de checagem, obtidos, respectivamente, pelos modelos: polinomial simples, razões de polinômios e modelo rigoroso. Na Figura 43 encontra-se uma síntese da aplicação dos parâmetros de ortorretificação com os pontos de checagem.

Analisando as Figuras 40, 41 e 42, verifica-se visual e numericamente que as deformações nos pontos de checagem obtidos com as coordenadas calculadas com os parâmetros resultantes do ajustamento utilizando os três números de pontos de controle terrestres testados apresentaram deformações em E com uma ligeira tendência para valores positivos e maiores, em módulo, do que as deformações em N, tendo como provável motivo as condições bem extremas da tomada da imagem (inclinação do sensor) e relevo acidentado da região.

Por uma análise dos dados da Figura 43, verifica-se uma ligeira melhoria nos resultados à medida que aumenta o número de pontos de controle terrestres, mas apresentando nas três situações resultados para a média das deformações em torno de um pixel da imagem utilizada.

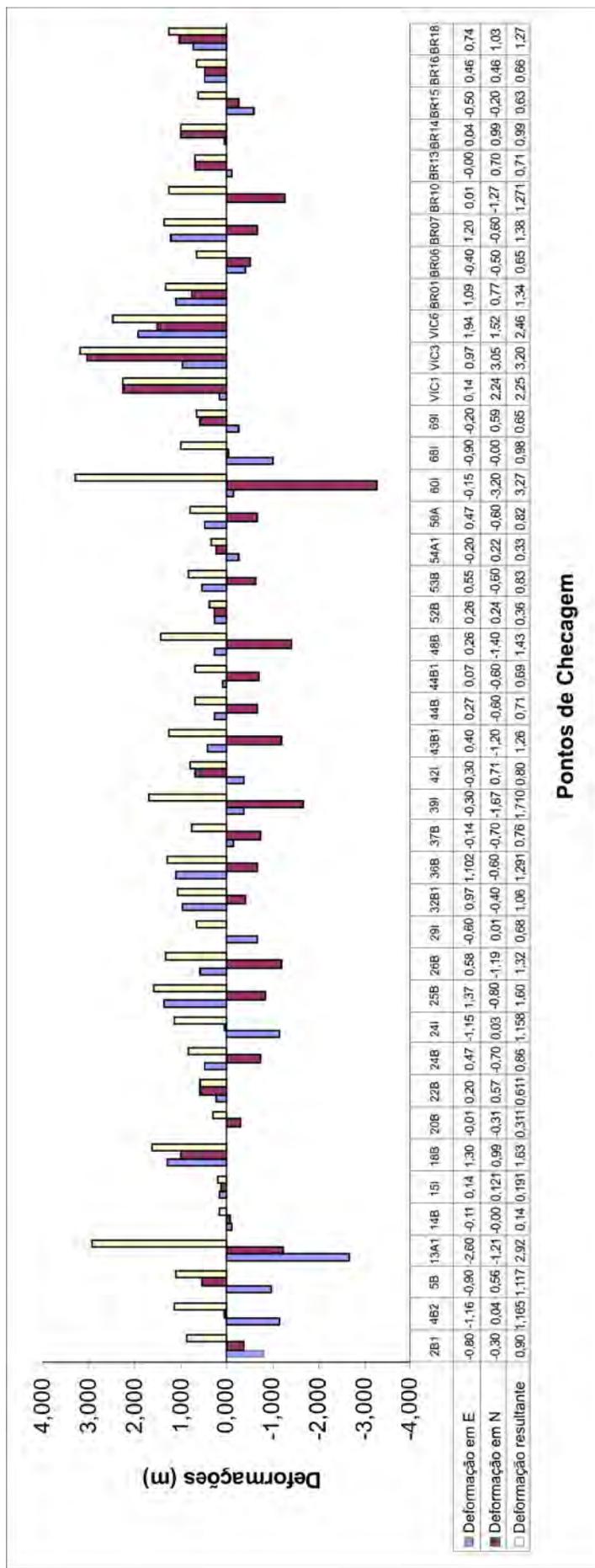


Figura 40 – Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortorretificação obtidos utilizando-se 11 pontos de controle terrestres e o modelo das razões de polinômios.

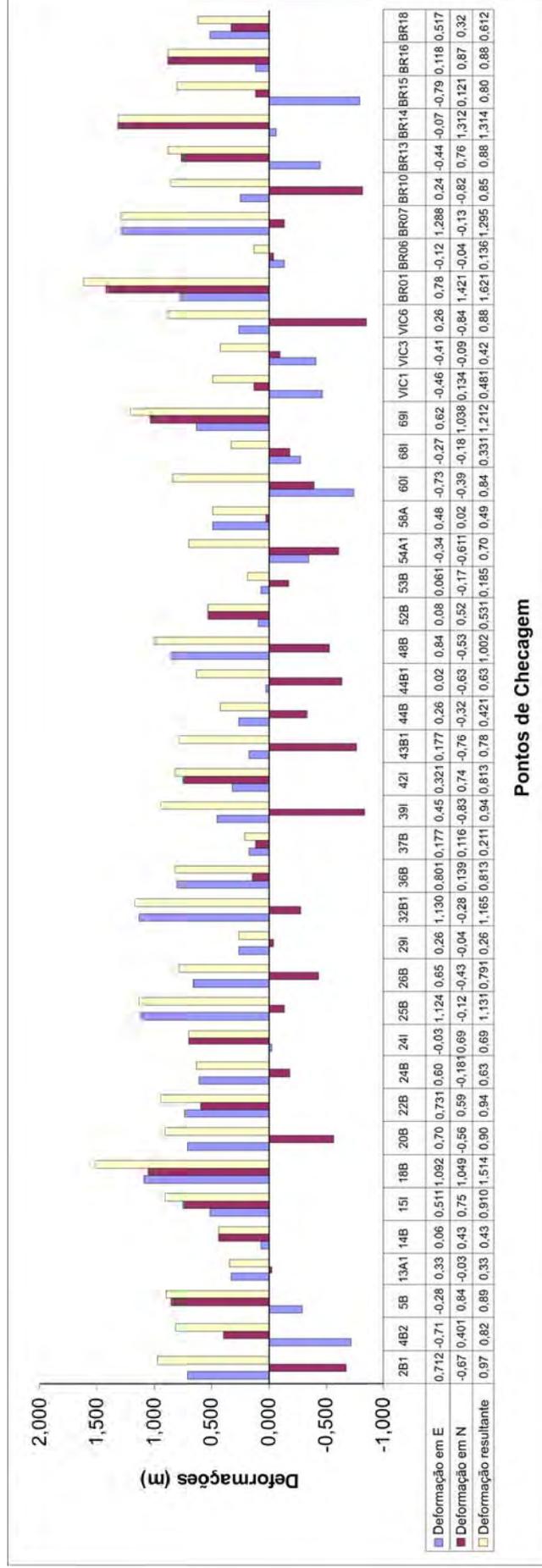


Figura 41 – Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortorretificação obtidos utilizando-se 25 pontos de controle terrestres e o modelo das razões de polinômios.

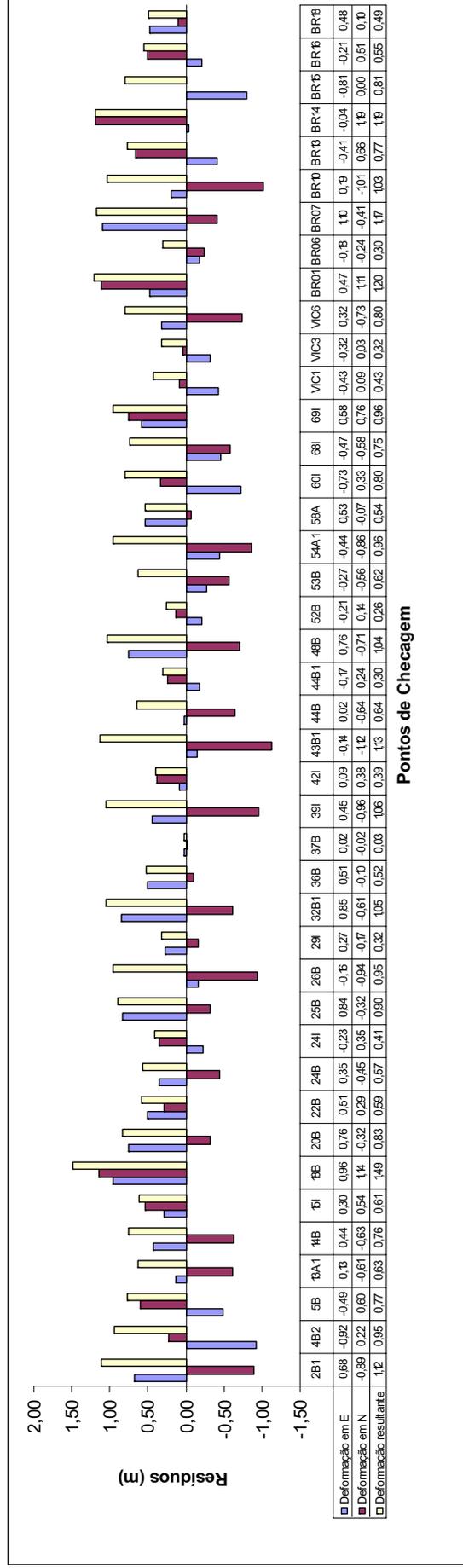


Figura 42 – Deformações em abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes obtidas a partir das coordenadas calculadas utilizando-se os parâmetros de ortoretificação obtidos utilizando-se 49 pontos de controle terrestres e o modelo das razões de polinômios.

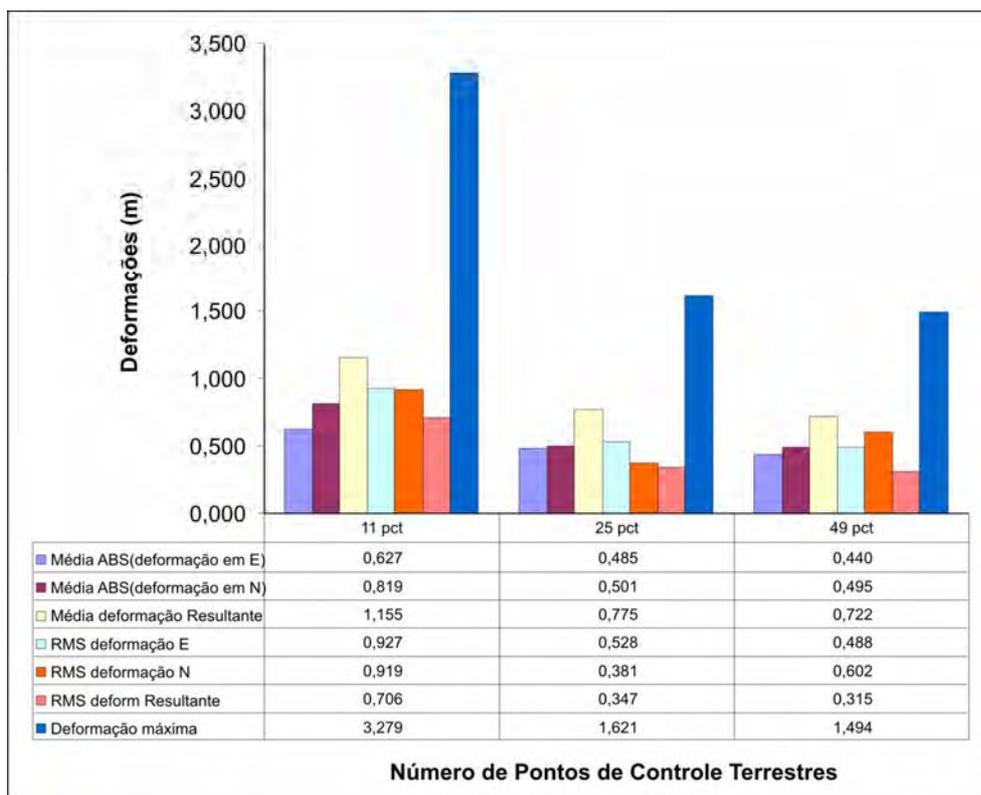


Figura 43 – RMSs e Médias dos valores absolutos das deformações em abscissas (E) e ordenadas (N), das deformações resultantes, e deformações resultantes máximas obtidos com os pontos de checagem calculados com os parâmetros de transformações obtidos utilizando-se 11, 25 e 49 pontos de controle terrestres e o modelo razões de polinômios.

4.1.3.2. Qualidade posicional dos pontos de checagem nas imagens ortorretificadas

Os resultados das deformações nas abscissas, ordenadas e resultantes obtidos nos pontos de checagem das ortoimagens geradas com diferentes números de pontos de controle terrestres (11, 25, e 49) podem ser visualizados nas Figuras 44, 45 e 46.

Analisando as Figuras 44, 45 e 46 verifica-se que as deformações nos pontos de checagem são, em sua maioria, menores do que 2 pixels da imagem, e apresentam uma distribuição aleatória em E e N.

Por uma análise das informações contidas nas Figuras 47 e 48, verifica-se que a redução do número de pontos de controle terrestres não afetou a qualidade da imagem ortorretificada, mostrando com isto não ser necessário mais que 11 pontos de controle terrestres, pelo menos para este estudo.

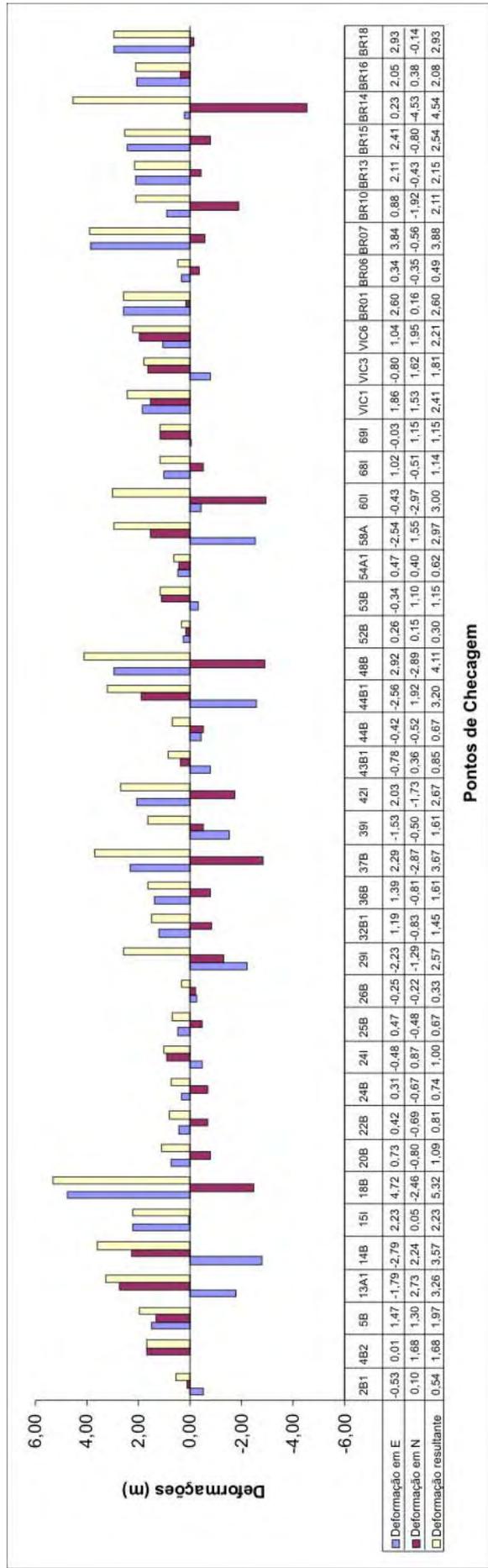


Figura 44 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem obtidos na ortorectificação com MDE de 2 m, método das razões de polinômios e 11 pontos de controle terrestres.

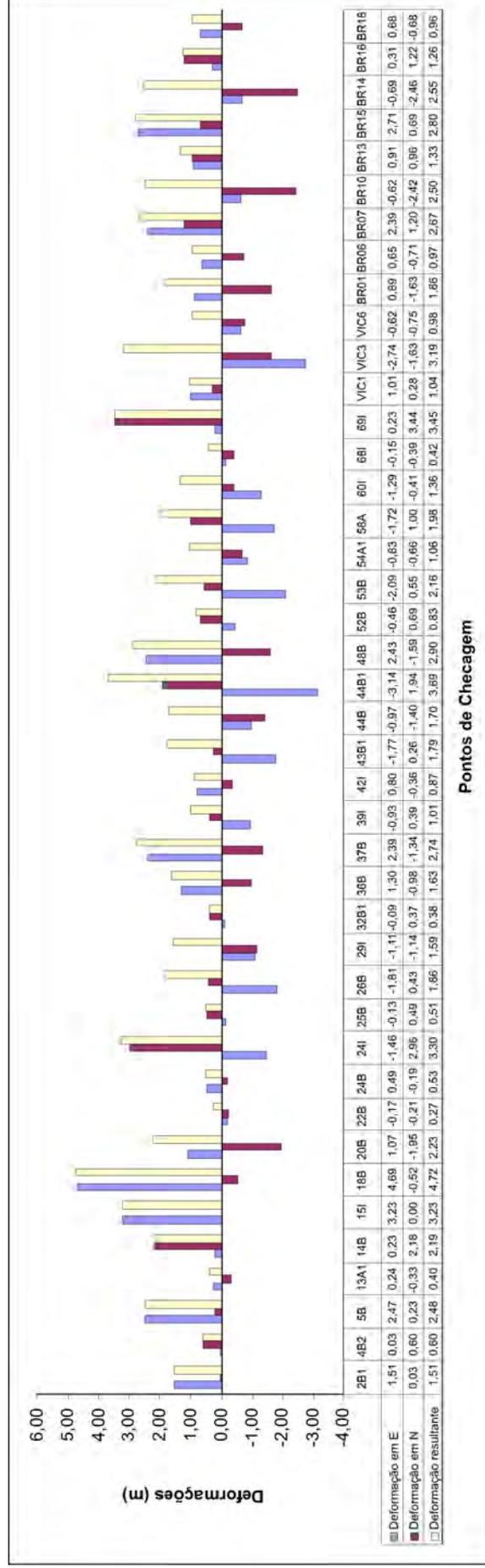


Figura 45 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem obtidos na ortorectificação com MDE de 2 m, método das razões de polinômios e 25 pontos de controle terrestres.

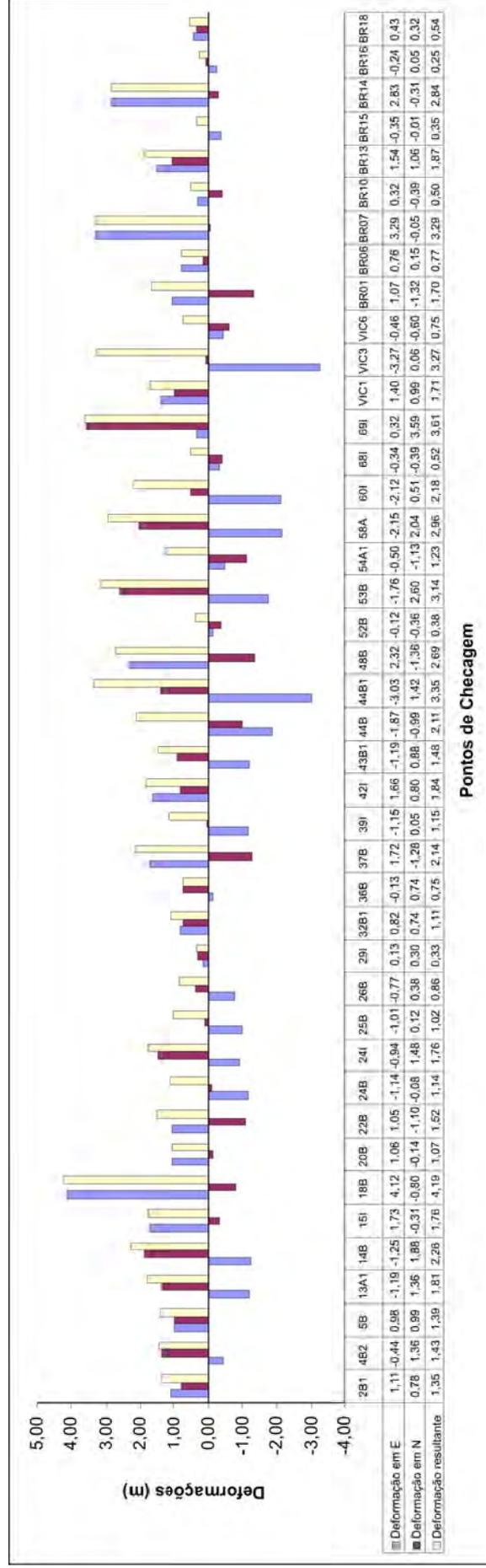


Figura 46 – Deformações nas abscissas, nas ordenadas, e resultantes dos pontos de checagem obtidos na ortomagem gerada com MDE de 2 m, método das razões de polinômios e 49 pontos de controle terrestres.

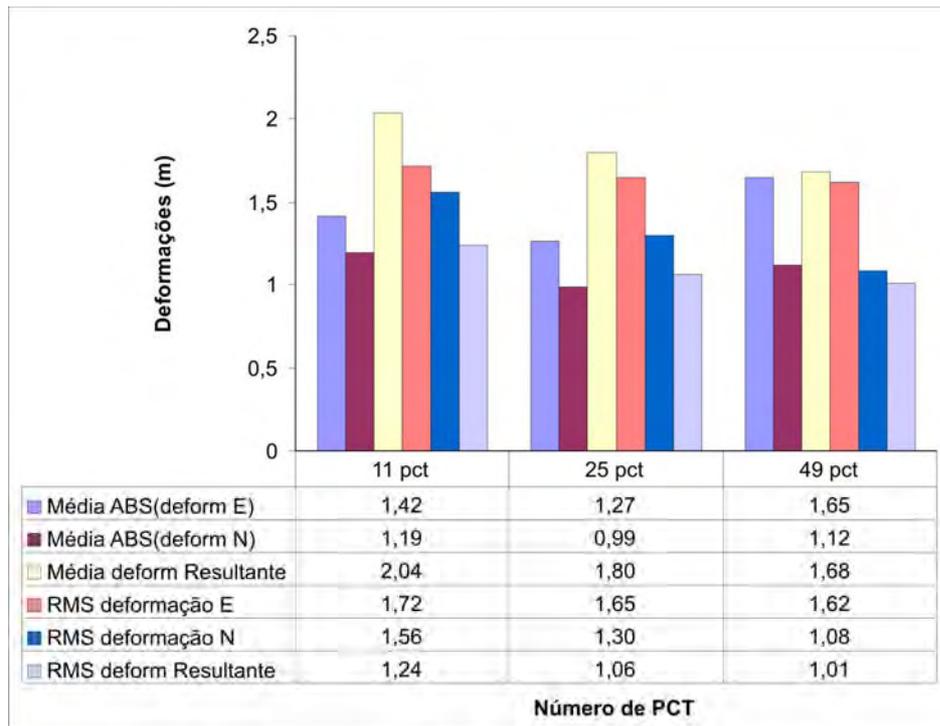


Figura 47 – Médias e RMS nas abscissas (E), ordenadas (N) e resultantes, e somas das deformações em E e N obtidas nas imagens ortorretificada usando 49, 25 e 11 pontos de controle terrestres.

Os resultados das deformações médias e os correspondentes desvios padrões ou erros médios quadráticos (RMS_e), além das deformações máximas, encontram-se na Figura 48.

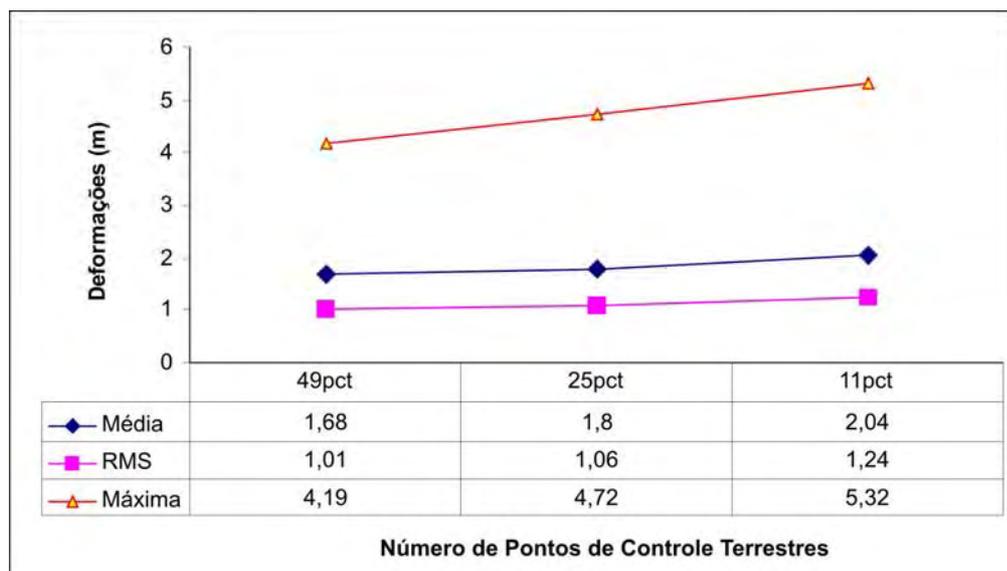


Figura 48 – Deformação média, RMS e deformação máxima para as imagens ortorretificada usando 49, 25 e 11 pontos de controle terrestres.

Na Tabela 14 encontra-se, de forma sintética, uma análise estatística onde são feitas as verificações do padrão de exatidão e da precisão das três ortoimagens geradas.

Tabela 14 – Análise estatística do padrão de exatidão e precisão das ortoimagens em relação ao número de ponto de controle terrestre (PCT)

	Número de pct →	49 pct	25 pct	11 pct
Dados	Média amostral \bar{X}	1,68	1,80	2,04
	Desvio-padrão amostral (s)	1,01	1,06	1,24
	Número de amostras (n)	42	42	42
	Grau de liberdade (n - 1)	41	41	41
	Intervalo de confiança (I C)	90%	90%	90%
Padrão de Exatidão Escala 1/5.000	PEC máximo (Classe A) μ_0	2,50	2,50	2,50
	$t_{(\alpha, n-1)}$ (Tabela t de Student)	1,303	1,303	1,303
Condição: $t_{calculado} < t_{(\alpha, n-1)}$	$t_{calc} = \frac{(\bar{X} - \mu_0)}{s} \sqrt{n}$	-5,261	-4,279	-2,404
	Satisfaz a condição?	Sim	Sim	Sim
Avaliação da Precisão Escala 1/5.000	Erro-padrão máximo (Classe A) σ_0	1,50	1,50	1,50
	$\chi^2_{\alpha} (v = 42, p = 0,10)$ (Tabela χ^2)	54,077	54,077	54,077
Condição: $\chi^2_x \leq \chi^2_{\alpha}$	$\chi^2_{\alpha} amostral \chi^2_x = (n-1) \frac{s^2}{\sigma_0^2}$	18,588	20,474	28,018
	Satisfaz a condição?	Sim	Sim	Sim

Pelas análises estatísticas realizadas, as ortoimagens se apresentaram como exatas e precisas, podendo ser classificadas como Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro-padrão Classe A para a escala 1:5000, mediante o uso de 49, 25 ou 11 pontos de controle terrestres. Isto demonstra, como era de esperar, não haver necessidade da obtenção de mais que 11 pontos de controle terrestres. Isto pelo menos foi o que demonstrou o estudo realizado para esta imagem e as condições que ela foi obtida para uma região com relevo em sua maioria fortemente ondulado (43,8%), montanhoso (17,9%) e escarpado (5,1%).

Analisando as Figura 49, 50 e 51 verifica-se que para os três conjuntos de pontos de controle terrestres utilizados ocorre uma redução de qualidade comparando o resultado de posições obtidas na ortoimagem com as posições resultantes do cálculo com uso dos parâmetros de ortorretificação. Este

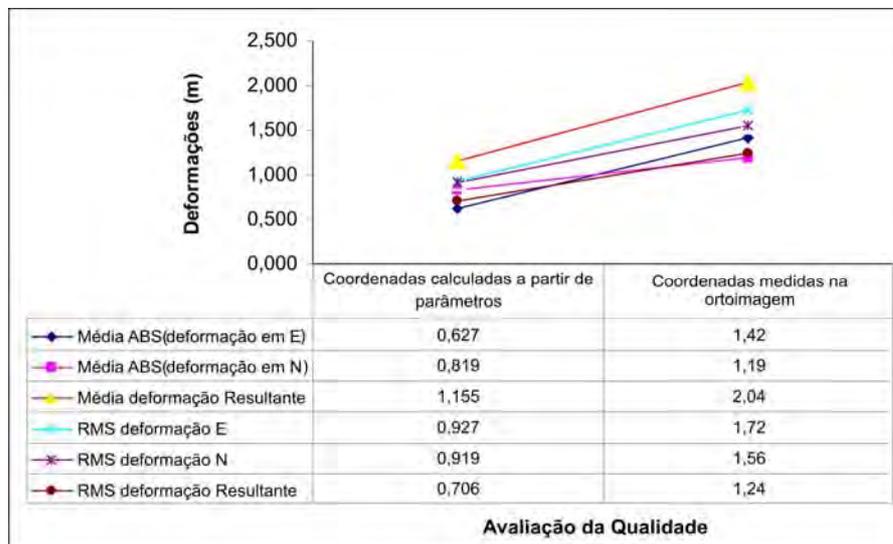


Figura 49 – Avaliação da qualidade das coordenadas: calculadas utilizando os parâmetros de ortorretificação e medidas na ortomagem resultante da aplicação do método das razões de polinômios e 11 pontos de controle terrestres.

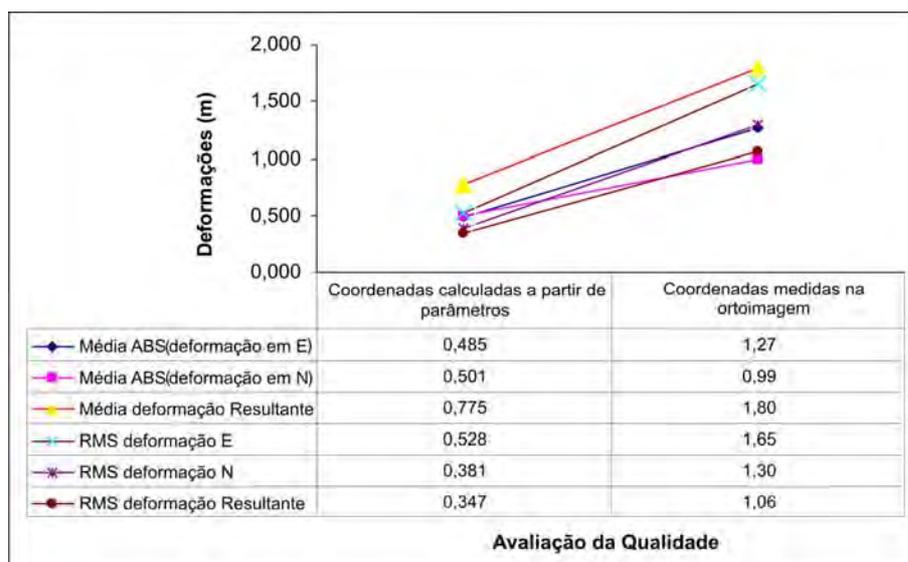


Figura 50 – Avaliação da qualidade das coordenadas: calculadas utilizando os parâmetros de ortorretificação e medidas na ortomagem resultante da aplicação do método das razões de polinômios e 25 pontos de controle terrestres.

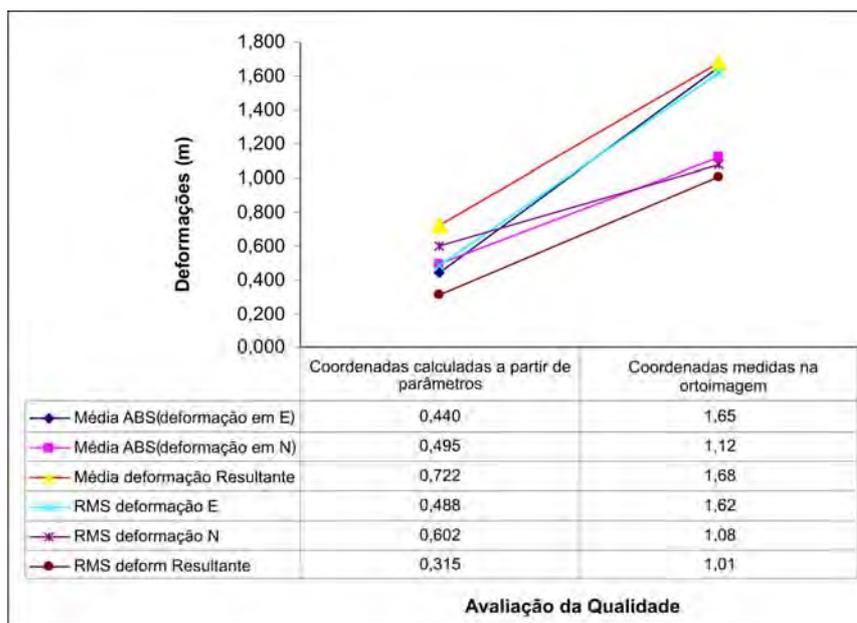


Figura 51 – Avaliação da qualidade das coordenadas: calculadas utilizando os parâmetros de ortorretificação e medidas na ortomagem resultante da aplicação do método das razões de polinômios e 49 pontos de controle terrestres.

resultado se justifica principalmente devido a qualidade altimétrica do MDE ser inferior à qualidade dos pontos de controle e checagem. Nas três situações a qualidade posicional da ortomagem produzida guardou certa semelhança com a resolução do MDE.

4.1.4. Influência dos sistemas geodésicos e de coordenadas geográficas nos mapeamentos cartográficos originados de imagens de satélites

A seguir são apresentadas nas Figuras 52 a 58 as situações onde foram realizadas superposições do mapa digital usado com referência com as diferentes imagens, bruta e ortorretificadas.

A partir das Figuras 52, 53, 54, 55, 56, 57 e 58 pode-se verificar e analisar visualmente os resultados das diferenças de procedimentos e as consequências de falhas na definição de sistemas geodésicos nos produtos finais gerados com imagens de satélites de alta resolução.

É importante salientar que para os procedimentos de ortorretificação, o MDE e os pontos de controle terrestres (PCTs) devem estar no mesmo sistema geodésico, assim como as altitudes dos PCTs e MDE devem ser de mesma natureza (ortométricas ou geodésicas).

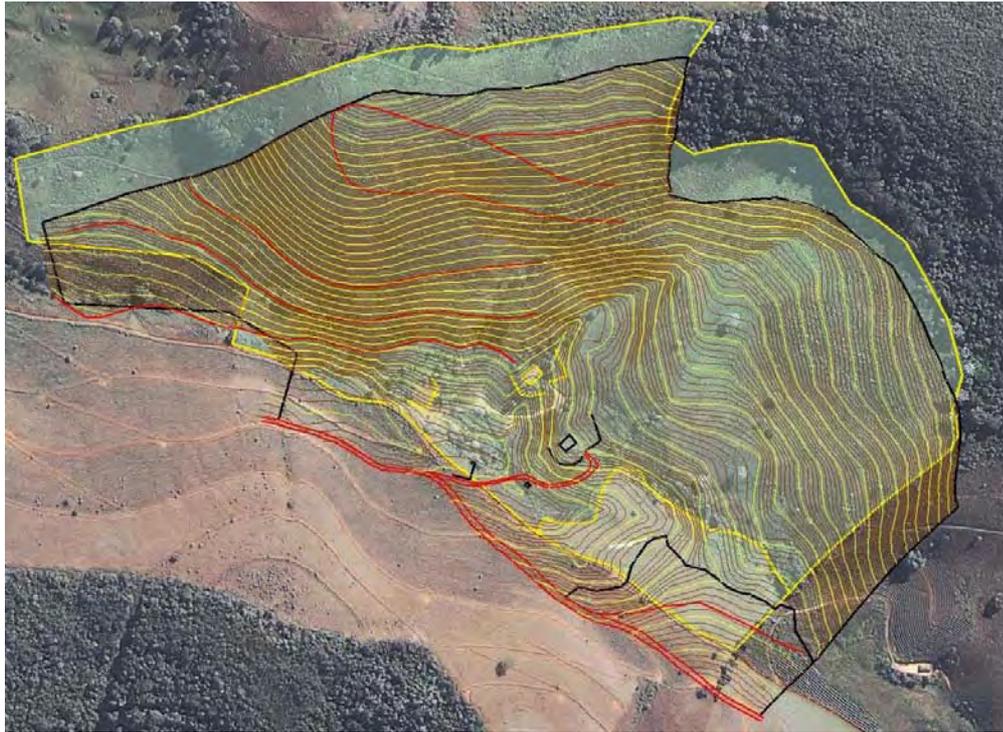


Figura 52 – Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem bruta.

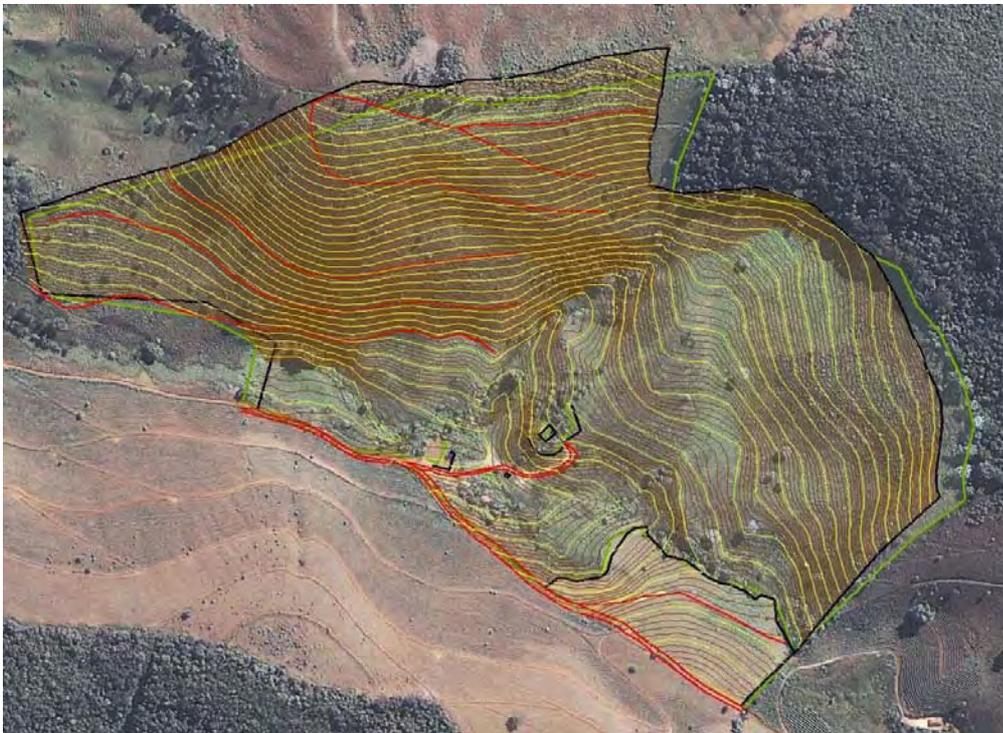


Figura 53 – Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem resultante de georreferenciamento expedito (ou transformação polinomial simples).

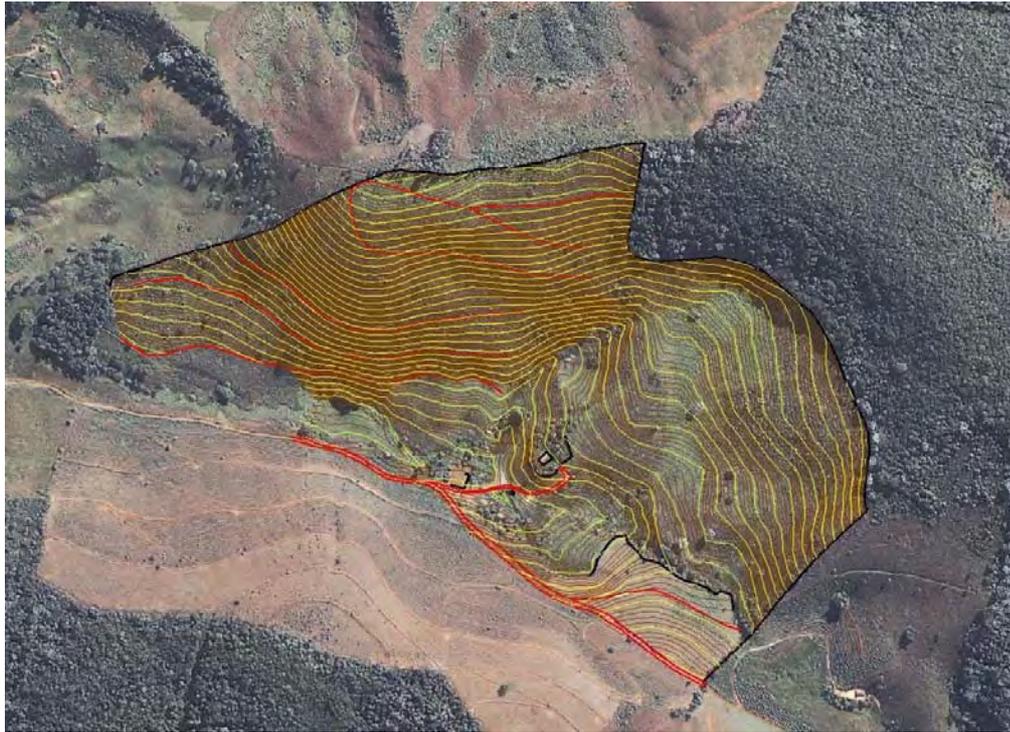


Figura 54 – Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem resultante de georreferenciamento rigoroso (ortorretificação).

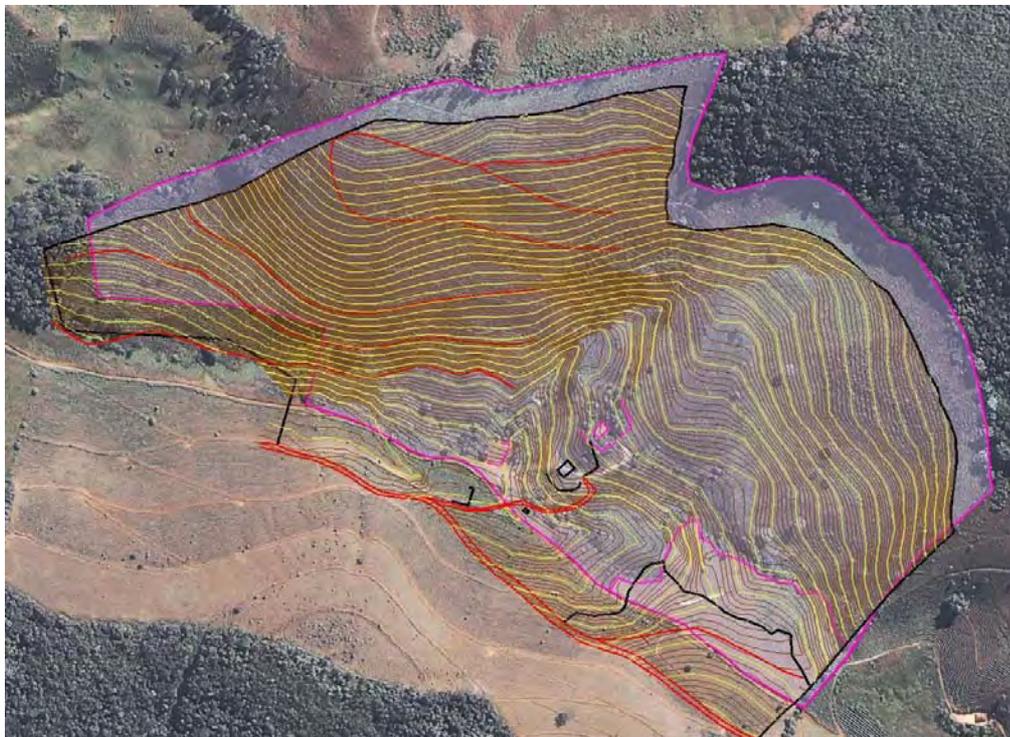


Figura 55 – Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem ortorretificada com falha na definição do sistema geodésico dos pontos de controle terrestres.

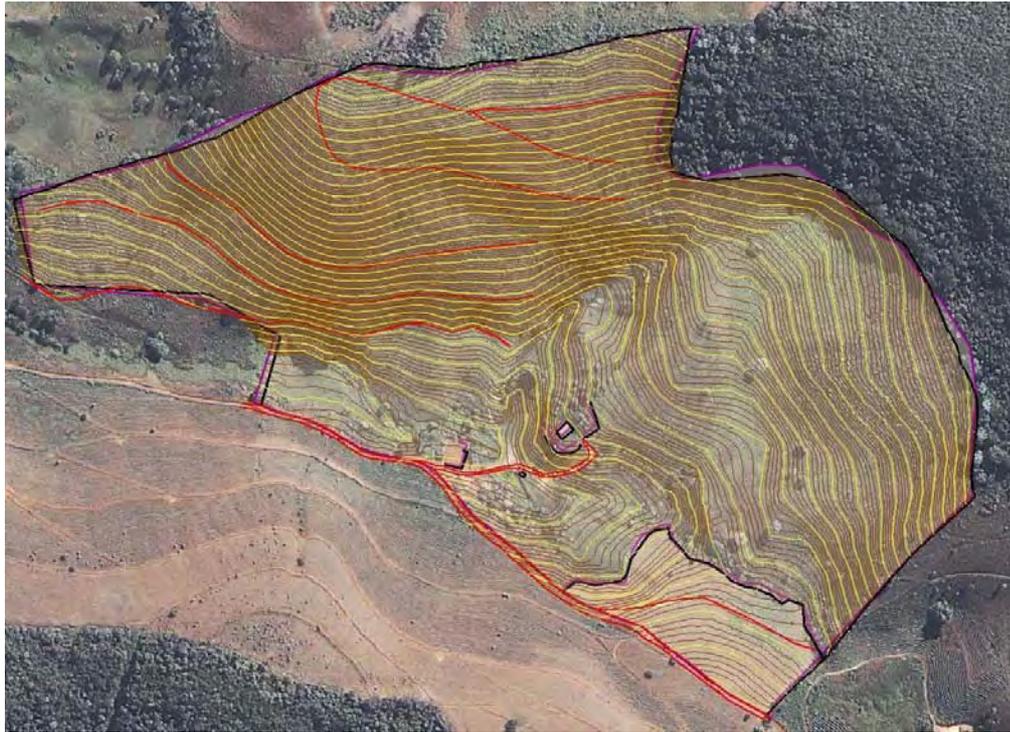


Figura 56 – Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem ortorretificada com falha na definição do sistema geodésico do MDE.

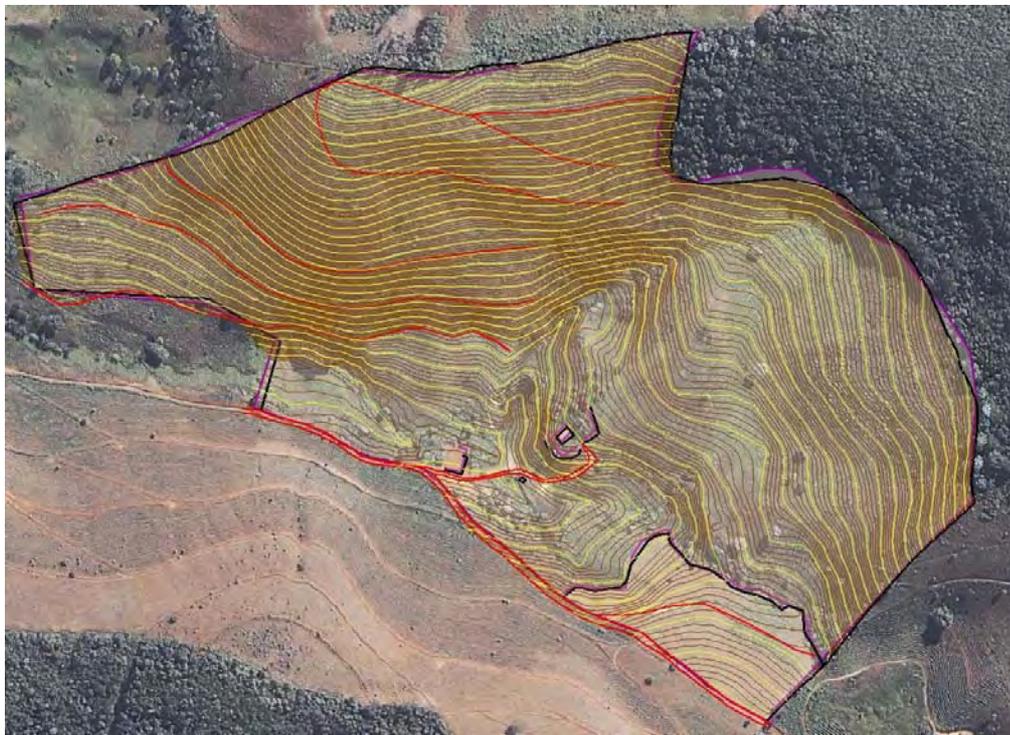


Figura 57 – Superposição do mapa digital resultante do levantamento topográfico com a imagem ortorretificada com falha na altitude dos pontos de controle terrestres.

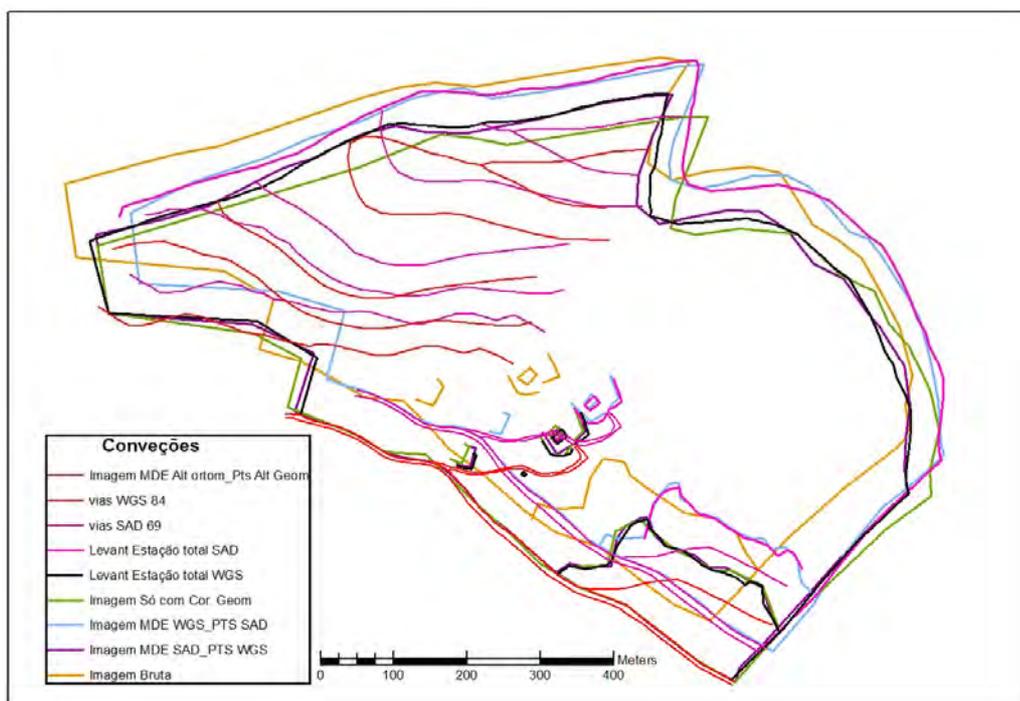


Figura 58 – Superposição de todas as situações ilustradas anteriormente.

Na Figura 58 encontra-se ilustrado todas as superposições realizadas, mostrando uma confusão que pode acontecer, a menos que se tomem os cuidados e trabalhe com coerência.

Falhas no sistema geodésico dos pontos de controle terrestres (pct) influenciam mais nos resultados do que as falhas na definição do sistema geodésico do MDE, o que é explicado pelo fato dos pct_s serem usados para o cálculo dos parâmetros de ortorretificação, e o MDE ser utilizado simplesmente para a obtenção das altitudes dos pixels no processo da ortorretificação.

Sobrepondo a imagem ortorretificada corretamente com o levantamento topográfico, pode-se ver a eficiência e a importância de ortorretificação das imagens orbitais (Figura 54).

4.2. Mapeamento dos imóveis rurais e das classes de cobertura e uso da terra

Com a imagem IKONOS II ortorretificada em mãos, e a partir de visitas e entrevistas aos moradores, definiram-se os limites de 151 imóveis, perfazendo-se uma área total de 3.590,8834 ha. A partir das informações levantadas no

campo, foi realizada também uma classificação visual que permitiu chegar aos resultados apresentados na Figura 59 e nas informações contidas nas Tabelas 15 e 16.

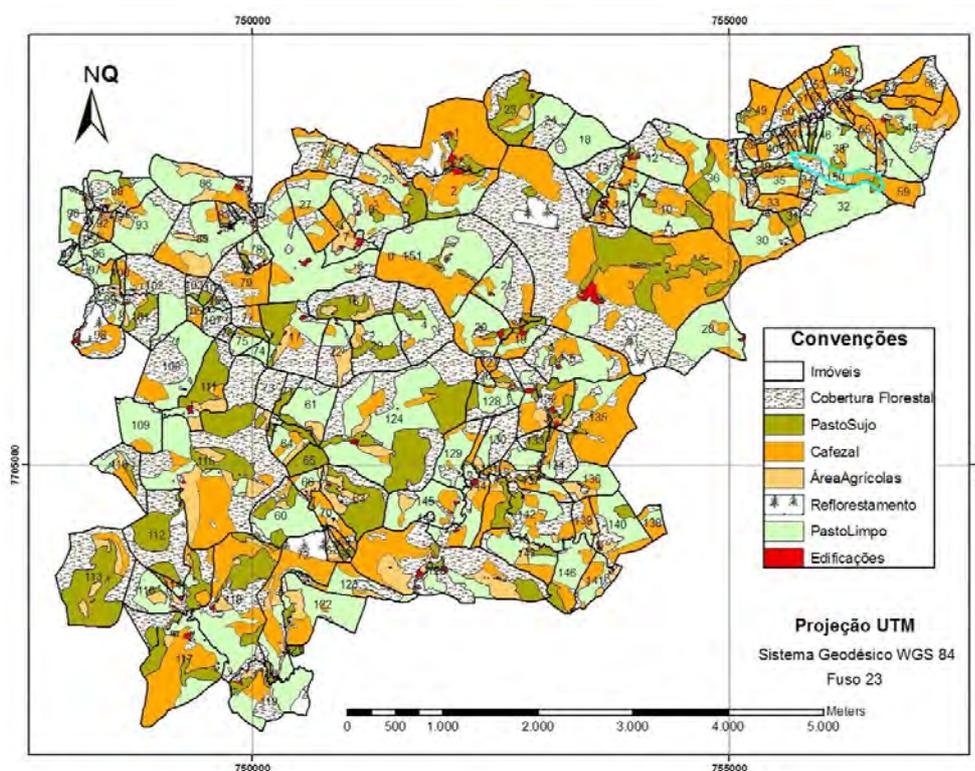


Figura 59 – Mapa das classes de cobertura e uso da terra e respectivos imóveis rurais na área de estudo.

Tabela 15 – Áreas das classes de coberturas e uso da terra

Uso e Cobertura da Terra	Área (ha)	%
Cafezal	813,7672	22,67
Área agrícola	184,0060	5,12
Pasto limpo	1.141,9247	31,80
Pasto sujo	453,3993	12,62
Reflorestamento	42,9900	1,20
Edificações	26,5108	0,74
Cobertura Florestal	928,2854	25,85
Total	3.590,8834	100,00

Para o mapeamento da cobertura e uso da terra, foram consideradas as seguintes classes: cafezal, cobertura florestal, área agrícola, pasto limpo, pasto sujo, reflorestamentos, e edificações (na classe edificações foram consideradas todas as benfeitorias e arredores das edificações).

Tabela 16 – Áreas (ha) dos imóveis e das classes de coberturas e uso da terra

Imóvel	Área	Cafezal	Cobertura Florestal	Corpos d'Água	Reflorestamento	Pasto Limpo	Pasto Sujo	Área Agrícola	Edificação
1	65,8498	49,2152	4,6231	0,1280	6,1114	-	4,5226	-	1,3208
2	32,2892	15,3180	2,5670	0,0265	-	10,0505	3,5839	-	0,7496
3	313,268	111,8448	121,8094	0,1904	17,3258	10,1574	49,0564	-	3,1020
4	37,2792	0,9118	22,6819	-	-	11,2310	2,4845	-	0,0588
5	43,0893	8,9062	13,6061	0,1011	-	19,1071	1,2398	-	0,2075
6	68,4768	6,7058	7,6165	0,0277	-	52,8614	-	0,8109	0,6666
7	17,9234	4,6056	1,5912	-	-	5,5790	0,6612	4,6616	0,8833
8	35,0184	6,4016	10,9366	-	-	15,2907	1,2744	0,9507	0,3042
9	5,2727	2,4658	1,1508	-	-	1,1493	-	0,3940	0,1196
10	37,3867	9,3538	5,9814	-	-	15,7469	5,9792	-	0,2995
11	9,4981	-	6,4722	-	-	-	2,7706	-	0,1263
12	25,4123	2,8076	8,7017	-	-	12,7212	1,1667	-	0,5128
13	15,6622	1,7008	9,1477	-	-	4,3918	-	-	-
14	7,9267	1,8398	2,7421	0,0093	-	3,0867	-	-	0,2553
15	8,2707	2,3160	0,0876	-	-	4,7951	0,4232	0,4322	0,2236
16	33,0733	-	18,6993	-	-	-	9,6555	4,7728	0,0430
17	41,9082	2,5834	15,6779	-	-	8,5821	11,8272	2,8772	0,4663
18	26,5963	-	1,1395	-	-	25,4911	-	-	-
19	12,6307	4,5154	0,8087	-	-	4,6521	2,1049	-	0,5034
20	28,4755	4,8866	1,9704	-	-	19,4806	1,6664	-	0,5096
21	34,9524	6,3612	15,3518	-	-	11,1106	1,7226	-	0,4182
22	23,0653	1,0948	9,7454	-	-	6,7144	-	5,2939	0,2049
23	32,6336	3,5666	7,1257	-	-	2,8834	17,5023	1,5218	0,0816
24	18,4603	1,3122	7,0461	-	-	10,1496	-	-	-
25	26,5654	2,3580	4,5817	0,0303	-	8,8136	7,1767	3,4281	0,2232
26	24,6659	4,4864	14,0239	-	-	4,5856	-	1,5137	-
27	30,2597	10,8955	4,4959	-	-	14,9563	-	-	-
28	36,9077	2,7239	4,7620	-	-	28,2714	-	0,9192	0,2632
29	30,3199	0,5190	12,1549	-	-	9,4856	6,0151	2,0996	0,0504
30	24,9902	7,7637	0,8570	-	-	16,1896	-	0,1737	0,0124
31	6,2578	2,7936	0,6514	-	-	-	2,8198	-	-
32	35,7798	1,3447	2,5666	-	-	30,8428	1,0068	-	0,0173
33	8,5987	6,9229	1,1950	-	-	0,4803	-	-	-
34	4,8184	1,3712	1,7956	-	-	1,5827	0,0709	-	-
35	11,8148	4,6921	-	-	-	6,5847	0,4138	-	0,1230
36	62,0602	27,1447	4,5118	0,1662	-	22,5469	6,5880	0,4742	0,6469
37	5,1312	0,8509	3,5490	-	-	0,2896	0,3840	0,5137	0,0588
38	24,5633	1,2150	1,0779	-	-	20,1846	1,9552	0,0220	0,1058
39	4,5220	2,2263	1,7012	-	-	-	-	-	0,0810
40	5,2249	2,5781	1,9771	-	-	0,6492	-	-	0,0211
41	2,6189	1,1093	0,8104	-	-	0,5825	-	0,0801	0,0366
42	1,6588	0,9607	0,4163	-	-	0,1507	-	0,1132	0,0183
43	3,2833	1,1738	0,9219	-	-	0,6621	-	0,4970	0,0280
44	2,3196	-	0,3133	-	-	0,2841	1,2601	0,4036	0,0602
45	2,2524	0,2215	0,5009	-	-	1,4826	-	-	0,0476
46	2,1912	-	0,1172	-	-	1,6225	0,4028	-	0,0513
47	11,9150	1,3499	0,7621	-	-	8,6310	-	1,1272	0,0487
48	48,3735	15,4397	8,1294	0,1036	-	20,9735	1,5167	1,8106	0,4037
49	17,1529	12,4420	2,1443	-	-	1,2427	1,2498	-	0,0747
50	10,0933	5,1323	4,0132	0,0246	-	0,8757	-	-	0,0480
51	6,4673	3,8424	0,9292	0,0341	-	1,4925	-	-	0,1738
52	3,6341	1,8023	1,7958	-	-	-	-	-	0,0387
53	5,0984	4,2510	0,7103	-	-	-	-	0,4436	0,1356
54	2,1923	1,6406	0,2419	-	-	0,2063	-	-	0,1035
55	10,0555	5,0518	1,8512	-	-	2,3358	0,2097	-	0,1639

Continua...

Tabela 16, Cont.

Imóvel	Área	Cafezal	Cobertura Florestal	Corpos d'Água	Reflores-tamento	Pasto Limpo	Pasto Sujo	Área Agrícola	Edificação
57	11,6503	5,1813	4,3392	-	-	0,5121	1,2367	-	0,3819
58	12,8823	7,5501	5,3320	-	-	-	-	-	-
59	9,6466	9,0309	-	-	-	0,6133	-	-	-
60	33,6793	0,7706	5,0056	-	-	18,5896	8,0788	1,2247	-
61	24,7234	-	3,7878	-	-	16,1041	2,4427	2,3976	-
62	2,4173	-	0,4573	-	-	1,0011	0,8968	-	0,0582
63	35,1532	-	7,0468	0,1168	-	-	20,4358	7,3730	0,1949
64	13,2220	2,5880	-	0,0049	-	6,0274	2,7335	1,7665	0,1182
65	9,1758	-	-	-	-	-	9,1773	-	-
66	6,8366	0,5899	0,1697	-	-	3,2877	-	2,7209	0,0760
67	3,3485	0,5899	-	-	-	1,1345	-	1,6148	0,0087
68	2,3486	0,0883	-	-	-	-	1,3198	0,9207	0,0228
69	2,8199	1,7925	-	-	-	-	0,7633	0,2776	-
70	10,8231	5,8336	0,8425	0,0166	-	2,2335	0,4976	1,2219	0,1765
71	5,4542	-	2,8309	-	-	-	2,6272	-	-
72	48,7253	20,2493	4,6069	0,1954	9,6268	9,7727	0,2222	3,9181	0,1937
73	10,6561	-	10,6763	-	-	-	-	-	-
74	4,1104	-	0,2018	-	-	3,8853	-	-	-
75	5,8687	0,6761	0,3336	-	-	4,8720	-	-	-
76	2,5685	-	1,9705	-	-	-	0,6007	-	-
77	9,1226	2,1339	4,7846	-	-	-	2,2039	-	-
78	8,8932	0,6672	3,1284	-	-	4,7397	-	0,1562	0,2038
79	25,0039	11,2827	13,6849	-	-	0,0478	-	-	-
80	1,6710	-	0,6392	0,0202	-	-	0,9845	-	0,0261
81	1,6213	-	0,8049	-	-	0,7713	-	-	0,0519
82	0,8383	-	0,7019	0,0919	-	-	-	-	0,0444
83	3,6658	1,6324	1,8979	0,0464	-	-	-	-	0,0865
84	0,0907	-	0,0359	-	-	-	-	6,8747	0,0555
85	49,8000	7,2061	8,2277	-	-	25,5908	-	8,3591	0,4217
86	37,7720	4,8084	2,7669	0,2407	-	22,4864	-	-	0,6204
87	0,3224	-	0,2919	-	-	-	-	-	0,0308
88	22,4159	4,9078	5,3644	-	-	10,2696	0,9953	0,7989	0,0796
89	2,0941	0,5018	1,4342	0,0123	-	-	-	-	0,0708
90	13,8114	1,4097	0,4519	-	-	9,9101	-	-	0,0672
91	1,0206	-	0,9444	0,0426	-	-	-	-	0,0332
92	7,2869	3,3967	1,1335	0,0427	-	1,3952	-	1,0870	0,2308
93	33,1481	1,4323	7,1395	0,0964	-	33,6346	-	1,3407	0,0652
94	1,8010	-	0,5870	-	-	1,0583	-	0,0740	0,0822
95	3,5678	0,5218	1,4820	-	-	1,4205	-	0,1263	0,0219
96	8,7507	-	0,2582	-	-	8,3310	-	0,0881	0,0693
97	9,3323	1,8422	1,6068	-	-	5,7920	-	-	0,0970
98	20,9995	6,6200	6,9772	0,0585	6,9169	-	-	-	0,4375
99	11,8201	0,9993	4,7205	-	-	4,1452	1,0856	0,5901	0,1018
100	3,0657	1,6900	0,8481	-	-	0,3367	-	0,1455	0,0516
101	17,0554	0,4524	9,5845	-	-	1,4324	4,6274	0,8629	0,1081
102	34,8161	2,5182	19,6514	-	-	12,2367	-	0,3451	0,0673
103	4,1676	0,2362	3,4511	-	-	-	0,4851	-	-
104	3,3772	-	1,7196	-	-	-	1,6602	-	-
105	4,5603	2,4846	0,8234	-	-	1,2533	-	-	-

Continua...

Tabela 16, Cont.

Imóvel	Área	Cafezal	Cobertura Florestal	Corpos d'Água	Reflorestamento	Pasto Limpo	Pasto Sujo	Área Agrícola	Edificação
106	3,8386	0,2453	2,1137	0,0259	-	0,8387	0,6202	-	-
107	7,2476	-	4,9625	-	-	2,2530	-	-	0,0264
108	45,2757	6,2229	17,1978	0,2046	-	21,6353	-	-	0,0535
109	22,7770	2,5573	0,8198	-	-	19,3525	-	-	0,0449
110	18,1599	3,1761	7,7890	0,1548	-	4,0946	1,3571	1,5732	-
111	30,7975	1,4411	3,7247	0,0275	-	2,9606	15,6804	6,5452	0,4326
112	45,9944	-	24,8904	0,0626	2,2142	-	18,7332	-	0,1278
113	66,5164	4,0238	22,7371	0,1276	-	-	33,7208	5,8929	0,0114
114	3,2133	1,3067	0,0392	-	-	1,3127	0,4387	-	0,1163
115	161,3417	27,9510	61,6514	0,2455	-	23,1873	27,0865	21,1047	0,1780
116	39,3330	4,5421	11,8851	-	-	11,0393	7,6853	3,8629	0,1721
117	73,6998	31,7118	8,7469	1,4759	-	14,6903	15,5526	1,0911	0,5981
118	81,8311	21,2305	15,2333	0,0110	-	22,5222	19,3172	3,3236	0,2297
119	40,6353	5,0482	8,9137	0,5806	-	18,6266	2,9725	0,9382	0,1762
120	1,4674	-	0,1844	0,0569	-	-	1,2099	-	0,0362
121	1,6623	-	-	-	-	-	1,5729	-	0,0895
122	38,2951	6,7875	1,8628	-	-	23,6408	1,4891	4,2107	0,1558
123	20,1266	3,9033	4,5297	-	-	9,8719	-	1,6699	0,0761
124	162,5143	7,2873	45,1933	0,3009	-	59,8498	44,5248	4,9778	0,3983
125	103,1048	25,2955	40,0557	0,7828	-	9,2358	7,9330	18,8728	0,9655
126	3,7054	1,5945	1,1890	-	-	0,9246	-	-	-
127	2,3368	1,5005	0,8383	-	-	-	-	-	-
128	23,4182	1,6937	7,6606	-	-	8,9383	4,0780	0,9760	0,1060
129	21,1005	2,5453	5,1487	-	-	13,2430	-	-	0,0505
130	17,9097	-	11,5520	-	-	4,7911	0,3726	1,1861	-
131	2,2660	1,0368	0,3095	-	-	0,6205	0,0806	-	0,1241
132	32,9923	9,7616	10,4221	0,2175	-	2,7348	6,3596	2,3270	1,1578
133	5,7199	-	2,0307	-	-	-	3,4993	0,1727	-
134	23,9111	2,2239	10,0868	0,2187	-	8,9664	1,0891	1,2120	0,1670
135	54,5662	35,3436	6,6369	-	-	9,8076	1,5330	1,1424	0,1234
136	17,3472	1,7382	1,0706	-	-	10,8014	0,3457	3,2294	0,1697
137	13,1665	4,4441	2,0176	0,0966	-	3,6612	1,5059	1,2770	0,1098
138	7,3062	4,1395	0,8592	-	-	2,2999	-	-	-
139	9,6328	3,8803	2,2774	0,2254	-	1,9857	-	1,4438	0,0497
140	30,1995	5,2914	4,4379	0,0129	-	16,0080	2,6061	1,6502	0,1922
141	14,7701	3,8916	1,9725	-	-	6,1288	-	2,6707	0,1171
142	50,5754	15,3882	9,9055	0,4775	-	14,2210	8,1718	2,1917	0,2116
143	1,3050	-	1,3050	-	-	-	-	-	-
144	27,6391	7,8533	4,3599	1,0068	0,7948	10,9418	0,3483	2,3470	0,5831
145	31,9480	4,3549	3,0345	0,3418	-	21,6630	-	2,3086	0,2981
146	23,4140	5,3514	0,7104	-	-	13,4314	3,2818	0,3969	0,0119
147	24,6266	6,2337	1,8688	-	-	11,6393	1,9785	2,5987	0,0278
148	17,4402	6,9429	2,5029	0,0205	-	6,2558	-	1,4558	0,2586
149	8,8710	0,7032	1,3188	-	-	5,0877	1,6486	-	0,1176
150	13,7944	4,1771	3,4115	-	-	2,7465	1,7353	1,7378	-
151	91,0883	28,8302	13,2075	-	-	45,7937	3,0858	-	0,1925

Pela análise da Tabela 15 e Figura 59 nota-se que a área apresenta apenas 25,85% de cobertura florestal, de forma muito fragmentada, caracterizando um uso antrópico intenso, especialmente de pastagens e plantações de café.

De uma maneira geral, nota-se que houve predominância das classes de pasto limpo (31,80%), cobertura florestal (25,85%) e cafezal (22,67%), perfazendo mais de 80% da região de estudo. Por outro lado, as classes de reflorestamento e edificações foram os de menores expressões com 1,94%.

A análise da Tabela 16 mostra que as classes cafezal e cobertura florestal ocorrem na grande maioria dos 151 imóveis levantados na área de estudo, seguidos de pastagens, indicando um alto uso antrópico por parte dos proprietários e, conseqüentemente uma elevada fragmentação florestal.

4.2.1. Delimitação e quantificação das áreas de preservação permanente e reservas legais

As áreas de preservação permanente (APPs) foram delimitadas conforme Resolução nº 303, do CONAMA e metodologia desenvolvida por Ribeiro *et al.* (2002), alicerçada no Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC).

Inicialmente, foram delimitadas diversas modalidades de APPs, ou seja, terço superior dos morros, encostas ou elevações com declividade superior a 100% ou 45°, linhas de cumeada, margens dos cursos d'água, entorno de nascentes e suas áreas de contribuição, etc. Como neste trabalho o interesse era simplesmente definir as APPs, não importando a modalidade, foi gerado um mapa contendo a união de todas as APPs (Figura 60). Pela análise dessa figura, verifica-se visualmente que na região dos imóveis em estudo, mais de 50% das terras estão situadas em APPs.

A Figura 61 apresenta um mapa contendo as classes de uso e cobertura das terras situadas em áreas de APPs para os 151 imóveis analisados.

A Tabela 17 mostra as classes de uso antrópico da terra, com suas áreas totais, áreas em APPs e respectivas percentagens para todos os imóveis mapeados, enquanto a Tabela 18 mostra, de forma resumida a ocorrência das classes de cobertura e uso da terra em Áreas de Preservação Permanente.

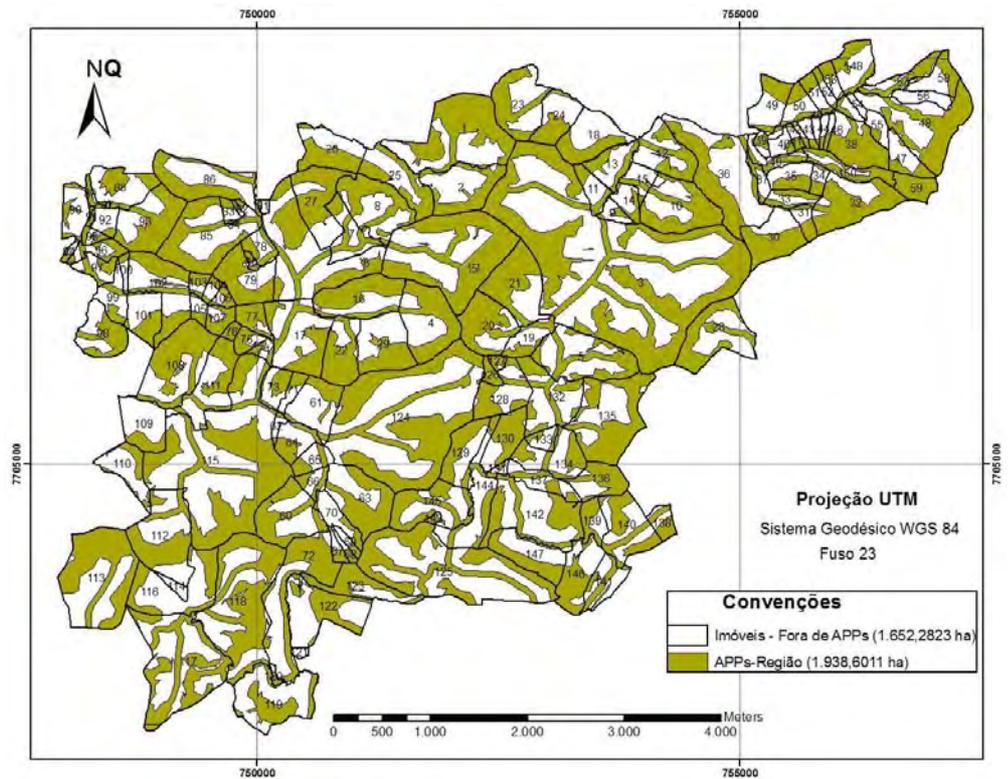


Figura 60 – Imóveis rurais e suas áreas de preservação permanentes delimitadas na área de estudo.

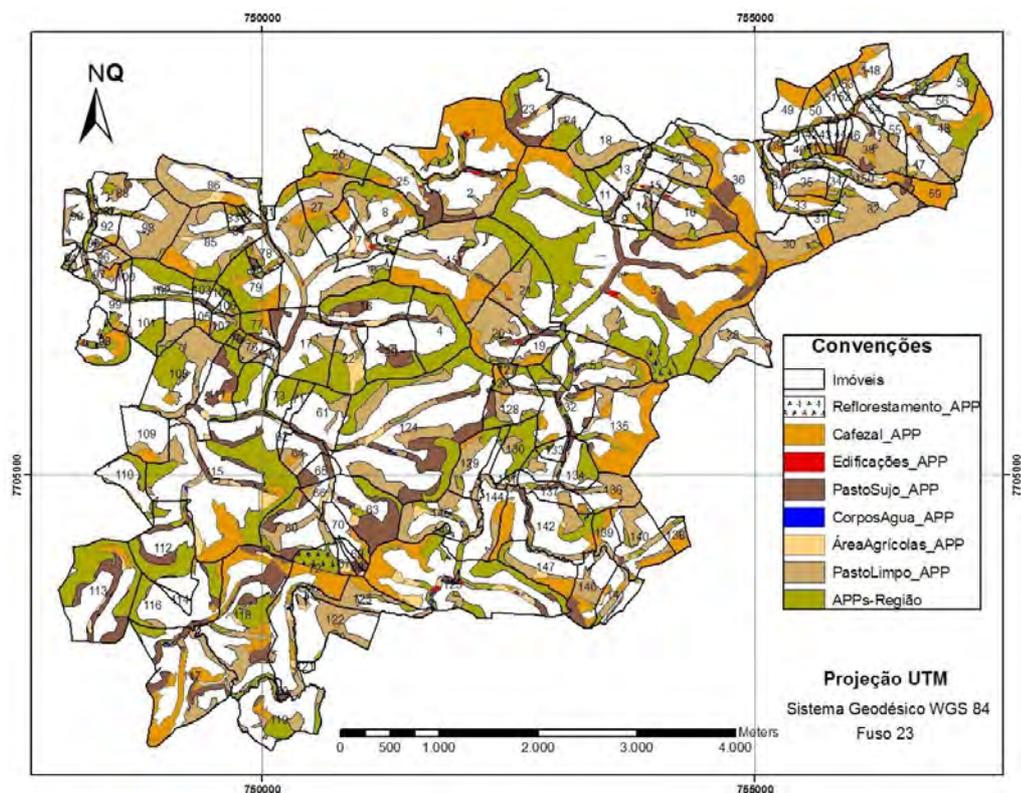


Figura 61 – Mapeamento das classes de cobertura e uso das terras situadas em áreas de preservação permanente.

Tabela 17 – Imóveis com suas áreas totais e respectivas áreas em APPs (ha)

Imóvel	Área Total	APP Imóvel	% imóvel em APP	Cafezal	Café em APP	Área Agrícola	Área Agri em APP	Pasto Limpo	Pasto Limpo em APP	Pasto Sujo	Pasto Sujo em APP
1	65,8498	42,2422	64,1	49,2152	35,6125					4,5226	1,4185
2	32,2892	15,9967	49,5	15,3180	3,5616			10,0505	7,2967	3,5839	3,2990
3	313,2680	155,4115	49,6	111,8448	47,1079			10,1574	4,4767	49,0564	22,4154
4	37,2792	23,3202	62,6	0,9118	0,0278			11,2310	3,0347	2,4845	1,2786
5	43,0893	20,1330	46,7	8,9062	3,9421			19,1071	7,2480	1,2398	0,9923
6	68,4768	32,7947	47,9	6,7058	4,0653	0,8109	0,3565	52,8614	22,7334		
7	17,9234	8,8442	49,3	4,6056	2,8642	4,6616	1,9510	5,5790	1,7453	0,6612	0,6118
8	35,0184	19,6152	56,0	6,4016	3,1126	0,9507	0,2993	15,2907	6,6129	1,2744	0,5663
9	5,2727	1,6274	30,9	2,4658	0,8582	0,3940	0,0402	1,1493	0,3811		
10	37,3867	23,9094	64,0	9,3538	4,7202			15,7469	9,8009	5,9792	5,1998
11	9,4981	4,2879	45,1							2,7706	1,3720
12	25,4123	14,0234	55,2	2,8076	0,9349			12,7212	7,4369	1,1667	0,4128
13	15,6622	7,4545	47,6	1,7008	0,3366			4,3918	1,6052		
14	7,9267	2,8940	36,5	1,8398	0,0537			3,0867	0,9682		
15	8,2707	2,7579	33,3	2,3160	0,1067	0,4322	0,3718	4,7951	1,7482	0,4232	0,3114
16	33,0733	23,1582	70,0			4,7728	2,2026			9,6555	5,7918
17	41,9082	20,2243	48,3	2,5834	0,1812	2,8772	0,0214	8,5821	4,1633	11,8272	6,1092
18	26,5963	11,5742	43,5					25,4911	10,7105		
19	12,6307	6,3610	50,4	4,5154	2,6468			4,6521	1,4601	2,1049	1,4402
20	28,4755	21,3914	75,1	4,8866	3,0273			19,4806	15,0673	1,6664	1,2915
21	34,9524	23,7303	67,9	6,3612	2,7576			11,1106	10,7650	1,7226	0,3830
22	23,0653	17,7345	76,9	1,0948	0,1524	5,2939	4,8628	6,7144	2,9604		
23	32,6336	16,7116	51,2	3,5666	2,1066	1,5218	0,8163	2,8834	0,0988	17,5023	7,7096
24	18,4603	8,9071	48,2	1,3122	1,2786			10,1496	1,4803		
25	26,5654	15,7234	59,2	2,3580	1,9373	3,4281	1,7776	8,8136	2,0493	7,1767	6,2775
26	24,6659	14,5063	58,8	4,4864	2,3794	1,5137		4,5856	1,3541		
27	30,2597	19,9310	65,9	10,8955	5,1959			14,9563	10,5656		
28	36,9077	20,4722	55,5	2,7239	0,2827	0,9192	0,4322	28,2714	14,7750		
29	30,3199	14,4237	47,6	0,5190		2,0996	0,0260	9,4856	0,9081	6,0151	3,9657
30	24,9902	17,1515	68,6	7,7637	5,0172	0,1737		16,1896	11,3949		
31	6,2578	3,6676	58,6	2,7936	2,7839					2,8198	0,5452

Continua...

Tabela 17, Cont.

Imóvel	Área Total	APP Imóvel	% imóvel em APP	Cafezal	Café em APP	Área Agrícola	Área Agri em APP	Pasto Limpo	Pasto Limpo em APP	Pasto Sujo	Pasto Sujo em APP
32	35,7798	26,6317	74,4	1,3447	0,2159			30,8428	23,8785	1,0068	1,0065
33	8,5987	4,9030	57,0	6,9229	3,6457			0,4803	0,3578		
34	4,8184	2,5646	53,2	1,3713	0,7093			1,5827	0,5410	0,0709	0,0709
35	11,8148	5,4820	46,4	4,6921	1,6768			6,5847	3,6470	0,4138	0,1507
36	62,0602	28,4407	45,8	27,1447	17,8181	0,4742		22,5469	3,0595	6,5880	4,5880
37	5,1312	1,9588	38,2	0,8509	0,2871			0,2896		0,3840	0,2182
38	24,5633	20,0863	81,8	1,2150	1,2150	0,0220		20,1846	16,2011	1,9552	1,5560
39	4,5220	2,1797	48,2	2,2263	1,5298	0,5137					
40	5,2249	1,1799	22,6	2,5781	0,0787			0,6492	0,0064		
41	2,6189	1,5155	57,9	1,1093	0,7271	0,0801		0,5825	0,5008		
42	1,6588	0,8972	54,1	0,9607	0,4386	0,1132		0,1507	0,1507		
43	3,2833	0,9281	28,3	1,1738	0,2012	0,4970		0,6621	0,1194		
44	2,3196	0,7119	30,7			0,4036		0,2841		1,2601	0,6318
45	2,2524	0,4303	19,1	0,2215	0,0001			1,4826	0,2010		
46	2,1912	0,9777	44,6					1,6225	0,5488	0,4028	0,4028
47	11,9150	5,0332	42,2	1,3499	0,2882	1,1272	0,6712	8,6310	3,4309		
48	48,3735	30,1683	62,4	15,4397	9,6001	1,8106		20,9735	12,1378	1,5167	0,2854
49	17,1529	7,2104	42,0	12,4420	6,3345			1,2427	0,3988	1,2498	
50	10,0933	4,7710	47,3	5,1323	2,8226			0,8757	0,2492		
51	6,4673	3,2671	50,5	3,8424	1,7521			1,4925	0,7243		
52	3,6341	1,4261	39,2	1,8023	0,5069						
53	5,0984	2,6502	52,0	4,2510	2,1736						
54	2,1923	0,1339	6,1	1,6406	0,0075			0,2063			
55	10,0555	2,7507	27,4	5,0518	0,3880	0,4436	0,0140	2,3358	1,4911	0,2097	0,0301
56	7,7936	0,2778	3,6	7,4163	0,2424						
57	11,6503	8,1009	69,5	5,1813	3,8598			0,5121	0,1194	1,2367	0,6821
58	12,8823	5,8340	45,3	7,5501	0,9134			0,6133	0,6133		
59	9,6466	9,6466	100,0	9,0309	9,0309			18,5896	8,6984	8,0788	5,0228
60	33,6793	19,5457	58,0	0,7706	0,7706	1,2247	0,3711	16,1041	3,5143	2,4427	1,1088
61	24,7234	8,4925	34,4			2,3976	0,4208				
62	2,4173	0,7061	29,2					1,0011	0,3611	0,8968	

Continua...

Tabela 17, Cont.

Imóvel	Área Total	APP Imóvel	% imóvel em APP	Cafetal	Café em APP	Área Agrícola	Área Agri em APP	Pasto Limpo	Pasto Limpo em APP	Pasto Sujo	Pasto Sujo em APP
63	35,1532	23,1208	65,8			7,3730	1,7157			20,4358	15,1422
64	13,2220	6,8216	51,6	2,5880	1,0959	1,7665	0,6704	6,0274	3,1270	2,7335	1,8919
65	9,1758	4,2513	46,3							9,1773	4,2536
66	6,8366	3,8221	55,9	0,5899	0,5899	2,7209	1,6837	3,2877	1,4073		
67	3,3485	2,0177	60,3	0,5899	0,5899	1,6148	1,1346	1,1345	0,2899		
68	2,3486	1,2877	54,8	0,0883	0,0056	0,9207	0,3165			1,3198	0,9683
69	2,8199	1,1977	42,5	1,7925	0,4438	0,2776				0,7633	0,7633
70	10,8231	3,3219	30,7	5,8336	1,8999	1,2219	0,0746	2,2335	0,1959	0,4976	0,3226
71	5,4542	2,5357	46,5							2,6272	0,1565
72	48,7253	27,9133	57,3	20,2494	11,4132	3,9181	1,6031	9,7727	4,4032	0,2222	0,0581
73	10,6561	5,6520	53,0								
74	4,1104	2,4786	60,3					3,8853	2,3264		
75	5,8687	4,4621	76,0	0,6761	0,6758			4,8720	3,4653		
76	2,5685	2,5685	100,0							0,6007	0,6007
77	9,1226	8,0347	88,1	2,1339	2,1339					2,2039	1,4351
78	8,8932	5,1165	57,5	0,6672	0,5537	0,1562		4,7397	2,0293		
79	25,0039	17,9602	71,8	11,2827	5,0206			0,0478	0,0004		
80	1,6710	1,3123	78,5							0,9845	0,7381
81	1,6213	0,4885	30,1					0,7713			
82	0,8383	0,4294	51,2								
83	3,6658	1,7417	47,5	1,6324	0,5739						
84	0,0907	0,0907	100,0								
85	49,8000	28,5194	57,3	7,2061	5,7278	8,3591	1,3275	25,5908	11,2345		
86	37,7720	20,4346	54,1	4,8084	2,4857	6,8747	3,8047	22,4864	11,9645		
87	0,3224	0,2807	87,1								
88	22,4159	9,6777	43,2	4,9078	0,5031	0,7989	0,4296	10,2696	5,7478	0,9953	0,5622
89	2,0941	1,7089	81,6	0,5018	0,5018						
90	13,8114	3,8011	27,5	1,4097	0,0058			9,9101	3,0517		
91	1,0206	0,9875	96,8								
92	7,2869	1,7767	24,4	3,3967	0,9362	1,0870		1,3952	0,3470		
93	33,1481	22,2166	67,0	1,4323	0,2627	1,3407	0,0022	33,6346	24,8086		

Continua...

Tabela 17, Cont.

Imóvel	Área Total	APP Imóvel	% imóvel em APP	Cafezal	Café em APP	Área Agrícola	Área Agri em APP	Pasto Limpo	Pasto Limpo em APP	Pasto Sujo	Pasto Sujo em APP
94	1,8010	0,9728	54,0			0,0740		1,0583	0,4918		
95	3,5678	2,2522	63,1	0,5218	0,5218	0,1263	0,0493	1,4205	0,5487		
96	8,7507	4,9576	56,7			0,0881		8,3310	4,6412		
97	9,3323	4,8482	52,0	1,8422	1,5853			5,7920	1,7073		
98	20,9995	11,7830	56,1	6,6200	4,9296						
99	11,8201	3,8373	32,5	0,9993	0,7412	0,5901	0,3562	4,1452	0,9363	1,0856	
100	3,0657	1,0475	34,2	1,6900	0,4155	0,1455		0,3367			
101	17,0554	7,5873	44,5	0,4524		0,8629	0,1261	1,4324		4,6274	0,4080
102	34,8161	19,8004	56,9	2,5182		0,3451		12,2367	5,5234		
103	4,1676	2,9414	70,6	0,2362	0,2362					0,4851	0,4176
104	3,3772	1,6152	47,8							1,6602	0,5319
105	4,5603	2,1844	47,9	2,4846	1,5004			1,2533	0,3784		
106	3,8386	2,6600	69,3	0,2453	0,0285			0,8387	0,7489		
107	7,2476	5,4416	75,1					2,2530	1,1939		
108	45,2757	30,2206	66,7	6,2229	1,1885			21,6353	16,2055		
109	22,7770	6,1588	27,0	2,5573	2,5230			19,3525	3,4558		
110	18,1599	6,0393	33,3	3,1761	0,5120	1,5732		4,0946	0,4973	1,3571	0,1347
111	30,7975	15,1900	49,3	1,4411	1,0475	6,5452	1,4729	2,9606	0,7565	15,6804	6,9680
112	45,9944	23,0296	50,1							18,7332	5,9246
113	66,5164	40,4007	60,7	4,0238	2,8375	5,8929	1,6223			33,7208	12,3650
114	3,2133	0,0034	0,1	1,3067	0,0034			1,3127		0,4387	
115	161,3417	83,7992	51,9	27,9510	15,0108	21,1047	6,2995	23,1873	8,0436	27,0865	8,7336
116	39,3330	16,2335	41,3	4,5421	2,7724	3,8629		11,0393	1,4637	7,6853	2,1443
117	73,6998	38,4537	52,2	31,7118	16,5626	1,0911	0,0102	14,6903	9,0373	15,5526	8,2665
118	81,8311	50,5900	61,8	21,2305	13,8299	3,3236	1,5264	22,5222	9,6835	19,3172	13,4237
119	40,6353	15,3083	37,7	5,0482	2,2362	0,9382	0,0017	18,6266	4,7187	2,9725	0,6595
120	1,4674	0,7430	50,6							1,2099	0,5428
121	1,6623									1,5729	
122	38,2951	15,3598	40,1	6,7875	1,0164	4,2107	0,4833	23,6408	13,1522	1,4891	0,1047
123	20,1266	14,3603	71,3	3,9033	3,4270	1,6699	0,3985	9,8719	8,6020		
124	162,5143	82,9863	51,1	7,2873	0,0961	4,9778	1,5351	59,8498	28,6984	44,5248	21,6280

Continua...

Tabela 17, Cont.

Imóvel	Área Total	APP Imóvel	% imóvel em APP	Cafezal	Café em APP	Área Agrícola	Área Agri em APP	Pasto Limpo	Pasto Limpo em APP	Pasto Sujo	Pasto Sujo em APP
125	103,1048	50,5762	49,1	25,2955	15,3520	18,8728	6,8701	9,2358	1,8661	7,9330	3,4093
126	3,7054	3,6019	97,2	1,5945	1,5147			0,9246	0,9004		
127	2,3368	2,0125	86,1	1,5005	1,1770						
128	23,4182	12,4228	53,0	1,6937	0,5655	0,9760	0,5626	8,9383	3,0275	4,0780	2,9189
129	21,1005	12,8492	60,9	2,5453	1,6126			13,2430	8,0384		
130	17,9097	12,7683	71,3			1,1861		4,7911	2,1709	0,3726	0,1152
131	2,2660	1,1187	49,4	1,0368	0,3600			0,6205	0,3772	0,0806	0,0419
132	32,9923	14,9224	45,2	9,7616	3,6900	2,3270	0,1194	2,7348	0,9682	6,3596	3,2434
133	5,7199	2,1742	38,0			0,1727	0,0324			3,4993	1,0704
134	23,9111	12,1647	50,9	2,2239	0,0227	1,2120	0,5126	8,9664	3,0796	1,0891	0,8940
135	54,5662	35,2089	64,5	35,3436	25,9988	1,1424	0,5908	9,8076	5,7144	1,5330	0,8500
136	17,3472	12,2597	70,7	1,7382	1,3217	3,2294	0,5329	10,8014	10,0283	0,3457	0,0245
137	13,1665	5,7054	43,3	4,4441	0,9791	1,2770	0,5094	3,6612	1,8308	1,5059	1,0184
138	7,3062	5,1038	69,9	4,1395	3,1928			2,2999	1,2761		
139	9,6328	6,0947	63,3	3,8803	2,3295	1,4438		1,9857	1,5115		
140	30,1995	16,4174	54,4	5,2914	3,5751	1,6502	0,7127	16,0080	9,5159	2,6061	0,2835
141	14,7701	5,9142	40,0	3,8916	1,5441	2,6707	0,6895	6,1288	2,9071		
142	50,5754	24,3020	48,1	15,3882	8,3229	2,1917	0,5298	14,2210	7,5381	8,1718	2,4720
125	103,1048	50,5762	49,1	25,2955	15,3520	18,8728	6,8701	9,2358	1,8661	7,9330	3,4093
126	3,7054	3,6019	97,2	1,5945	1,5147			0,9246	0,9004		
127	2,3368	2,0125	86,1	1,5005	1,1770						
128	23,4182	12,4228	53,0	1,6937	0,5655	0,9760	0,5626	8,9383	3,0275	4,0780	2,9189
129	21,1005	12,8492	60,9	2,5453	1,6126			13,2430	8,0384		
130	17,9097	12,7683	71,3			1,1861		4,7911	2,1709	0,3726	0,1152
131	2,2660	1,1187	49,4	1,0368	0,3600			0,6205	0,3772	0,0806	0,0419
132	32,9923	14,9224	45,2	9,7616	3,6900	2,3270	0,1194	2,7348	0,9682	6,3596	3,2434
133	5,7199	2,1742	38,0			0,1727	0,0324			3,4993	1,0704
134	23,9111	12,1647	50,9	2,2239	0,0227	1,2120	0,5126	8,9664	3,0796	1,0891	0,8940
135	54,5662	35,2089	64,5	35,3436	25,9988	1,1424	0,5908	9,8076	5,7144	1,5330	0,8500
136	17,3472	12,2597	70,7	1,7382	1,3217	3,2294	0,5329	10,8014	10,0283	0,3457	0,0245
137	13,1665	5,7054	43,3	4,4441	0,9791	1,2770	0,5094	3,6612	1,8308	1,5059	1,0184

Continua...

Tabela 17, Cont.

Imóvel	Área Total	APP Imóvel	% imóvel em APP	Cafetal	Café em APP	Área Agrícola	Área Agri em APP	Pasto Limpo	Pasto Limpo em APP	Pasto Sujo	Pasto Sujo em APP
138	7,3062	5,1038	69,9	4,1395	3,1928			2,2999	1,2761		
139	9,6328	6,0947	63,3	3,8803	2,3295	1,4438		1,9857	1,5115		
140	30,1995	16,4174	54,4	5,2914	3,5751	1,6502	0,7127	16,0080	9,5159	2,6061	0,2835
141	14,7701	5,9142	40,0	3,8916	1,5441	2,6707	0,6895	6,1288	2,9071		
142	50,5754	24,3020	48,1	15,3882	8,3229	2,1917	0,5298	14,2210	7,5381	8,1718	2,4720
143	1,3050	1,0280	78,8								
144	27,6391	9,9039	35,8	7,8533	2,1973	2,3470	0,1071	10,9418	4,5238	0,3483	0,1610
145	31,9480	18,4170	57,6	4,3549	0,9133	2,3086	1,2318	21,6630	13,6081		
146	23,4140	13,7406	58,7	5,3514	2,7688	0,3969	0,0379	13,4314	7,0654	3,2818	3,2733
147	24,6266	13,1781	53,5	6,2337	5,2109	2,5987	1,2486	11,6393	4,5764	1,9785	0,1203
148	17,4402	8,0388	46,1	6,9429	3,6906	1,4558	0,0165	6,2558	3,6538		
149	8,8710	4,3671	49,2	0,7032	0,6460			5,0877	2,2032	1,6486	0,6247
150	13,7944	9,7571	70,7	4,1771	3,8838	1,7378	0,8058	2,7465	1,9748	1,7353	1,5284
151	91,0883	57,6681	63,3	28,8302	16,5211			45,7937	26,1958	3,0858	2,2933

Tabela 18 – Porcentagem das áreas ocupadas pelas classes de coberturas e uso da terra nas APPs

Classe	Área Total	Área em APP	% da Área em APP
Cafezal	813,7672	420,1165	51,6
Área agrícola	184,0060	56,3888	30,6
Pasto limpo	1.141,9247	563,2265	49,3
Pasto sujo	453,3993	220,6547	48,7
Reflorestamento	42,9900	9,3644	21,8
Edificações	26,5108	9,8589	37,2
Cobertura florestal	928,2854	637,7016	68,7
Total	3.590,8834	1.938,6011	54,0

A análise da Tabela 18 mostra que 54% da região encontram-se em Áreas de Preservação Permanentes (APPs). Nota-se também que as principais atividades de uso antrópico, incluindo plantações de café e pastagens ocupam aproximadamente 50% das APPs de suas respectivas classes, caracterizando uso ilegal (Res. 303 do CONAMA).

Outras pesquisas foram realizadas na Zona da Mata de Minas Gerais, com determinação das áreas de APPs, entre elas: Oliveira (2002) que estudando a microbacia do Paraíso, no município de Viçosa, encontrou 52,13%; e Oliveira (2006) estudando parte dos municípios de Alto Jequitibá, Alto Caparaó, Caparaó e Espera Feliz, determinou que 48,06% das áreas são APPs.

Na Figura 62 encontra-se o mapeamento das coberturas florestais remanescentes nos imóveis, onde pode ser verificado se eles estão situados ou não nas APPs. A Tabela 19 relaciona os 151 imóveis com suas áreas totais, áreas em APPs e áreas ocupadas por coberturas florestais, respectivamente nas APPs e nas áreas sem restrição de uso da terra.

Pelas informações contidas na Tabela 19, Verifica-se que entre os 151 imóveis analisados, 76 possuem áreas com cobertura florestal perfazendo mais que 20% do imóvel, dentro ou fora de APPs. Já, se for para considerar cobertura florestal fora de APP como reserva legal, apenas 13 imóveis apresentam mais de 20% de área com cobertura florestal. Para os demais imóveis cuja cobertura florestal não atende ao mínimo de 20%, deve-se selecionar outra classe de cobertura vegetal para ser recomposta no futuro.

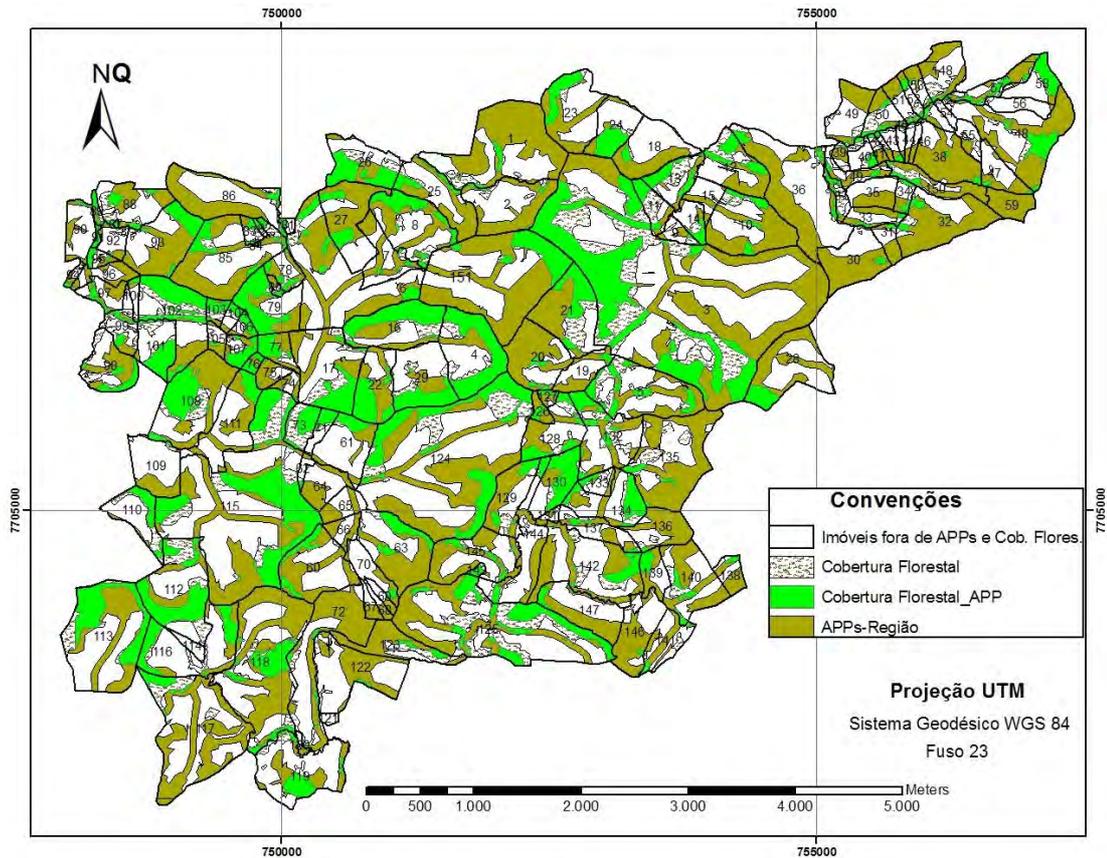


Figura 62 – Mapeamento das áreas de cobertura florestal na área em estudo.

As Reservas Legais, que são as áreas de coberturas arbóreas localizadas dentro dos imóveis, deveriam estar bem definidas e até averbadas junto à escritura da matrícula dos imóveis (Lei nº 4.771/65, art. 16), porém, na prática, isto não tem ocorrido, tornando-se o imóvel passível de multa de acordo com o Decreto Federal nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Neste trabalho foram consideradas como aptas para Reservas Legais as áreas cobertas com vegetação nativa nos diferentes estádios de vegetação (coberturas florestais).

4.2.2. Cadastro técnico rural

Mediante consulta à superintendência do INCRA do estado de Minas Gerais em meados de 2008, constatou-se que em toda a Zona da Mata do Estado de Minas Gerais existe apenas um imóvel com informações cartográficas cadastradas referentes a um único assentamento de sem terras realizado na região. Para os outros imóveis, as informações existentes eram

Tabela 19 – Área de cobertura florestal na área de estudo (ha)

Imóvel	Área Total	APPs no Imóvel	Cobertura Florestal	% do Imóvel em Cobertura Florestal	Cobertura Florestal em APPs	Cobertura Florestal Fora de APPs	% de Cobertura Florestal Fora de APPs
1	65,8498	42,2422	4,6231	7,0	1,8761	2,7470	4,2
2	32,2892	15,9967	2,5670	8,0	1,3431	1,2239	3,8
3	313,2680	155,4115	121,8094	38,9	74,2056	47,6038	15,2
4	37,2792	23,3202	22,6819	60,8	19,0422	3,6397	9,8
5	43,0893	20,1330	13,6061	31,6	7,7950	5,8111	13,5
6	68,4768	32,7947	7,6165	11,1	5,5231	2,0934	3,1
7	17,9234	8,8442	1,5912	8,9	0,9870	0,6042	3,4
8	35,0184	19,6152	10,9366	31,2	9,0725	1,8641	5,3
9	5,2727	1,6274	1,1508	21,8	0,3447	0,8061	15,3
10	37,3867	23,9094	5,9814	16,0	3,8620	2,1194	5,7
11	9,4981	4,2879	6,4722	68,1	2,8056	3,6666	38,6
12	25,4123	14,0234	8,7017	34,2	5,5564	3,1453	12,4
13	15,6622	7,4545	9,1477	58,4	5,1863	3,9614	25,3
14	7,9267	2,8940	2,7421	34,6	1,8715	0,8706	11,0
15	8,2707	2,7579	0,0876	1,1	0,0876	0,0000	0,0
16	33,0733	23,1582	18,6993	56,5	15,2501	3,4492	10,4
17	41,9082	20,2243	15,6779	37,4	9,8232	5,8547	14,0
18	26,5963	11,5742	1,1395	4,3	0,9044	0,2351	0,9
19	12,6307	6,3610	0,8087	6,4	0,6708	0,1379	1,1
20	28,4755	21,3914	1,9704	6,9	1,6634	0,3070	1,1
21	34,9524	23,7303	15,3518	43,9	9,6931	5,6587	16,2
22	23,0653	17,7345	9,7454	42,3	9,5769	0,1685	0,7
23	32,6336	16,7116	7,1257	21,8	6,0277	1,0980	3,4
24	18,4603	8,9071	7,0461	38,2	6,1781	0,8680	4,7
25	26,5654	15,7234	4,5817	17,2	3,4793	1,1024	4,1
26	24,6659	14,5063	14,0239	56,9	10,7339	3,2900	13,3
27	30,2597	19,9310	4,4959	14,9	4,2482	0,2477	0,8
28	36,9077	20,4722	4,7620	12,9	4,7537	0,0083	0,0
29	30,3199	14,4237	12,1549	40,1	9,5369	2,6180	8,6
30	24,9902	17,1515	0,8570	3,4	0,7350	0,1220	0,5
31	6,2578	3,6676	0,6514	10,4	0,3436	0,3078	4,9
32	35,7798	26,6317	2,5666	7,2	1,5270	1,0396	2,9
33	8,5987	4,9030	1,1950	13,9	0,8986	0,2964	3,4
34	4,8184	2,5646	1,7956	37,3	1,2451	0,5505	11,4
35	11,8148	5,4820	-	0,0	-	0,0000	0,0
36	62,0602	28,4407	4,5118	7,3	2,6341	1,8777	3,0
37	5,1312	1,9588	3,5490	69,2	1,4544	2,0946	40,8
38	24,5633	20,0863	1,0779	4,4	1,0112	0,0667	0,3
39	4,5220	2,1797	1,7012	37,6	0,4864	1,2148	26,9
40	5,2249	1,1799	1,9771	37,8	1,0952	0,8819	16,9
41	2,6189	1,5155	0,8104	30,9	0,2876	0,5228	20,0
42	1,6588	0,8972	0,4163	25,1	0,2940	0,1223	7,4
43	3,2833	0,9281	0,9219	28,1	0,6006	0,3213	9,8
44	2,3196	0,7119	0,3133	13,5	0,0811	0,2322	10,0
45	2,2524	0,4303	0,5009	22,2	0,2291	0,2718	12,1
46	2,1912	0,9777	0,1172	5,4	0,0275	0,0897	4,1
47	11,9150	5,0332	0,7621	6,4	0,6467	0,1154	1,0
48	48,3735	30,1683	8,1294	16,8	6,2911	1,8383	3,8
49	17,1529	7,2104	2,1443	12,5	0,4021	1,7422	10,2
50	10,0933	4,7710	4,0132	39,8	1,6514	2,3618	23,4
51	6,4673	3,2671	0,9292	14,4	0,6361	0,2931	4,5
52	3,6341	1,4261	1,7958	49,4	0,8811	0,9147	25,2
53	5,0984	2,6502	0,7103	13,9	0,3481	0,3622	7,1

Continua...

Tabela 19, Cont.

Imóvel	Área Total	APPs no Imóvel	Cobertura Florestal	% do Imóvel em Cobertura Florestal	Cobertura Florestal em APPs	Cobertura Florestal Fora de APPs	% de Cobertura Florestal Fora de APPs
54	2,1923	0,1339	0,2419	11,0	0,1265	0,1154	5,3
55	10,0555	2,7507	1,8512	18,4	0,6864	1,1648	11,6
56	7,7936	0,2778	0,2714	3,5	0,0354	0,2360	3,0
57	11,6503	8,1009	4,3392	37,2	3,1298	1,2094	10,4
58	12,8823	5,8340	5,3320	41,4	4,9197	0,4123	3,2
59	9,6466	9,6466	-	0,0	-	0,0000	0,0
60	33,6793	19,5457	5,0056	14,9	4,6675	0,3381	1,0
61	24,7234	8,4925	3,7878	15,3	3,4550	0,3328	1,3
62	2,4173	0,7061	0,4573	18,9	0,3055	0,1518	6,3
63	35,1532	23,1208	7,0468	20,0	6,0966	0,9502	2,7
64	13,2220	6,8216	-	0,0	-	0,0000	0,0
65	9,1758	4,2513	-	0,0	-	0,0000	0,0
66	6,8366	3,8221	0,1697	2,5	0,1305	0,0392	0,6
67	3,3485	2,0177	-	0,0	-	0,0000	0,0
68	2,3486	1,2877	-	0,0	-	0,0000	0,0
69	2,8199	1,1977	-	0,0	-	0,0000	0,0
70	10,8231	3,3219	0,8425	7,8	0,8129	0,0296	0,3
71	5,4542	2,5357	2,8309	51,9	2,3756	0,4553	8,3
72	48,7253	27,9133	4,6069	9,5	1,8741	2,7328	5,6
73	10,6763	5,6520	10,6763	100,0	5,6695	5,0068	47,0
74	4,1104	2,4786	0,2018	4,9	0,1297	0,0721	1,8
75	5,8687	4,4621	0,3336	5,7	0,3336	0,0000	0,0
76	2,5685	2,5685	1,9705	76,7	1,9705	0,0000	0,0
77	9,1226	8,0347	4,7846	52,4	4,4678	0,3168	3,5
78	8,8932	5,1165	3,1284	35,2	2,3632	0,7652	8,6
79	25,0039	17,9602	13,6849	54,7	12,9485	0,7364	2,9
80	1,6710	1,3123	0,6392	38,3	0,5287	0,1105	6,6
81	1,6213	0,4885	0,8049	49,6	0,4606	0,3443	21,2
82	0,8383	0,4294	0,7019	83,7	0,4294	0,2725	32,5
83	3,6658	1,7417	1,8979	51,8	1,1037	0,7942	21,7
84	0,0907	0,0907	0,0359	39,6	0,0359	0,0000	0,0
85	49,8000	28,5194	8,2277	16,5	6,1777	2,0500	4,1
86	37,7720	20,4346	2,7669	7,3	1,7392	1,0277	2,7
87	0,3224	0,2807	0,2919	90,6	0,2685	0,0234	7,3
88	22,4159	9,6777	5,3644	23,9	2,4311	2,9333	13,1
89	2,0941	1,7089	1,4342	68,5	1,0479	0,3863	18,4
90	13,8114	3,8011	0,4519	3,3	0,4305	0,0214	0,2
91	1,0206	0,9875	0,9444	92,5	0,9111	0,0333	3,3
92	7,2869	1,7767	1,1335	15,6	0,4533	0,6802	9,3
93	33,1481	22,2166	7,1395	21,5	6,4843	0,6552	2,0
94	1,8010	0,9728	0,5870	32,6	0,4593	0,1277	7,1
95	3,5678	2,2522	1,4820	41,5	1,1299	0,3521	9,9
96	8,7507	4,9576	0,2582	3,0	0,1561	0,1021	1,2
97	9,3323	4,8482	1,6068	17,2	1,4636	0,1432	1,5
98	20,9995	11,7830	6,9772	33,2	4,0451	2,9321	14,0
99	11,8201	3,8373	4,7205	39,9	1,7800	2,9405	24,9
100	3,0657	1,0475	0,8481	27,7	0,5915	0,2566	8,4
101	17,0554	7,5873	9,5845	56,2	7,0567	2,5278	14,8
102	34,8161	19,8004	19,6514	56,4	14,2617	5,3897	15,5
103	4,1676	2,9414	3,4511	82,8	2,2923	1,1588	27,8
104	3,3772	1,6152	1,7196	50,9	1,0834	0,6362	18,8
105	4,5603	2,1844	0,8234	18,1	0,3068	0,5166	11,3
106	3,8386	2,6600	2,1137	55,1	1,8388	0,2749	7,2

Continua...

Tabela 19, Cont.

Imóvel	Área Total	APPs no Imóvel	Cobertura Florestal	% do Imóvel em Cobertura Florestal	Cobertura Florestal em APPs	Cobertura Florestal Fora de APPs	% de Cobertura Florestal Fora de APPs
107	7,2476	5,4416	4,9625	68,5	4,2270	0,7355	10,1
108	45,2757	30,2206	17,1978	38,0	12,7497	4,4481	9,8
109	22,7770	6,1588	0,8198	3,6	0,1822	0,6376	2,8
110	18,1599	6,0393	7,7890	42,9	4,8750	2,9140	16,0
111	30,7975	15,1900	3,7247	12,1	3,7247	0,0000	0,0
112	45,9944	23,0296	24,8904	54,1	16,4404	8,4500	18,4
113	66,5164	40,4007	22,7371	34,2	18,0958	4,6413	7,0
114	3,2133	0,0034	0,0392	1,2	-	0,0392	1,2
115	161,3417	83,7992	61,6514	38,2	45,4229	16,2285	10,1
116	39,3330	16,2335	11,8851	30,2	9,6314	2,2537	5,7
117	73,6998	38,4537	8,7469	11,9	3,6537	5,0932	6,9
118	81,8311	50,5900	15,2333	18,6	12,1539	3,0794	3,8
119	40,6353	15,3083	8,9137	21,9	6,2117	2,7020	6,6
120	1,4674	0,7430	0,1844	12,6	0,1322	0,0522	3,6
121	1,6623	-	-	0,0	-	0,0000	0,0
122	38,2951	15,3598	1,8628	4,9	0,6075	1,2553	3,3
123	20,1266	14,3603	4,5297	22,5	1,7844	2,7453	13,6
124	162,5143	82,9863	45,1933	27,8	30,8060	14,3873	8,9
125	103,1048	50,5762	40,0557	38,8	21,5768	18,4789	17,9
126	3,7054	3,6019	1,1890	32,1	1,1890	0,0000	0,0
127	2,3368	2,0125	0,8383	35,9	0,8383	0,0000	0,0
128	23,4182	12,4228	7,6606	32,7	5,3013	2,3593	10,1
129	21,1005	12,8492	5,1487	24,4	3,1160	2,0327	9,6
130	17,9097	12,7683	11,5520	64,5	10,4719	1,0801	6,0
131	2,2660	1,1187	0,3095	13,7	0,1434	0,1661	7,3
132	32,9923	14,9224	10,4221	31,6	6,4472	3,9749	12,0
133	5,7199	2,1742	2,0307	35,5	1,0543	0,9764	17,1
134	23,9111	12,1647	10,0868	42,2	7,4600	2,6268	11,0
135	54,5662	35,2089	6,6369	12,2	2,0662	4,5707	8,4
136	17,3472	12,2597	1,0706	6,2	0,2841	0,7865	4,5
137	13,1665	5,7054	2,0176	15,3	1,2519	0,7657	5,8
138	7,3062	5,1038	0,8592	11,8	0,6302	0,2290	3,1
139	9,6328	6,0947	2,2774	23,6	2,2561	0,0213	0,2
140	30,1995	16,4174	4,4379	14,7	2,1579	2,2800	7,5
141	14,7701	5,9142	1,9725	13,4	0,7758	1,1967	8,1
142	50,5754	24,3020	9,9055	19,6	4,9409	4,9646	9,8
143	1,3050	1,0280	1,3050	100,0	1,0280	0,2770	21,2
144	27,6391	9,9039	4,3599	15,8	2,5320	1,8279	6,6
145	31,9480	18,4170	3,0345	9,5	2,4126	0,6219	1,9
146	23,4140	13,7406	0,7104	3,0	0,4101	0,3003	1,3
147	24,6266	13,1781	1,8688	7,6	1,7546	0,1142	0,5
148	17,4402	8,0388	2,5029	14,4	0,5519	1,9510	11,2
149	8,8710	4,3671	1,3188	14,9	0,7785	0,5403	6,1
150	13,7944	9,7571	3,4115	24,7	1,5770	1,8345	13,3
151	91,0883	57,6681	13,2075	14,5	12,6262	0,5813	0,6

Continua...

somente aquelas prestadas pelos proprietários anualmente junto a Declaração do Imposto Territorial Rural (DITR) e, normalmente a cada três anos por ocasião da expedição do Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR), e que podem não mostrar a realidade devido à subjetividade das declarações.

A área em estudo está situada nos municípios de Araponga, Canaã e Eralva que tem o Módulo Fiscal correspondente a uma área de 28 ha. Por conseguinte, somente os proprietários de imóveis com mais de 112 ha (ou quatro módulos fiscais) devem preencher todas as informações constantes na Declaração do Imposto Territorial Rural. Dentre os 151 imóveis (Tabela 19), verifica-se que apenas dois possuem mais que quatro módulos fiscais. Os proprietários dos outros 148 imóveis prestam somente as informações relativas aos dados pessoais e de relacionamento e os dados sobre estrutura do imóvel, não sendo necessário prestar quaisquer informações referentes à produção e formas de exploração.

Cabe aqui ainda realçar que as informações cartográficas exigidas pelo INCRA se referem às exigências pela Lei número 10.267/2001 que tratam da caracterização topográfica das linhas divisórias dos imóveis rurais, através de planta e memorial descritivo. Tem apenas rigor técnico no que diz respeito a exigir a caracterização das formas, dimensões e localizações exatas dos imóveis, de forma a atender o seu objetivo principal, que é a cartografia fundiária.

Como afirma o próprio manual de georreferenciamento do INCRA (INCRA, 2003),

“A Planta objetiva proporcionar uma visão detalhada do imóvel rural, através de seus limites, forma e confrontações. Destina-se a, juntamente com o Memorial Descritivo, possibilitar as decorrentes alterações no registro público e no cadastro de imóveis rurais do INCRA. A planta deverá ainda descrever os elementos técnicos azimutes e distâncias, entre todos os vértices do perímetro do imóvel ou quadro discriminando pontos ou vértices com as respectivas coordenadas georreferenciadas”.

Em (INCRA, 2003) encontra-se também um modelo padrão para planta dos imóveis e que se encontra reproduzido na Figura 63.

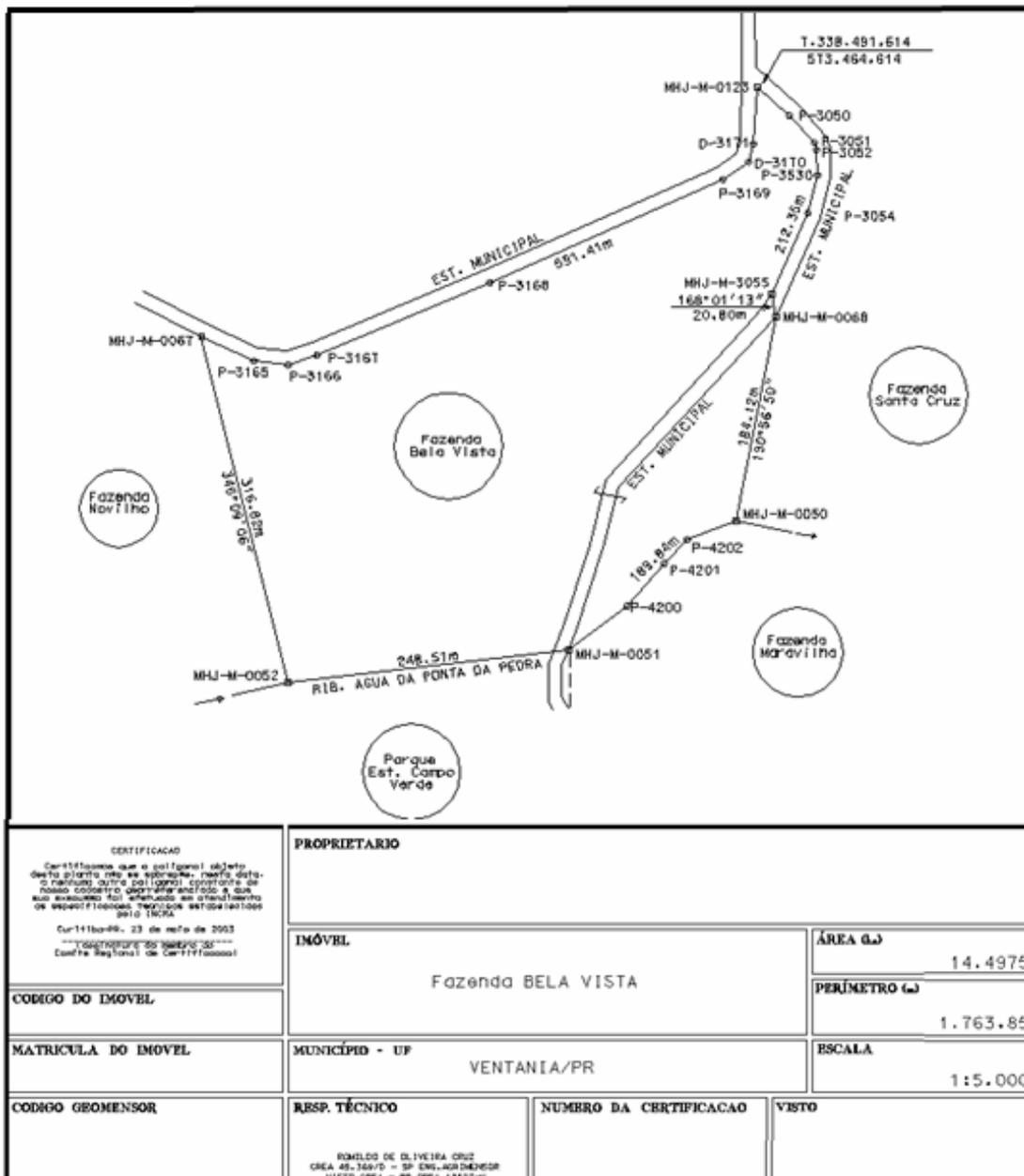


Figura 63 – Modelo de planta de imóveis rurais. Fonte: Manual de georreferenciamento – INCRA.

Esta documentação cartográfica atende aos objetivos a que se propõe, porem para outras finalidades, como: estudo ambiental, administração e planejamento, por exemplo, ainda carece de informações.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e expostos, as seguintes conclusões podem ser formuladas:

- Os MDEs originários da base cartográfica do IBGE na escala 1:50.000 e equidistância de 20 m com as diferentes resoluções espaciais (2, 5, 10 e 20 m) em associação com o método das razões de polinômios, possibilitaram a geração de ortoimagens com qualidade cartográfica com Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro-padrão Classe A para a escala 1:5.000.

- Para as condições bem extremas da imagem (ângulo de elevação $64,73846^\circ$) e terreno montanhoso, o método das razões de polinômios apresentou melhores resultados em relação ao método paramétrico (ou rigoroso), tendo apresentado Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro-padrão Classe A para a escala 1:5.000, ao passo que o método rigoroso apresentou Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro-padrão Classe B para a escala 1:5.000.

- A aplicação da correção planimétrica ou georreferenciamento expedito realizado com a aplicação do método polinomial simples já induz melhorias consideráveis na imagem, inclusive permitindo uma qualidade cartográfica com Padrão de Exatidão Cartográfica Classe B para a escala 1:25.000.

- As ortoimagens geradas pelo método das razões de polinômios e utilizando um MDE com 2 m de resolução e com 49, 25 e 11 pontos de controle terrestres adequadamente distribuídos ao longo da imagem, apresentaram-se como exatas e precisas com Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro-padrão

Classe A para a escala 1:5.000, o que demonstrou não haver necessidade da obtenção de mais do que 11 pontos de controle terrestres, pelo menos para a área de estudo.

- Para a ortorretificação da imagem em estudo pelo método das razões de polinômios, observou-se que a qualidade das coordenadas calculadas com os parâmetros de ortorretificação conduziu a uma média das deformações menores que um pixel. Já a qualidade das coordenadas extraídas das imagens após a ortorretificações, utilizando as diferentes quantidades de pontos de controle terrestres e resoluções dos modelos digitais de elevações, conduziram a deformações médias no entorno de 2 pixels.

- Para as diversas atividades que envolvam coordenadas geográficas, deve-se ter a preocupação de ter coerência na definição do sistema geodésico.

- A imagem Ikonos II ortorretificada juntamente com visitas a campo permitiu o mapeamento de 151 imóveis rurais perfazendo uma área total de 3.590,8834 ha, dos quais se apurou que as classes de uso e cobertura da terra predominante são cafezal com 22,67%, coberturas florestais com 25,85% e pasto limpo com 31,80%.

- Da área total de estudo, 54,00% seriam proibidos para uso legal por estarem situadas em áreas de preservação permanentes, conforme dispõe a resolução número 303 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

- Entre os 151 imóveis analisados, apenas 13 atenderiam a demarcação de Reserva Legal por possuírem mais que 20% das coberturas florestais fora de área de preservação permanente. Por outro lado, 78 possuem coberturas florestais em mais que 20% da área, porém ocupando também área de preservação permanente.

- O Cadastro Técnico Rural realizado pelo órgão competente (INCRA) na região do estudo, que é constituída de pequenas propriedades rurais, é muito carente de informações.

- A riqueza de informações presentes em uma ortoimagem de alta resolução, ou mesmo em um mapeamento obtido a partir de uma ortoimagem, contrasta com as poucas informações cartográficas necessárias ou exigidas pela Lei do Georreferenciamento (Lei 10.267/2001).

- Finalmente, pode-se concluir que as imagens de alta resolução apresentam um grande potencial de contribuição para as atividades de cadastro técnico imobiliário para as diversas finalidades.

- A ampliação dos conhecimentos e o incentivo ao aprimoramento de novas metodologias para a geração de modelos digitais de elevações devem ser conduzidos, já que estes são importantes e necessários para as mais diversas atividades técnicas, como a ortorretificação de imagens orbitais e a extração de informações importantes para estudos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, D. F. P. N. Avaliação da exatidão de documentos cartográficos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 44, p. 8-11, 1991.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba, 1998. 258 p.

ASSAD, E. D. **Sistema de informações geográficas**. Aplicações na agricultura. 2. ed., Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998.

BEPPLER, M.; ANTUNES, A. F. B. Atualização de bases cadastrais, em áreas de ocupações irregulares, a partir de imagens de alta resolução espacial. **Revista Geodésia** [online]. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/2008/01.1/MBAA-2008.htm>>. Acesso em: 21 jan. 2008.

BOCCARDO, P. **Orthorectification of high resolution satellite images**. Disponível em: <<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm1/papers/>>. Acesso em: 10 abr. 2006.

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 120, p. 8884-8886, 22 jun. 1984.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Instituiu o código florestal, 1965. Disponível em: <<http://www.cna.org.br/site/noticia.php?n=1734>>. Acesso em: 10 mar. 2005.

BRASIL, 2001. Lei n. 10.267, de 28 de agosto de 2001. Altera dispositivos das Leis nos 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Resolução número 303, de 13 de maio de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília, 2002.

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

BURROUGH, P. A. **Principles of geographic information systems for land resources assessment**. Oxford, Great Britain: Oxford University Press, 1986. 191 p.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. Library of Congress Cataloging-in-Publication Date, 1987. 551 p.

CASANOVA, M. A. **Bancos de dados geográficos**. Curitiba, MundoGEO, 2005

CHEN, L. C.; LO, C. Y. Generation of digital orthophotos from Ikonos Geo images. In: ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, 22., 2001. Singapore. **Anais...** Singapore, 2001.

FILLIBEN, J. J. The probability plot correlation coefficient test for normality. **Technometrics**, Washington, v. 17, n. 1, p. 111-117, 1975.

FONSECA, A. M. **Exploração de imagens de satélites de alta resolução**. Lisboa: Informação Técnica de Detecção Remota, 2004. 35 p.

GALERA, J. F. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**. São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287 p.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade cartas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 10., 1994. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1994. p. 41-48.

GANDOLFI, S. *et al.* **Levantamento florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta semidecídua** - Mun. Guarulhos, SP. Rev. Brasileira de Biologia, v.55, n.4, 1995.

GARCIA, A. R. **Declaração do ITR** - Lei tem várias novidades e exige cuidados nas informações, setembro de 2007. Disponível em: <<http://blog.advagroambiental.adv.br>>. Acesso em: 6 maio 2008.

GEMAEL, C. **Geodésia**. Curitiba: UFPR, 1984. 147 p.

GEMAEL, C. **Sistemas de projeções**. Curitiba: UFPR, 1985.

GISPLAN. Guia de produtos Ikonos. Disponível em: <www.gisplan.com.br>. Acesso em: 5 out. 2006.

GOMES, E. Georreferenciamento de imóveis rurais. **Revista InfoGPS**, set./out. de 2004. 2 p.

GRIPP JR., J.; SILVA, A. S. **O sistema UTM** – Operações principais. Viçosa-MG: UFV, 2001. 100 p. (Notas de aula)

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeto mudança de referencial geodésico** – Definições e materialização do sistema de referência, 2005. 7 p. (Relatório do grupo de trabalho 2).

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS – IPEF. Disponível em: <<http://www.ipef.br>>. Acesso em: 14 jul. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. **Indicadores cadastrais**: definição de indicadores cadastrais. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br>>. Acesso em: 3 jun. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. **Normas técnicas para georreferenciamento de imóveis rurais aplicadas à Lei nº 10.267/2001**. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br>>. Acesso em: 23 jun. 2003.

ISHIKAWA, M. I. **Potencialidades de uso de imagens Ikonos/Geo para aplicações em áreas urbanas**. 2001. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente-SP, 2001.

LEAL, E. M. **Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD**. 1998. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 1998.

LEAL, E. M. **Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD**. Belo Horizonte-MG: IGA-MG, 2006. 61 p.

LOCH, C. **Cadastro técnico multifinalitário**: rural e urbano. In: LOCH, Carlos; ERBA, Diego Alfonso. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2007. 142 p.

LUGNANI, J. B. **Introdução à fototriangulação**. Curitiba: UFPR, 1987. 134 p. (edição provisória).

MEIRA, A. D. *et al.* **Relatório e plano de controle ambiental** – Central Geradora Hidrelétrica (CGH). Limoeiro-PE, 2006. 82 p.

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

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed., Viçosa: UFV, 2004. 269 p.

NOVO, E. M. I. M. **Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações**. 2. ed. São José dos Campos-SP: Edgar Blücher, 1992. 308 p.

OLIVEIRA, M. J. **Uma proposta metodológica para a delimitação automática de áreas de preservação permanente em topos de morro e em linhas de cumeada**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.

OLIVEIRA, F. S. **Diagnóstico dos fragmentos florestais e das áreas de preservação permanente no entorno do Parque Nacional do Caparaó, no estado de Minas Gerais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2006, 59p.

PCI Geomatics Inc. OrthoEngine User Guide: version 9.1, Canada, 2003.

PEDRO, P. C. **Ortorretificação de imagens de alta resolução Ikonos e Quickbird utilizando o modelo APM (*Affine Projection Model*)**. Dissertação 2005. 95 p. (Mestrado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2005, 95p.

PINHEIRO, E. S. **Avaliação de imagens QuickBird na análise geográfica de um setor da Mata Atlântica do Rio Grande do Sul**. 2003. 137 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, São José dos Campos-SP, 2003. 137 p.

RESENDE, M.; LANI, J. L.; REZENDE, S. B. Pedossistemas da mata atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista árvore**, Viçosa, v. 26, p. 161-269, 2002.

RIBEIRO, C. A. A. S.; OLIVEIRA, M. J.; SOARES, V. P.; PINTO, F. A. C. Delimitação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros e em linhas de cumeada: metodologia e estudo de caso. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADAS À ENGENHARIA FLORESTAL, 5, 2002. Curitiba-PR. **Anais...** Curitiba-PR, 2002. p. 7-18.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, n. 2, v. 29, p. 203-212, 2005.

RIBEIRO, C. A. A. S. *et al.* Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Amazônia Legal. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 2., 2002, Campo Grande-MS. **Anais...** Campo Grande-MS, 2002. CDrom.

RIBEIRO, R. M. P. **Avaliação de métodos de classificação de imagens Ikonos II para o mapeamento da cobertura terrestre.** 2003. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2003.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora-MG: Ed. do Autor, 2000. 220 p.

SARAIVA, C. C. S. **Integração de imagens de alta resolução, Ikonos e fotografia aérea, por meio da monorrestituição digital para a atualização cartográfica de mapas municipais na escala de 1:25 000.** 2003. 219 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2003.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing, models and methods for image processing.** 2. ed., Orlando: Academic Press, 1997. 522 p.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS – sistema de posicionamento global.** São Carlos-SP: EESC/Universidade de São Paulo, 2005. 381 p.

SILVA, E. **Técnicas de avaliação de impactos ambientais.** Viçosa-MG: CPT, 1999. 64 p.

SILVA, S.; LOCH, C. Método de pós-classificação de imagens Landsat-TM para o monitoramento de CTR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2., 1996. Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis-SC, 1996. p. 1-70-76.

SOUZA, G. C. **Análise de metodologias no levantamento de dados espaciais para cadastro urbano.** 2001. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SPACE IMAGING. **Ikonos imagery products and products guide.** Version 1.3. March, 2003. 24 p.

TEIXEIRA, C. G. **Validação do modelo linear de mistura especial espectral em imagens ASTER/TERRA a partir de dados Ikonos.** 2004. 127 f.

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, 2004.

TEIXEIRA, R. T. Georeferenciamento de imóveis rurais: atualização cadastral. **Revista A MIRA**, n. 128, p. 3, 2005.

TOUTIN, T. Comparison of stereo-extracted DTM from different high-resolution sensors: SPOT-5, EROS-A, IKONOS-II, and QuickBird. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 42, n. 10, p. 2121-2129, Oct. 2004.

TOUTIN, T. Three-dimensional topographic mapping with ASTER stereo data in rugged topography. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 10, p. 2241-2247, Oct. 2002.

TOUTIN, T.; CHENG, P. Demystification of Ikonos. **Earth Observation Magazine EOM**, 2000. 9 p.

TOUTIN, T.; CHENG, P. Orthorectification and DEM generation from high resolution satellite data. In: ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, 22., 2001. Singapore. **Anais...** Singapore: National University of Singapore, 2001. 6 p.

TOUTIN, T. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. **Int. Journal Remote Sensing**, v. 25, n. 10, 2004.

VOLOTÃO, C. F. **Geração de ortoimagens para aplicações urbanas: desenvolvimento das equações e protótipo experimental**. 2001. 76 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, São José dos Campos-SP, 2001.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria dos erros**. São Paulo: Edgard Blucher, 1992.

WOLF, P. R., DEWITT, B.A. **Elements of photogrammetry with applications in GIS**. 3rd Edition. Singapore: McGraw Hill, 2000, 608p.

WOLF, P. R. **Elements of photogrammetry**. New York: MacGraw-Hill, 2000. 628 p.

XU, Z. **The rational function model in photogrammetric mapping: methods and accuracies**. 2004. 64 f. Master Thesis. North York, Ontario, Canada. Department of Earth Science, York University, 2004.

ANEXOS

ANEXO A

DADOS DOS PONTOS OBTIDOS COM GPS

Sistema Geodésico :	WGS 1984
Sistema de Projeção:	UTM
Zona/Fuso:	23 South
Nome do Elipsoide:	World Geodetic System 1984
Achatamento 1/f:	298,257
Semi-eixo maior:	6.378.137,000 m

Foi lançado no interior da região do estudo, um marco para servir de base no cálculo das coordenadas dos pontos a serem utilizados como controle terrestre e checagem. O ponto foi materializado com um marco de concreto protegido por uma cerca onde está situada uma base meteorológica da Fazenda Braúna, conforme pode ser visualizado na foto da Figura 1A.



Figura 1A – Localização do marco-base Braúna.

A posição do ponto-base Braúna, bem como as dos pontos de controle terrestres e checagem podem ser visualizados na Figura 2A.

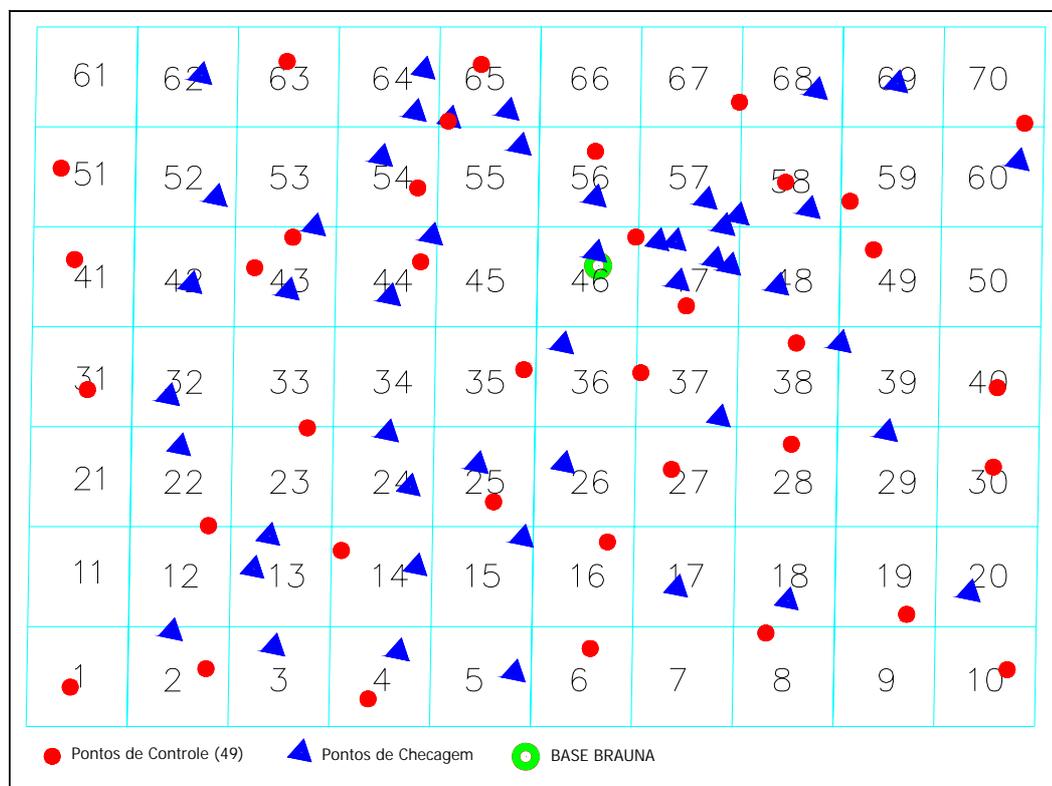


Figura 2A – Posições dos pontos obtidos com rastreamento GPS.

O ponto-base Braúna foi rastreado com um receptor de satélite L1/L2 Novatel pertencente ao IGA-MG, cujo tempo de rastreamento pode ser visualizado na Tabela 1A.

Tabela 1A – Tempo de Rastreamento no ponto-base Braúna

Hora de início (Hora GPS):	07/04/2007 13:24:15.000	1423, 480255,000
Tempo de parada (Hora GPS):	07/04/2007 21:18:00.000	1423, 508680,000
Tempo de ocupação:	07:53:45.000	

Para o processamento foi o tomado o ponto fixo da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC localizado no Campus da UFV denominado VICO. O programa utilizado para o processamento foi o TGOOffice v 1.63. O resultado do processamento pode ser visualizado nas Tabelas 2A e 3A.

Tabela 2A – Componentes da linha base resultantes do processamento

De:	VICO				
Grid		Local		WGS 84	
Dir Norte	7702785,751 m	Latitude	20°45'41,40200" S	Latitude	20°45'41,40200" S
Dir Leste	721757,711 m	Longitude	42°52'11,96220" O	Longitude	42°52'11,96220"O
Elevação	672,710 m	Altura	672,710 m	Altura	672,710 m
Para:	Base Braúna				
Grid		Local		WGS 84	
Dir Norte	7706812,690 m	Latitude	20°43'15,91971" S	Latitude	20°43'15,91971"s
Dir Leste	753566,341 m	Longitude	42°33'54,86623" O	Longitude	42°33'54,86623"O
Elevação	769,410 m	Altura	769,410 m	Altura	769,410 m
Linha da base:					
Δ Dir Norte	4026,939 m	Azimute p frente SN	82°01'48"	Δ X	22764,499 m
Δ Dir Leste	31808,630 m	Distância elip.	32052,931 m	Δ Y	22185,169 m
Δ Elevação	96,700 m	Δ Altura	96,700 m	Δ Z	4150,390 m
Erros padrão da linha da base:					
$\sigma \Delta$ Dir Norte	0,001 m	σ Azimute p frente SN	0,008 segundo	$\sigma \Delta$ X	0,007 m
$\sigma \Delta$ Dir Leste	0,003 m	σ Distância elips.	0,003 m	$\sigma \Delta$ Y	0,005 m
$\sigma \Delta$ Elevação	0,009 m	$\sigma \Delta$ Altura	0,009 m	$\sigma \Delta$ Z	0,004 m

Tabela 3A – Coordenadas do ponto-base Braúna

Coordenadas ponto: Base Braúna			
N	7.706.812,690 m	Latitude:	20°43'15,91971"Sul
E	753.566,341 m	Longitude:	42°33'54,86623" Oeste
Altitude Geodésica		769,410 m	
Altitude Ortométrica		762,970 m	

Os demais pontos foram rastreados com o receptor de uma frequência Promark 2 pertencente ao Departamento de Engenharia Civil da UFV. O tempo mínimo de rastreio foi de uma hora, o processamento foi realizado utilizando o programa Ashtech Solution v 2.6. As coordenadas dos pontos controle terrestres utilizados estão na Tabela 4A e os pontos de checagem na Tabela 5A.

Tabela 4A - Pontos de controle terrestres

Ponto	Abscissa E	σE	Ordenada N	σN	Altitude ortométrica	σH	Observação
1B	748330,041	0,048	7702596,825	0,046	665,643	0,071	QUINATERREIRO
2B2	749675,439	0,036	7702781,239	0,061	667,706	0,086	CANTOPONTE
4B1	751283,311	0,083	7702478,135	0,101	720,969	0,092	CANTOPONTEMURO
6B	753487,191	0,142	7702983,196	0,148	836,462	0,140	QUINACERCA
8B	755229,831	0,157	7703137,462	0,151	759,685	0,143	QUINACURRAL
10I	757622,662	0,054	7702771,088	0,055	883,760	0,106	ENCRUZILHADACAMINHO
12B	749435,920	0,039	7703442,545	0,038	667,592	0,084	PORTEIRA
14A	751018,981	0,045	7703963,474	0,049	901,471	0,094	QUINACERCA
16B	753658,233	0,102	7704048,798	0,108	747,001	0,100	CANTOPONTE
19B	756625,811	0,098	7703324,723	0,093	765,517	0,081	QUINACERCA
22A	749701,000	0,036	7704212,316	0,043	827,279	0,086	CERCADIVISOR
23B	750721,579	0,039	7704711,724	0,042	708,961	0,088	PORTEIRA
25A	752464,995	0,040	7704639,467	0,046	798,569	0,094	CERCADIVISOR
27B	754293,581	0,205	7704774,332	0,209	760,367	0,182	PORTEIRA
28B	755482,748	0,140	7705026,608	0,120	819,799	0,148	QUINATELHADOCASA
30I	757485,983	0,160	7704797,792	0,166	839,990	0,156	QUINATERREIRO
31B1	748297,846	0,037	7705737,438	0,038	672,403	0,085	ENCRUZILHADAESTRADA
33B1	750682,224	0,189	7705190,326	0,160	697,714	0,170	CANTOPONTE
34B	751524,867	0,043	7705606,982	0,046	728,494	0,093	CERCABAIXO
35B	752829,127	0,120	7705772,310	0,124	751,304	0,188	CANTOTERREIRO
37A	753989,350	0,062	7705741,778	0,061	949,934	0,082	QUINACAFEDIVISOR
38B	755532,545	0,118	7706039,056	0,116	841,956	0,099	CRUZAMCERCACAMINHO
40A	757525,899	0,006	7705591,665	0,007	1037,863	0,014	QUINACAFEZAL
41B1	748372,979	0,038	7706875,276	0,044	677,584	0,082	CERCACASACAMINHO
43A	750160,389	0,070	7706792,063	0,084	806,600	0,167	CRUZAMENTOCERCA
43B	750539,049	0,048	7707097,751	0,047	721,364	0,093	QUINATERREIRO
44A	751805,709	0,104	7706851,382	0,085	858,798	0,178	CAFEZALDIVISOR

Continua...

Tabela 4A, Cont.

Ponto	Abscissa E	σE	Ordenada N	σN	Altitude ortométrica	σH	Observação
49B	756297,677	0,144	7706972,657	0,110	880,404	0,104	PORTEIRA
51B	748240,168	0,090	7707788,467	0,083	694,235	0,087	QUINACAFEESTRADA
52B1	749838,872	0,033	7707948,721	0,044	733,425	0,089	QUINACERCA
54A	751777,017	0,086	7707590,761	0,086	926,285	0,177	DIVISORCERCAMARCO
56B	753702,912	0,056	7707735,229	0,064	763,511	0,085	QUINACERCAESTRADA
58B	755425,420	0,056	7707647,774	0,056	840,137	0,105	QUINACERCACURRAL
59A	756065,178	0,056	7707457,170	0,058	984,379	0,096	QUINACERCACAMINHO
63I	750297,784	0,034	7708436,115	0,047	753,301	0,095	PORTEIRAESTRADA
66B	753435,414	0,041	7708650,829	0,048	790,055	0,102	QUINACERCACURRAL
67B1	754967,664	0,091	7708448,495	0,085	779,948	0,073	QUINACERCACORREGO
70B	757796,454	0,113	7708237,328	0,108	998,326	0,100	QUINACERCAHORTA
VIC4	752408,049	0,064	7708825,578	0,059	960,914	0,086	DIVISORCERCA
VIC5	752572,612	0,127	7708114,780	0,112	902,136	0,104	DIVISORCERCA
VIC8	752079,504	0,075	7708258,489	0,069	821,008	0,104	QUINATERREIRO
BR03	753563,713	0,004	7706757,987	0,004	762,390	0,008	QUINACANTEIRO
BR04	753941,230	0,006	7707098,800	0,005	786,806	0,007	ENCRUZILHADACAMINHO
BR05	754333,720	0,006	7707054,815	0,005	799,580	0,006	CANTOTERREIRODECASA
BR08	754915,386	0,004	7707056,877	0,004	864,545	0,008	ENCRUZILHADACAMIHO
BR11	754441,281	0,004	7706410,360	0,004	941,176	0,008	DIVISORCERCA
BR17	752885,063	0,004	7707894,239	0,004	821,641	0,007	CAMINHOFRENTECASA

Tabela 5A – Pontos de checagem

Ponto	Abscissa E	σE	Ordenada N	σN	Altitude ortométrica	σH	Observação
2B1	749.336,969	0,047	7.703.151,862	0,043	679,246	0,088	QUINACERCA
4B2	751.587,468	0,197	7.702.951,287	0,160	723,988	0,118	PONTE
5B	752.737,026	0,041	7.702.739,660	0,046	773,439	0,095	ENCRUZILHADACAMINHO
13A1	750.304,248	0,039	7.704.107,246	0,053	823,488	0,089	QUINCERCACAMIHO
14B	751.765,268	0,188	7.703.800,733	0,155	728,199	0,181	PONTE
15I	752.817,267	0,091	7.704.088,919	0,094	773,046	0,086	QUINACERCAESTRADA
18B	755446,825	0,006	7.703.461,425	0,007	757,750	0,014	QUINACAFEZAL
20B	757.250,841	0,118	7.703.541,769	0,105	765,999	0,093	QUINACERCAESCOLA
22B	749.419,024	0,046	7.705.003,674	0,043	686,083	0,075	CÓRREGOCAMINHO
24B	751.483,170	0,044	7.705.142,651	0,047	735,691	0,092	CANTOACUDE
24I	751.696,963	0,039	7.704.601,104	0,046	795,621	0,091	CURVACERCA
25B	752.373,020	0,040	7.704.825,459	0,051	733,328	0,091	CANTOMUROESCOLA
26B	753.228,757	0,128	7.704.827,199	0,123	770,553	0,204	QUINACERCA
29I	756430,787	0,008	7705145,274	0,008	935,631	0,020	ENCRUZILHADACAMINHO
32B1	749.309,251	0,150	7.705.503,816	0,134	680,623	0,149	EXTREMOCERCAESTRADA
36B	753.218,117	0,087	7.706.021,799	0,083	751,519	0,085	CANTOTERREIRO
37B	754.770,239	0,161	7.705.292,849	0,143	801,911	0,143	CANTOTERREIRO
39I	755.970,082	0,174	7.706.035,495	0,156	889,309	0,151	ENCRUZILHADACAMINHO
42I	749.529,416	0,094	7.706.625,723	0,101	742,453	0,103	CANTOTULHA
43B1	750.498,239	0,040	7.706.560,638	0,042	718,703	0,086	ENCONTROCERCA
44B1	751.923,047	0,040	7.707.109,079	0,055	780,570	0,092	CANTOCURRAL
44B	751.503,895	0,045	7.706.504,516	0,042	755,242	0,086	PORTEIRA
48B	755.349,619	0,191	7.706.611,883	0,165	840,831	0,156	EXTREMOCERCAAFEZAL
52B	749.780,189	0,039	7.707.498,850	0,041	733,039	0,085	QUINACERCA
53B	750.759,803	0,049	7.707.200,902	0,052	724,630	0,079	PONTE
54A1	751.422,533	0,081	7.707.899,602	0,089	814,790	0,173	DIVISORCAMINHO
58A	755.666,084	0,042	7.707.375,455	0,048	933,027	0,103	QUINACERCACAMINHO

Continua...

Tabela 5A, Cont.

Ponto	Abcissa E	σE	Ordenada N	σN	Altitude ortométrica	σH	Observação
60I	757.738,013	0,160	7.707.854,973	0,189	1046,237	0,177	CERCABUEIRO
68I	755.736,526	0,151	7.708.567,518	0,166	827,792	0,157	QUINACERCACAMINHO
69I	756.531,594	0,071	7.708.634,859	0,062	889,217	0,096	QUINACAFEZAL
VIC1	751.755,624	0,091	7.708.347,474	0,084	889,626	0,089	QUINACAFEZAL
VIC3	751.847,289	0,066	7.708.771,389	0,060	932,420	0,074	DIVISORCANTOCERCA
VIC6	752.677,458	0,045	7.708.361,063	0,060	961,584	0,091	DIVISORQUINA
BR01	753.545,917	0,004	7.706.941,834	0,004	755,434	0,008	QUINATERREIRO
BR06	754.817,197	0,004	7.707.206,351	0,004	856,616	0,008	ENCRUZINHADACAMINHO
BR07	754.160,680	0,004	7.707.054,555	0,004	796,112	0,008	CAMINHOPONTACERCA
BR10	754.364,646	0,004	7.706.652,911	0,004	864,540	0,008	CURVACAMINHO
BR13	754.639,420	0,004	7.707.468,430	0,004	922,567	0,008	ENCRUZINHADACAMINHO
BR14	754.954,127	0,003	7.707.313,803	0,004	916,083	0,008	ENCRUZILHADACAMINHO
BR15	754.876,305	0,003	7.706.809,526	0,004	932,915	0,009	ENCRUZINHADACAMINHO
BR16	753.541,467	0,003	7.707.491,621	0,003	754,905	0,009	ENCRUZILHADAESTRADA
BR18	752.797,569	0,003	7.708.010,150	0,003	837,107	0,008	CANTOCAFEZAL