ERLY CALDAS DE LIMA

O LEVANTAMENTO PIONEIRO DA SARA BRASIL: HISTÓRICO,
TECNOLOGIA EMPREGADA E AVALIAÇÃO DOS PRODUTOS.

SÃO PAULO
2013

ERLY CALDAS DE LIMA

O LEVANTAMENTO PIONEIRO DA SARA BRASIL: HISTÓRICO,
TECNOLOGIA EMPREGADA E AVALIAÇÃO DOS PRODUTOS.

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Transportes

Subárea:
Informações Espaciais

Orientador: Professor Livre-Docente
Jorge Pimentel Cintra

SÃO PAULO
2013

DEDICATÓRIA

À minha abençoada mãe Inis, pelo amor e carinho.

À minha querida esposa Rose e meus filhos pelo incentivo e compreensão

Ao colega Wladimir Krawczenko (in memoriam), que se estivesse conosco estaria
terminando a sua dissertação de mestrado.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Pimentel Cintra pela dedicação, incentivo e pela paixão compartilhada pelos estudos de cartografia histórica.

Ao Prof. Dr. Edvaldo Simões da Fonseca Jr. pela ajuda e incentivo.

À INFRAERO, nas figuras da Sr^a. Cristina Lazzari, Gerente de Operações e do Sr. Mauro Massao de Moura, Encarregado de Segurança Operacional; pela autorização de entrada e auxílio na locomoção dentro do Aeroporto Campo de Marte.

A empresa Alezi Teodolini, na figura do Eng^o Marcos Guandalini pelo empréstimo do receptor Promark 500 com RTK/GSM (NTRIP), para a procura dos Vértices (pontos de apoio).

Aos colegas Martim Silva Santos e Jair Oliveira na ajuda da procura dos Vértices (pontos de apoio).

Ao Prof. Irineu Idoeta e à Base Aerofotogrametria e Projetos S.A. na consulta e fornecimento de material aerofotogramétrico.

À ERBE Engenharia e Agrimensura Ltda, na figura do Eng^o Alex Richiéli Cassaro pelo fornecimento de material topográfico para comparação e análise dos mapas.

À SPObras pelo fornecimento de material topográfico para comparação e análise dos mapas.

Secretaria do Estado da Cultura, nas figuras da Sr^a Mara Silvia Ruzzo, Diretora do Departamento de Administração e sua secretária Dona Sirlene J. da S. Chagas; pela autorização e apoio na visita à torre da estação Júlio Prestes.

RESUMO

Este trabalho procura resgatar um capítulo da história da cartografia brasileira, através do estudo histórico-técnico do levantamento aerofotogramétrico pioneiro da SARA Brasil realizado entre os anos de 1928 e 1933. Para tanto foi feito um estudo através da análise da tecnologia da época e recorrendo a documentos e fontes históricas primárias: o contrato do mapeamento; a troca de correspondência entre a direção da SARA na Itália e a PMSP e entre o engenheiro fiscal em Roma e a PMSP; os levantamentos da Comissão Geográfica e Geológica, que foram aproveitados e finalmente, os próprios produtos da SARA: as folhas do mapeamento, a análise da precisão feita na época (1931); o levantamento da capital paulista e de trabalhos similares contemporâneos. Também se fez um trabalho de pesquisa para localizar fisicamente a base cartográfica de partida do mapeamento, os marcos utilizados, os pontos da triangulação; alguns foram localizados e as suas coordenadas foram avaliadas. Para a análise técnica dessa base cartográfica foram utilizados diversos conceitos e ferramentas de cartografia digital, como por exemplo: transformação de coordenadas entre sistemas, ajustamentos matemáticos utilizando o método dos mínimos quadrados, análise da qualidade de mapas (teste de erros sistemáticos, teste de precisão). Apresentou-se também um estudo sobre as precisões cartográficas desse mapeamento, tanto analisando uma avaliação feita na época como aplicando técnicas atuais, utilizando, para controle, pontos GNSS e um mapeamento atual feito por topografia clássica. A conclusão nesse aspecto é que ele atendeu o padrão de qualidade posicional proposto na época e está bastante razoável mesmo para os padrões atuais. Cumpru seu papel cartográfico de representação de feições, foi útil durante décadas e continua exercendo hoje um papel importante como peça gráfica de valor histórico e de “fotografia” de uma época.

ABSTRACT

This paper seeks to rescue a chapter in the history of Brazilian Cartography, through the historical and technical study of the pioneer aerial survey made between the years of 1928 and 1932 by SARA Brazil. To do so was made a study of that one, through the analysis of that time's technology and using documents and primary historical sources: the contract of the mapping; the correspondence between the direction of SARA in Italy and the PMSP and between the P.E. inspector in Rome and the PMSP; the Geographical and Geological Commission surveys, which were acted on and finally, SARA products themselves: the print maps, precision analysis made at that time (1931); the São Paulo State capital's survey and similar and contemporary works. Also was made a research to materially find out the cartographic base of departure of the mapping, the landmarks used, triangulation points; some of which was located and their coordinates evaluated. For the technical analysis of this cartographic base were used several concepts and tools of digital Cartography, as for example: coordinate transformation between systems, mathematical adjustments using the least squares method, analysis of maps quality (systematic errors test, accuracy test). Also presented a study about the Cartographic precision of this mapping, both analyzing an assessment made at that time as applying current techniques, using, for the control, GNSS points and a current mapping done by classic topography. The conclusion on this aspect is that it has met the quality standard at that time proposed and the positional is quite reasonable even for current standards. Fulfilled his cartographic role of features representation, was useful for decades and continues today with an important role as graphic part of historical value and of "photograph" of a date.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	14
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	2
1.2. OBJETIVO	3
1.3. DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS	4
2. AS ETAPAS DE UM LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO URBANO NA ÉPOCA (1930)	5
2.1. TRABALHOS PREPARATÓRIOS OU PRELIMINARES	6
2.1.1. Escolha da escala para levantamentos urbanos	6
2.1.2. Determinação dos pontos de apoio terrestres	8
2.1.3. Preparo geométrico do voo	14
2.1.4. Escolha da câmera, obturador, filmes/placas	15
2.2. TRABALHOS DE CAMPO	18
2.2.1. Tomada das fotografias e reambulação	18
2.3. TRABALHOS DE ESCRITÓRIO OU LABORATÓRIO	22
2.3.1. Revelação, cópia e arquivo dos filmes/placas	22
2.3.2. Mosaicos, fotocartas e transformações planimétricas	23
2.3.3. Restituição altimétrica e planimétrica	24
3. FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS E GEOMÉTRICOS	27
3.1. SISTEMAS DE COORDENADAS	27
3.1.1. Fórmulas de transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares no Sistema Topográfico Local	29
3.2. TRANSFORMAÇÕES ENTRE SISTEMAS	31
3.2.1. Transformação geométrica euclidiana equiárea	32
3.2.2. Transformação geométrica similar	33
3.2.3. Transformação afim	34
3.2.4. Transformações projetivas e polinomiais	36
3.2.5. Reamostragem	37

3.2.5.1. Reamostragem por vizinho mais próximo	38
3.2.5.2. Reamostragem por interpolação bilinear	39
3.2.5.3. Reamostragem pelos métodos de vizinhança 4 x 4 <i>pixels</i> e de <i>splines</i> bicúbicas	40
3.3. TRANSFORMAÇÕES DISPONÍVEIS EM PROGRAMAS DE CARTOGRAFIA DIGITAL	40
3.3.1. Transformações no programa AutoCAD Raster Design®	44
3.3.2. Aplicação dessas transformações ao mapeamento da SARA	45
3.4. MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS	56
3.5. ANÁLISE DA QUALIDADE DE MAPEAMENTOS	58
3.5.1. Qualidade Posicional	58
3.5.1.1. Amostragem	59
3.5.1.2. Avaliação do erro sistemático (Teste de tendência)	60
3.5.1.3. Avaliação da precisão (Teste do Qui-quadrado)	61
3.5.2. Qualidade Posicional na época do mapeamento da SARA	62
3.5.3. Parâmetros de Linhagem	67
3.5.4. Completude	67
3.5.5. Fidelidade semântica	68
3.5.6. Consistência Lógica	69
4. O MAPEAMENTO DA SARA	70
4.1. INTRODUÇÃO	70
4.2. SITUANDO NO CONTEXTO TÉCNICO	71
4.3. UMBERTO NISTRI E A SARA	72
4.4. O CONTRATO ENTRE A PMSP E A SARA BRASIL S/A.	75
4.5. PRAZOS, ADIAMENTOS E CRONOLOGIA	76
4.6. AS ESPECIFICAÇÕES E A TÉCNICA DO LEVANTAMENTO	79
4.7. A CONTRIBUIÇÃO DA CGG E DE AGENOR MACHADO	87
4.8. OS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS E SUAS ESPECIFICAÇÕES	92
4.9. ANÁLISE CARTOGRÁFICA DO MAPEAMENTO	98
4.10. O PREÇO DE VENDA DAS FOLHAS E OUTROS VALORES MONETÁRIOS	101
4.11. OS VÉRTICES DAS TRIANGULAÇÕES	103
5. ANÁLISE DA PRECISÃO DO MAPEAMENTO DA SARA	117
5.1. ANÁLISE FEITA EM 1930 PELO ENG. AGENOR MACHADO	117

5.2. ANÁLISE DAS MEDIDAS DE ALINHAMENTOS	119
5.3. QUALIDADE POSICIONAL DO MAPEAMENTO DA SARA COMPARADA COM LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL	122
5.3.1. Determinação do tamanho da amostra	123
5.3.2. Avaliação do erro absoluto	125
5.3.3. Análise estatística e avaliação do erro sistemático e da precisão	127
5.4. QUALIDADE POSICIONAL DO MAPEAMENTO DA SMDU COMPARADA COM LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL	132
5.5. QUALIDADE POSICIONAL DO MAPEAMENTO DA SARA COMPARADA AO MAPEAMENTO DA SMDU	137
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	147
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	147
6.2. TRABALHOS FUTUROS	150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
REFERÊNCIAS CONSULTADAS	158
ANEXO A – TERMO DE CONTRATO QUE FAZEM A “SOCIETÀ ANONIMA RILLEVAMENTI AEROFOTOGRAMMETRICI DE ROMA” E A PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, PARA O LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DA CIDADE E DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO.	159
ANEXO B – Artigo de Agenor Machado “Le levé Aérophotogrammétrique de s. Paulo et ses premiers resultats techniques.”	167
ANEXO C – Discrepâncias entre as distâncias do mapeamento da SARA e a fonte de referência (levantamento topográfico da ERBE)	172
ANEXO D – Discrepâncias entre as coordenadas do mapeamento da SARA e a fonte de referência (levantamento topográfico da ERBE)	175
ANEXO E – Discrepâncias entre as coordenadas do mapeamento da SARA e a fonte de referência (levantamento topográfico da ERBE)	182
ANEXO F – Discrepâncias entre as coordenadas do mapeamento da SARA e a fonte de referência (mapeamento da SMDU)	189
ANEXO G – Discrepâncias entre as altitudes do mapeamento da SARA e a fonte de referência (mapeamento da SMDU)	196
ANEXO H – CÓPIA DA FOLHA 51/8 DO MAPEAMENTO DA SARA	197

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de um levantamento aerofotogramétrico.	5
Figura 2 - Tomando medidas com o fio de Invar, década de 1920.	9
Figura 3 - Ampliação de Base.	10
Figura 4 - Heliótrópio.	11
Figura 5 - Micrometro óptico.	12
Figura 6 - Detalhe da leitura do micrometro óptico.	12
Figura 7 - Esquema representativo do problema de Pothenot.	13
Figura 8 - Recobrimento transversal e longitudinal.	15
Figura 9 - Câmera aérea automática "EAGLE" e equipamentos, montada no cockpit.	16
Figura 10 - Câmera aérea "K-3 ".	17
Figura 11 - Dispositivo gravador, da câmera "K-3" (altitude, relógio, nível, contador e data).	17
Figura 12 - Aerofoto com registros de dados da foto e do voo.	17
Figura 13 - Espectro de um filme comum.	18
Figura 14 - Espectro de um filme pancromático.	18
Figura 15 – Avião utilizado para tomada de fotos aéreas pelo Corpo Aéreo do Exército dos EUA	20
Figura 16 - Missão aerofotográfica em operação. Disposição do piloto, fotógrafo e câmara.	21
Figura 17 - Fiat AS-1, década se 1920.	22
Figura 18 - Caproni CA-97, década se 1920.	22
Figura 19 - Primeiro fotocartógrafo Nistri, com operador.	26
Figura 20 - Transformação geométrica equiárea.	32
Figura 21 - Transformação geométrica similar.	33
Figura 22 - Parâmetros modificados na transformação afim: a) não ortogonalidade dos eixos, b) rotação e c) translação.	34
Figura 23 - Transformação projetiva.	36
Figura 24 - O problema da reamostragem - compatibilizar a radiometria da imagem original para uma nova distribuição de pixels.	38
Figura 25 - Reamostragem por vizinho mais próximo.	39
Figura 26 - Reamostragem por interpolação bilinear.	39
Figura 27 - Reamostragem por interpolação bilinear.	40
Figura 28 - Problema da interpolação polinomial. No sentido horário: função original; interpolação por polinômios de grau 3, 7 e 11.	42
Figura 29 - "Rubber Sheeting" baseado em uma Rede triangular Irregular e transformação Afim.	43
Figura 30 - Sobreposição da malha de coordenadas com a imagem da folha 51/9 do mapeamento sem retificação.	49
Figura 31 - Sobreposição da malha de coordenadas e pontos de controle, com a imagem da folha 51/9 do mapeamento sem retificação.	50
Figura 32 - Caixa de diálogo para definição dos pontos de controle, com o método polinomial de primeiro grau selecionado.	51
Figura 33 - Caixa de diálogo para definição dos pontos de controle, com o método polinomial de sexto grau selecionado	52

Figura 34 - Caixa de diálogo para definição dos pontos de controle, com o método triangular selecionado.	53
Figura 35 - Folha 51/9 do mapeamento da SARA após retificação pelo método polinomial de sexto grau.	54
Figura 36 - Folha 51/9 do mapeamento da SARA após retificação pelo método triangular.	55
Figura 37 - Histograma das Frequências das diferenças de medidas em alinhamentos.	66
Figura 38 - Aeroplano I - FOTO (CA 97) da SARA, utilizado no Brasil.	73
Figura 39 - Interior do avião da SARA.	74
Figura 40 - Em frente ao CA 97, sendo Amedeu Nistri, o primeiro à esquerda.	75
Figura 41 - Sequencia linear de pontos de apoio.	82
Figura 42 - Folha 51/3, na escala 1:1.000 na qual estão representadas a origem das coordenadas planas ($x=0,00$; $y=0,00$) e a referência de nível ($z=727,48$; RN da CGG).	83
Figura 43 - Fotocartógrafo Nistri em vista oposta. Complementar à da Figura 19.	85
Figura 44 - Base da Triangulação da CGG no Campo de Marte (1921-1926).	89
Figura 45 - Marco "A" da Base Geodésica medida pela CGG no Campo de Marte.	89
Figura 46 - Sobreposição da triangulação da CGG sobre a triangulação da SARA.	90
Figura 47 - Origem das coordenadas e RN da CGG, nas proximidades da Rua do Gasômetro (Parque Dom Pedro).	90
Figura 48 - Vértice e RN da SARA, no Museu do Ipiranga.	91
Figura 49 - RN da CGG, localizado atrás do Museu do Ipiranga.	91
Figura 50 - Folha índice do mapeamento da SARA.	92
Figura 51 - Articulação do mapeamento 1:5.000 (número maiores) com o 1:1.000.	93
Figura 52 - Planta da Cidade de São Paulo, folha nº 1, possível modelo do mapeamento SARA.	97
Figura 53 - Cabeçalho da folha 50/8 na escala 1:1000.	99
Figura 54 - Folha 24, mostrando o carimbo com ato e data de aprovação do mapeamento.	99
Figura 55 - Convenções da folha 50-8 na escala 1:1000.	100
Figura 56 - Tipos de Marcos representados nas cartas da SARA.	100
Figura 57 - Base da Triangulação da CGG superposta a uma imagem atual.	103
Figura 58 - Edificação AES Eletropaulo em 1929. Figura 59 - Edificação AES Eletropaulo em 2011.	104
Figura 60 - Edificação sita à Rua Voluntários da Pátria com R. Força Pública.	105
Figura 61 - Localização do Marco "A" da base geodésica implantada pela GCC, equivalente ao Marco "1" da SARA.	105
Figura 62 - Localização do Marco "B" da base geodésica da CGG, equivalente ao Marco "2" da SARA.	106
Figura 63 - Reocupação do Marco "B".	108
Figura 64 - Vértices da Triangulação da SARA desenhados sobre imagem atual georreferenciada.	109
Figura 65 - Localização do Vértice 3 da SARA.	109
Figura 66 - Localização do Vértice 4 da SARA.	110
Figura 67 - Torre da estação Júlio Prestes, onde estaria o Vértice 4.	110
Figura 68 - Vértice 4 da triangulação da SARA.	111
Figura 69 - Animais na área de mata do vértice 15.	112
Figura 70 - Área de mata - vértice 15.	113
Figura 71 - Vértice 15 da triangulação da SARA. Marco de pedra.	113

Figura 72 - Vértice 35 da triangulação da SARA. Chapa de bronze chumbada na pedra.	114
Figura 73 - Vértice 37 da triangulação da SARA. Marco de pedra.	115
Figura 74 - Sobreposição do Levantamento Topográfico com o mapa SARA (Rua do Gasômetro).	119
Figura 75 - Histograma de Frequência das diferenças de medidas em alinhamentos – Rua do Gasômetro.	121
Figura 76 - Sobreposição do levantamento topográfico da ERBE e o mapeamento da SARA.	123
Figura 77 - Vista da tela dividida entre o mapa da SARA e o Google Maps Street View.	124
Figura 78 - Exemplos de edificações existentes em 1930 e remanescentes nos dias atuais que serviram para extrair medidas e efetuar a análise da qualidade dos mapas.	124
Figura 79 - Histograma de Frequências do erro absoluto	126
Figura 80 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SARA x ERBE – abscissa X.	128
Figura 81 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SARA x ERBE – ordenada Y.	129
Figura 82 - Sobreposição do levantamento topográfico e o mapeamento da SMDU.	133
Figura 83 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SMDU x ERBE – ordenada X.	134
Figura 84 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SMDU x ERBE – ordenada Y.	135
Figura 85 - Sobreposição do mapeamento da SMDU ao da SARA.	138
Figura 86 - Pontos transformados do plano topográfico para o sistema UTM.	139
Figura 87 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SARA x SMDU – abscissa X.	140
Figura 88 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SARA x SMDU – ordenada Y.	140
Figura 89 - Sobreposição do MDE x SARA.	144
Figura 90 - Pontos com altitude referida ao viaduto.	145
Figura 91 - Histograma de Frequências do erro altimétrico.	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Grau máximo do polinômio pelo número de pontos de controle.	45
Tabela 3.2 - Pontos de controle para retificação da Folha 51/9 do mapeamento SARA	46
Tabela 3.3 - Diferenças encontradas no levantamento de Milão, escala: 1:2.000.	63
Tabela 3.4 - Diferenças encontradas no levantamento de Milão, escala: 1:2.000.	63
Tabela 3.5 - Diferenças das medidas planimétricas.	64
Tabela 3.6 - Resumo estatístico das diferenças de medidas em alinhamentos.	65
Tabela 4.1 - Cálculo da área total mapeada nas duas escalas.	94
Tabela 4.2 - Preço de venda das folhas do mapeamento, escalas 1:1.000 e 1:5.000.	101
Tabela 4.3 - Atualização de outros valores.	102
Tabela 4.4 – Coordenadas Topográficas dos vértices encontrados.	115
Tabela 4.5 - Coordenadas UTM dos vértices encontrados. Fuso 23 (45°W), datum SAD-69.	116
Tabela 5.1 - Quadro com os 53 médios nos alinhamentos analisados.	118
Tabela 5.2 - Quadro com erros medidos nos alinhamentos da Rua do Gasômetro.	120
Tabela 5.3 - Resumo estatístico das diferenças de medidas em alinhamentos – Rua do Gasômetro.	120
Tabela 5.4 - Resumo Estatístico do erro absoluto.	125
Tabela 5.5 - Resumo Estatístico das discrepâncias entre SARA x ERBE.	127
Tabela 5.6 - Resumo Estatístico das discrepâncias entre SMDU x ERBE.	134
Tabela 5.7 - Resumo Estatístico das discrepâncias entre os mapeamentos da SARA x SMDU.	139
Tabela 5.8 - Resumo Estatístico do erro altimétrico.	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento
CAD – Computer Aided Design – Desenho Assistido por Computador
CD – Cartografia Digital
CGG – Comissão Geográfica e Geológica
DPH – Departamento do Patrimônio Histórico (da Prefeitura de São Paulo)
dpi – dots per inch (pontos por polegada)
EMQ – Erro Médio Quadrático
EMURB – Empresa Municipal de Urbanização – SP
ENFA – Empresa Nacional de Fotografias Aéreas
EP – Erro Padrão
ERBE Engenharia e Agrimensura Ltda
GIS – Geographic Information System (Sistema de Informações Geográficas)
GNSS – Global Navigation Satellite Systems (Sistema de Navegação Global por Satélites)
GSM – Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicações Móveis)
GPS – Global Position System (Sistema de Posicionamento Global)
ICA – International Cartographic Association – Associação Internacional de Cartografia
IGG – Instituto Geográfico e Geológico
ISO – International Organization for Standardization – Organização Internacional de Padronização.
IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano
ITBI – Imposto de Transmissão de Bens Inter-vivos
KML – Keyhole Markup Language (Linguagem de Marcação Keyhole)
MDC – Mapa Digital da Cidade
MDE – Modelo Digital de Elevação
MDT – Modelo Digital do Terreno
MMQ – Método dos mínimos quadrados

NBR – Norma Brasileira

NTRIP – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Transporte em Rede do RTCM via Protocolo da Internet)

OMI - Ottico Meccanica Italiana (Ótica e Mecânica Italiana)

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica

PMAT – Programa de Modernização da administração Tributária

PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo

ppp – pixels por polegadas

RMS – Root Mean Square

RN – Referência de Nível

RRNN – Referências de nível

RTK – Real Time Kinematics (Cinemático e em Tempo Real)

SAD – South American Datum (Datum da América do Sul)

SARA – Società Anonima di Rilevamenti Aerofotogrammetrici

SIG – Sistema de Informações Geográfica

SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano

SPObras – São Paulo Obras – Empresa da PMSP

UTM – Universal Transversa de Mercator

WGS – World Geodetic System (Sistema Geodésico Mundial)

1. INTRODUÇÃO

Os mapas que com o passar do tempo se tornaram históricos apresentam informações espaciais e geográficas que são de fundamental importância para a reconstituição de lugares, cidades ou costumes passados. Em muitos casos constituem um material de fundamental importância em perícias judiciais, em questões históricas e urbanísticas, inclusive no entendimento das transformações urbanas. É o que ocorre com o mapeamento da SARA, objeto do presente estudo, que é muito comentado e quase lendário em alguns ambientes, mas ao mesmo tempo, muito pouco estudado e quase desconhecido quanto aos aspectos históricos e técnicos. A presente dissertação vem, pois preencher essa lacuna, fazendo uma avaliação objetiva de seus predicados, sem cair nos esquemas laudatórios a priori e sem desmerecer o seu valor, já que de fato foi um levantamento pioneiro em nível mundial, como se procura mostrar.

Para uma correta avaliação, tanto do aspecto posicional (nível de precisão geométrica), como do representacional (fidedignidade e outras qualidades das informações).

A partir da primeira guerra mundial, com o desenvolvimento da aviação e a popularização da aerofotogrametria, mapas com grande amplitude territorial passaram a ser elaborados através dessa nova técnica, devido ao menor custo, maior velocidade e eficiência quando comparados aos métodos topográficos convencionais. Mas na década de 30 do século passado desconfiava-se, em nível mundial, dessa possibilidade para mapas nas escalas 1:2.000 e 1:1.000.

O primeiro produto que, na história da aerofotogrametria, apresentou resultados satisfatórios na escala 1:1.000 foi precisamente o levantamento SARA Brasil, realizado em São Paulo entre 1929 e 1933 pela empresa italiana Società Anonima di Rilevamenti Aerofotogrammetrici – SARA, com sede em Roma. O projeto foi executado de acordo com o contrato lavrado em virtude da Lei 3203 de 1928, sendo prefeito o Sr. José Pires do Rio. Naquele período realizou-se o levantamento aerofotogramétrico e a restituição da planta cadastral da cidade de São Paulo pelo método Nistri. Este trabalho pioneiro fez de São Paulo a primeira

cidade do mundo a possuir um cadastro de plantas articuladas de grande precisão, em escalas detalhadas de 1:1.000, sendo sua precisão avaliada e os resultados apresentados em Congresso Internacional (Machado, 1931).

Para as análises foram empregadas diversas ferramentas da Cartografia Digital (CD), que permitiram: uma melhor e mais cômoda análise visual; estudos comparativos; análise da qualidade cartográfica e precisão do mesmo, entre outros benefícios e possibilidades. O presente trabalho é, de alguma forma, um estudo de caso que exigiu aliar técnicas atuais com a história de uma tecnologia para avaliar um produto cartográfico.

1.1. JUSTIFICATIVA

Apesar do que foi dito, a cartografia digital, como ferramenta para a cartografia histórica vem sendo aplicada ainda de modo incipiente, sem o aproveitamento de suas potencialidades e sem uma metodologia específica.

Também o mapeamento da SARA, ou não foi estudado ou o foi muito superficialmente. Em livros de aerofotogrametria costuma-se dedicar pelo menos um capítulo à síntese de sua história, mas apesar do pioneirismo desse levantamento, é pouco o que se sabe sobre ele. Não é mencionado sequer em livros que descrevem a história da aerofotogrametria no Brasil, como por exemplo, Almeida (1940) ou Tavares e Fagundes (1991).

Por outro lado, apesar das poucas informações técnicas, acerca destas cartas, as mesmas foram muito utilizadas, tanto em trabalhos técnicos ou histórico-urbanísticos tais como: estudos da evolução da cidade, planejamento para o crescimento da área urbanizada (loteamentos), desapropriações para alargamento ou implantação de ruas e avenidas, construção de viadutos; quanto em processos judiciais, como base para prova de titularidade ou localização de imóveis pela Procuradoria do Estado de São Paulo e particulares.

Ultimamente o mesmo vem sendo revalorizado como produto, em textos laudatórios, mas continua-se sabendo pouco sobre sua história, metodologia de produção e precisão efetiva.

Por todos esses motivos justifica-se o presente trabalho.

1.2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é recuperar um pouco da história da nossa aerofotogrametria e da cartografia associada, bem como estudar a aplicação da cartografia digital a mapeamentos históricos e, em particular a levantamentos aerofotogramétricos das décadas de 20 e 30 em área urbana e escala grande.

Como objetivo específico, além de estudar os aspectos técnicos e históricos, tem-se o de verificar, qualificar e quantificar a precisão e a exatidão alcançadas pelo mapeamento da SARA, com a tecnologia disponível na época. Para tanto se pretende desenvolver os seguintes procedimentos / estudos:

- a) Realizar a sobreposição de mapas antigos com mapas atuais, para estudos diversos, tais como a análise de mudanças urbanas (desapropriações e alargamento de avenidas entre outras), comparação visual da qualidade cartográfica do mapa em estudo em relação a um mapa mais acurado e escolha mais criteriosa dos pontos de controle;
- b) Aplicar correções e retificações de mapas antigos, através das transformações disponíveis em alguns aplicativos;
- c) Realizar a transformação entre sistemas (do mapa antigo para um atual) e para isso localizar, na medida do possível, os vértices de apoio terrestre de 1ª, 2ª e 3ª ordens nas cartas topográficas antigas, com a obtenção de suas respectivas coordenadas, para compará-las com as dos mapas atuais ou de outros pontos a serem levantadas com trena, Estações Totais e receptores GNSS;

- d) Analisar a precisão e determinar a qualidade do mapeamento antigo. Para isso, obter um número representativo de coordenadas de pontos notáveis do mapa antigo, para comparação com as dos mapas atuais;
- e) Estudar a aerofotogrametria na época da produção desse mapa, com foco na tecnologia efetivamente utilizada pela empresa;
- f) Estudar técnica e historicamente o levantamento da SARA, coisa ainda não feita e de bastante relevância, o que justifica a dedicação de um espaço amplo na presente dissertação.

1.3. DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Após esta introdução, o capítulo 2 trata das várias etapas da produção de mapas urbanos na época do levantamento da SARA (fim da década de 20, começo da década de 30), que coincide com o início da aerofotogrametria.

O capítulo 3 apresenta resumidamente alguns fundamentos matemáticos e geométricos para o presente trabalho tais como: análise estatística da qualidade de mapeamentos, transformações entre sistemas (rotação, translação, escala) e comparação visual e sobreposição de mapas.

O capítulo 4 apresenta o mapeamento produzido pela empresa SARA. Brasil, com seu histórico, especificações técnicas e produtos.

O capítulo 5 analisa a qualidade desse mapeamento, de acordo com a metodologia atual e compara com uma avaliação do mesmo feita na época.

O capítulo 6 tece comentários finais a respeito do trabalho e, com base no exposto, apresenta as conclusões e sugere trabalhos futuros.

2. AS ETAPAS DE UM LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO URBANO NA ÉPOCA (1930)

Tendo em vista a época em que esse mapeamento foi produzido e para que se possa situar a presente dissertação naquele momento, procurou-se ao máximo seguir a bibliografia da época e livros mais recentes que tratam da tecnologia utilizada naquela época.

Almeida (1940) enfatiza que as finalidades do levantamento, o terreno e as facilidades ou dificuldades que cada local apresenta, determinam a sequência, as adaptações e as restrições para os trabalhos aerofotogramétricos em cada região. No entanto, apesar dessas variações, o serviço de levantamento aerofotogramétrico pode ser dividido nas etapas da Figura 1, que são comentadas brevemente na sequência, destacando-se a tecnologia e os condicionantes da época, sem muita ênfase nos processos que continuam semelhantes.

Figura 1 – Etapas de um levantamento aerofotogramétrico.
Fonte: (adaptado de ALMEIDA, 1940).

2.1. TRABALHOS PREPARATÓRIOS OU PRELIMINARES

2.1.1. Escolha da escala para levantamentos urbanos

A utilização prevista para os produtos aerofotogramétricos (na época só os mapas) é que determina qual a escala de execução mais apropriada. No caso, dos levantamentos urbanos, o seu planejamento e execução devem ser concebidos privilegiando os elementos necessários para atender à finalidade a qual se presta, segundo as realidades locais e conjunturais. Em linhas gerais deve-se atender a que um determinado elemento (um lote com construção dentro, por exemplo) apareça com uma dimensão suficiente para que possa ser reconhecido e distinguido no seu entorno. Em geral costumam-se utilizar as escalas 1:2.000, 1:1.000 e até 1:500.

Idoeta (2001) destaca que os serviços envolvem basicamente dois aspectos: o do posicionamento e o da representação gráfica das feições de interesse. Para o posicionamento, deve-se em primeiro lugar definir um referencial adequado ao uso, materializá-lo por meio de marcos de referência, para em seguida executar as medidas de campo com os respectivos cálculos e ajustes. Já a representação gráfica, exige que se leve em conta como as feições serão representadas em escala, sem prejuízo do emprego de uma simbologia adequada para algumas feições. Ou seja, deve-se pensar nos elementos que devem ser representados e com que dimensão irão aparecer, para que sejam adequados ao uso da carta.

Os principais fatores que influenciam na escolha da escala são: a finalidade (planejamento, projeto ou gestão), a complexidade (temas e feições a serem representados), a exatidão, o preço e o prazo.

Os mapeamentos na escala 1:1.000 são adequados para projetos de engenharia, inclusive para urbanizações de glebas. Por sua capacidade de representação é uma escala adequada para a planta cadastral municipal da área urbana, ainda que se tem utilizado a escala 1:2.000, que é sofrível em muitas situações, como o caso de favelas e outras situações de lotes muito pequenos. A cidade de São Paulo só conta com um único outro mapeamento nessa escala

(1:1.000), a menos desse mapeamento pioneiro e do mapeamento recém que é o executado pelo consórcio CONCIDADE, com Aerolevantamento feito em 2003/2004 e só disponibilizado inicialmente para a própria PMSP em 2007/2008, (São Paulo, 2009 e São Paulo 2010).Infelizmente, por motivos não informados, só foi liberado plenamente agora (2012), quando da finalização desta dissertação, mais ainda a tempo de serem realizadas algumas comparações.

De modo geral, em uma escala de mapeamento urbano (entre 1:500 a 1:2.000), devem ser representados:

- Hidrografia visível nas fotos;
- Relevo: curvas de nível de 1m de equidistância e pontos notáveis;
- Alinhamento de vias;
- Vegetação: perímetro dos maciços, de áreas de cultura, árvores isoladas de porte;
- Postes de qualquer natureza;
- Torres de linhas de transmissão;
- Pavimentação: pelo conjunto guia/sarjeta;
- Limites materializados de propriedades, cercas de todos os tipos, muros, valos, etc.;
- Pontes, viadutos, pinguelas, etc.;
- Edificações de todas as naturezas;
- Portos, aeroportos, estações de estrada de ferro, trilhos das estradas de ferro, etc.;

No caso da coleção SARA, os mapas impressos na escala 1:5.000 são coloridos e apresentam os arruamentos representados em preto, assim como os nomes dos logradouros. Jardins, parques e praças são representados utilizando-se uma técnica conhecida como pontilhismo, na cor preta. Os lotes são representados com linhas pretas mais finas que as do arruamento. As edificações têm contorno em linhas pretas e preenchimento com alaranjado sólido. As ferrovias são representadas com linhas pretas grossas e os rios são representados na cor azul claro sólido. Os trilhos de bonde são linhas duplas finas pretas. Áreas não edificadas são deixadas em branco. A topografia é indicada com curvas de nível de 5 em 5 metros na cor

laranja pardo, cor próxima do marrom ou sépia. As curvas múltiplas de 25 metros são mais grossas. Os edifícios públicos, além da cor laranja pardo, recebem uma hachura de linhas pretas paralelas. Não há indicação de divisão de distritos nem nomes de bairros, o que enfatiza o caráter cadastral do levantamento.

Os mapas na escala 1:1.000, também impressos em cores, são muito semelhante aos da escala 1:5.000. Inclui praticamente as mesmas informações. Porém mais detalhadas. Assim, os arruamentos representados pelos alinhamentos prediais são em linhas pretas e complementados pelas calçadas, representadas pelo meio-fio em linhas pretas pontilhadas. As linhas de bonde são representadas por linhas pretas duplas. Águas (rios, córregos e lagos) em azul claro sólido e jardins e praças utilizam a técnica do pontilhismo preto. Assim como na escala 1:5.000 esse pontilhismo ainda conserva a marca da mão do desenhista, apesar da aparência técnica dos mapas. Os edifícios são representados por contorno com linha preta e preenchidos com laranja pardo sólido; tendo os edifícios públicos uma cor laranja mais forte. No capítulo 4 serão apresentadas imagens ilustrativas dessas descrições.

2.1.2. Determinação dos pontos de apoio terrestres

O mapa e um eventual mosaico aerofotogramétrico são apoiados sobre pontos terrestres para posicionamento e ajuste. Esse referencial deve ter uma exatidão compatível com aquelas exigidas para a representação das feições em cada escala.

McKinley (1929) aponta que uma rede de controle tão precisa quanto humanamente e instrumentalmente possível, só poderia ser executada em áreas de extensão limitada, como é o caso do serviço da SARA Brasil. A técnica de levantamento na época era a de triangulações de 1ª, 2ª e 3ª ordens.

A quantidade de pontos de amarração varia de acordo com a área a ser levantada, altura do voo, escala e tamanho da fotografia; entre outros (ALMEIDA, 1940). Oelsner (1934) salienta que eram necessários no mínimo 4 pontos de controle em cada fotografia, estes pontos poderiam ser esquinas de quadras,

quebras de alinhamentos em ruas ou locais onde o terreno mostrava uma abrupta mudança de formação, e eram escolhidos em campo pelo engenheiro que levava consigo uma cópia da aerofoto, na qual marcava os pontos efetivamente levantados.

As triangulações de 1ª e 2ª ordens eram constituídas de figuras construídas a partir de uma ou mais bases de medidas lineares feitas por intermédio do fio de invar (WENDEL, 1926a 1926b), levando-se em consideração vários fatores de correção, tais como: a catenária e sua projeção horizontal, a deformação da catenária com a variação da tensão, deformações elásticas, correção da inclinação e redução ao nível médio dos mares. A Figura 2, mostra uma etapa de medição de uma base, podendo-se ver o equipamento para aplicar e medir uma tensão pré definida na fita e o ajuste da marcação numa das extremidades do lance.

Figura 2 - Tomando medidas com o fio de Invar, década de 1920.
Fonte: NOAA's Historic Coast & Geodetic Survey (C&GS) Collection (1924).

Mesquita (1940) destaca que o cálculo da triangulação parte do comprimento medido diretamente de uma base, e que ocasionalmente outras bases podem ser introduzidas como controle. Assim a medida da base deve ser realizada com o máximo rigor, pois seu valor vai servir para o cálculo de toda a cadeia de

triângulos. Após definida a base, sua extensão é ampliada por vértices da triangulação em pontos culminantes circunjacentes, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Ampliação de Base.

Fonte: <http://www.libraryindex.com/encyclopedia/pages/cpxlafyxnf/geodesy-surface-angles-observed.html>

Na figura percebe-se que após medida a distância entre a-b, medem-se os ângulos: c-a-b, a-b-c e b-c-a, e com esses elementos calculam-se as distâncias b-c e a-c. Medem também os ângulos b-a-d, d-b-a e a-d-b para o cálculo das distâncias b-d e a-d. A partir daí pode-se ampliar o tamanho da base calculando-se a distância c-d e sucessivamente para e-f. Cadeias adicionais podem ser apensadas, como no exemplo da figura, os triângulos bhp, phq e qka.

Por ser a medida angular a principal responsável pela construção das cadeias de triângulos, alguns cuidados eram tomados. Hodgson (1935) e USC&GS (1935) tratam detalhadamente deste assunto. A princípio os aspectos mais importantes são: a rigidez geométrica das figuras, a ocupação de 2 ou 3 vértices dos triângulos, medidas angulares com a luneta na posição direta e inversa, um número mínimo de 6 leituras por estação, as condições de visada (clima e distância), entre outros. A triangulação era calculada sempre que possível pelo método dos mínimos quadrados (MMQ) ou no caso de ser possível uma cadeia de quadriláteros, pelo método das aproximações sucessivas, que embora não oferecesse resultados tão

precisos como o MMQ, fornecia, para o grau de acurácia necessário, resultados plenamente satisfatórios, despendendo tempo e trabalho muito inferiores (ALMEIDA, 1940).

Outro fator de extrema importância, diz respeito aos instrumentos utilizados. Os principais medidores de ângulos e distâncias indiretas eram os teodolitos (de trânsito, repetidores e reiteradores) e taqueômetros (MESQUITA, 1939). Outro equipamento auxiliar que merece ser mencionado é o heliográfico (Figura 4), que apoiado sobre um tripé no ponto à vante permite refletir os raios solares, facilitando visadas longas.

Figura 4 - Heliográfico.
Fonte: Hodgson (1935)

Por volta de 1925 ou 1926 os teodolitos puderam contar com um considerável avanço na maneira de se efetuar as leituras angulares (BACKER, 1927 e LEICA, 1996). O engº Heinrich Wild introduziu em seus equipamentos (T2 e T3) um micrometro óptico (Figura 5 e Figura 6), sobre os círculos, horizontal e vertical em cristal espelhado e iluminado por uma série de prismas; o que reduziu sensivelmente o tamanho e o peso desses equipamentos. O micrômetro fornece a média das leituras opostas, evitando que o operador gire ao redor do aparelho a cada leitura (MONTEIRO, 1931). Segundo este autor, a companhia SARA utilizou o Grande Teodolito de invenção daquele engenheiro, com leitura direta de dois

decímetros de segundo e estimava de centésimos, na triangulação preliminar ao levantamento aerofotogramétrico.

Figura 5 - Micrometro óptico.
Fonte: Monteiro (1931).

Figura 6 - Detalhe da leitura do micrometro óptico.
Fonte: Monteiro (1931).

Para a obtenção de apoio de campo utilizavam-se também medições indiretas, configurando o chamado problema de Pothenot, que é outro processo que merece ser mencionado, pois consta no contrato firmado entre a Prefeitura do Município de São Paulo e a SARA (ANEXO A). Trata-se da determinação de um ponto P desconhecido, mas determinável pelas direções a outros três pontos A, B e C inacessíveis, porém de coordenadas conhecidas; foi proposta e solucionada pelo holandês Willebrord Snellius (1581-1626) em seu trabalho *Eratosthenes batavus*, publicado em 1617, em que não atraiu a atenção de seus contemporâneos. A solução deste problema não ficou difundida até ser resolvida mais uma vez pelo francês Laurent Pothenot (1650-1732) em um artigo submetido à Academia Francesa em 1692. Desde então ficou conhecido como “O problema de Pothenot” (BOWSER, 1892 e DÖRRIE, 1965).

Figura 7 - Esquema representativo do problema de Pothot.
Fonte: Bowser (1892).

A solução pode ser gráfica ou analítica, sendo que a gráfica, apresenta bastante simplicidade e se fundamenta no conceito de arco capaz:

“O lugar geométrico dos pontos do plano que enxergam um segmento $\overline{AB}$ segundo um ângulo de medida constante é o par de ARCOS CAPAZES do ângulo α descrito sobre o segmento $\overline{AB}$.”

A solução analítica do problema não apresenta a mesma simplicidade, principalmente porque em 1930 não havia computadores ou calculadoras programáveis, que pudesse fornecer os resultados instantaneamente após a leitura dos ângulos, através de uma rotina de cálculo.

Porém a sua utilização é plenamente justificada, por fornecer a posição do instrumento, através da simples visada de três pontos conhecidos, e sem a necessidade de ocupa-los fisicamente já os outros elementos necessários para a solução do problema: ângulo no vértice C e distâncias $\overline{AC}$ e $\overline{CB}$ podem ser calculadas no escritório; o que resulta numa economia significativa de tempo e mão de obra, se levarmos em consideração a distância (em torno de 3 a 5 quilômetros) dos pontos de apoio de primeira ordem e a dificuldade de acesso aos mesmos. Mais detalhes das resoluções geométricas e analíticas podem ser obtidos em Bowser (1892), Dörrie (1965), Borges (1975) e Espartel (1973).

2.1.3. Preparo geométrico do voo

Como se sabe, para se obter medidas planialtimétricas baseada na estereoscopia de uma determinada área, necessitam-se duas fotografias da mesma área, tomadas de ângulos diferentes, as quais decorrem das diferentes posições do avião. Para evitar lacunas, por prevenção, tomam-se fotografias com uma superposição longitudinal superior a 50%, em geral, da ordem de 60% ao longo da linha de voo (*over lap*). Fontes (2005) completa a informação dizendo que as linhas de voo devem ser planejadas com um espaçamento lateral tal que se obtenha uma

área comum entre as faixas no sentido transversal superior a 25% (recobrimento lateral ou transversal, em inglês: “side lap”), conforme é apresentado na Figura 8.

A realização dos voos está diretamente ligada às condições climáticas da região a ser sobrevoada, com critérios rígidos quanto aos horários de voo, a existência de neblina, névoas e principalmente nuvens sobre a região, que prejudicam a qualidade das fotos adquiridas.

Figura 8 - Recobrimento transversal e longitudinal.
Fonte: Winchester (1928).

2.1.4. Escolha da câmera, obturador, filmes/placas

O tipo de câmera adequado para o uso em aeronave e suas diferenças para com as câmeras de uso no solo, é determinado considerando-se a natureza do serviço a ser realizado.

De acordo com McKinley (1929), na execução de trabalhos, logo após a 1ª Guerra, a maioria das câmeras aéreas era construída para atender a requisitos militares. Em tempos de guerra, era importante que as máquinas fossem automáticas ou semi-automáticas (Figura 9); apesar disso esta tecnologia, até então não atendia a contento as necessidades dos mapeamentos para fins civis.

Figura 9 - Câmera aérea automática "EAGLE" e equipamentos, montada no cockpit.
Fonte: Winchester (1928).

O método manual (Figura 10) era mais seguro, pois quando a câmera era operada automaticamente o operador não poderia escolher o momento exato de exposição, o que significava um maior empenho para manter a máquina em nível, ao passo que quando operada manualmente, a tomada poderia ser feita no momento em que a bolha de nível estivesse centrada.

Figura 10 - Câmera aérea "K-3".
Fonte: McKinley (1929).

Ainda segundo McKinley (1929), as principais especificações para uma câmera aérea seriam: lentes com focagem fixa, mas com a possibilidade de focagem inicial e re-focagem; corpo leve e resistente (usualmente eram produzidas em alumínio); possibilidade de troca das lentes; compartimento para armazenagem de filme suficiente para pelo menos 100 exposições e com a possibilidade da troca de maneira rápida e fácil; o filme conseguia-se que ficasse perfeitamente plano através de dispositivos de pressão ou vácuo; possibilidade de registrar na foto (Figura 11 e Figura 12) a bolha de nível com precisão de 1,5 grau em todas as direções, a leitura do altímetro, o horário e o número da foto.

Figura 11 - Dispositivo gravador, da câmera "K-3" (altitude, relógio, nível, contador e data).
Fonte: McKinley (1929).

Figura 12 - Aerofoto com registros de dados da foto e do voo.
Fonte: Winchester (1928).

De acordo com Winchester (1928), os filmes começavam a ser mais utilizados que as chapas ou placas (em inglês “plates”). Isso se dava entre outros motivos por serem mais leves, sendo possível serem carregados em grande quantidade, aumentando assim a quantidade de fotos no mesmo voo e nas mesmas condições climáticas, além de serem mais econômicos. Por outro lado as chapas permaneciam com as imagens por mais tempo (os filmes se apagavam com mais facilidade), eram mais robustas e fáceis de manusear, mas o mais importante era que possuíam uma granulação bem mais fina. No trabalho da SARA foram utilizadas placas e não filmes, com uma câmera automática capaz de armazenar 60 clichês, contando com outro armazém de refil, totalizando 120 fotografias por voo (TEALDY, 1928).

Os filmes ou chapas já eram pancromáticos, sensíveis a todas as cores visíveis do espectro eletromagnético, o que melhorava o contraste, com boa definição. Eram usados geralmente com filtro laranja escuro. A figura 12 mostra o espectro fotografado por um filme comum, ao passo que a figura 13 mostra o mesmo espectro fotografado por um filme pancromático.

Figura 13 - Espectro de um filme comum.
Fonte: Wills (1929).

Figura 14 - Espectro de um filme pancromático.
Fonte: Wills (1929).

2.2. TRABALHOS DE CAMPO

2.2.1. Tomada das fotografias e reambulação

McKINLEY (1929) indica os requisitos para esse item, na época. Sendo a aeronave propriamente dita o equipamento mais importante usado na aerofotogrametria, o seu desempenho influencia diretamente na qualidade das fotos

e dos mapas. Hoje e muito mais naquela data não existia um avião que possuísse todas as qualidades para uma foto aérea ideal, mas observando-se alguns requisitos, podia-se obter fotos de boa qualidade, adequadas à restituição.

O motor ou motores, continua a indicar esse autor, precisam ser confiáveis e funcionar com eficiência em todas as altitudes. Precisam também passar por cuidadosas e frequentes inspeções e estar sempre prontos para eventuais voos, pois nos mapeamentos aerofotogramétrico pode haver grandes intervalos, ocasionados pelo mau tempo, nos quais não é possível fotografar-se.

Quase sempre os mapeamentos são afastados da sede da empresa e como na década de 30, os locais para a decolagem e a aterrissagem eram bem raros, tornava-se mais crítico a escolha de um campo de pouso com as condições mínimas. Deve-se levar em consideração o tamanho e os obstáculos ao redor, sendo que deveria localizar-se o mais próximo possível da área de trabalho.

O teto de voo é a altura máxima na qual o aeroplano poderá executar com total ou quase total eficiência a carga de trabalho a ele atribuída; isto inclui os equipamentos e a tripulação. Na época, para serviços aerofotogramétricos o teto desejável deveria ser no mínimo de 4.500m, sendo preferível de 5.500m de altitude.

É de grande importância que o avião seja estável na velocidade de cruzeiro; o ideal é que a aeronave pudesse voar de forma automática ou quase (piloto automático na linguagem atual), de modo que sem o piloto a nave continuasse a voar em linha reta e com velocidade constante. Este requisito é muito importante, visto que para o piloto era praticamente impossível manter o avião estável. Este problema é a fonte de um dos maiores erros (tilt) a prejudicar a qualidade da fotografia.

As vibrações são outro fator a ser superado. O conjunto da câmara, apesar de capaz de reduzir algumas vibrações, não era suficiente caso a aeronave possuísse vibrações excessivas, deixando as fotos embaçadas. As vibrações são causadas principalmente pelo motor e a resistência da aeronave no ar.

Por causa do desenho das aeronaves da época, a visibilidade era bastante prejudicada. Não era suficiente que o piloto voasse em linha reta, era também

preciso que o voo passasse por sobre os alvos no solo; caso o curso não fosse seguido muito próximo aos limites pré-estabelecidos a missão se tornaria um completo fracasso. É intuitivo imaginar que isto não era possível caso o piloto não pudesse ver os objetos que estava sobrevoando. Para aviões bi planos e com o assento do piloto no meio da fuselagem (Figura 15), isto era praticamente impossível, sendo preferíveis os aviões monoplanos de asa alta, principalmente os bimotores com o assento do piloto na parte frontal, ou nariz.

Figura 15 – Avião utilizado para tomada de fotos aéreas pelo Corpo Aéreo do Exército dos EUA
Fonte: McKinley (1929).

O assento traseiro da maioria dos aviões era incômodo, de forma que os fotógrafos trabalhavam com extrema dificuldade, expondo-se a um desconforto que podia afetar a eficiência de seu trabalho. Era importante que o fotógrafo ficasse em uma posição, na qual pudesse operar a câmera com facilidade, sendo que além do assento do fotógrafo há a necessidade de espaço para a câmera propriamente dita e o visor (Figura 16).

Outro fator a considerar era a fadiga e o frio excessivo aos quais eram submetidos os pilotos e fotógrafos em aviões abertos, sendo recomendadas aeronaves com cabines fechadas incorporadas à fuselagem, muito incomuns naquela época.

Em resumo, melhor aeronave para um bom mapeamento aerofotogramétrico de acordo com a tecnologia disponível seria um bi-motor, monoplano de asa alta com cabine fechada.

Figura 16 - Missão aerofotográfica em operação. Disposição do piloto, fotógrafo e câmara.
Fonte: McKinley (1929).

No mapeamento produzido pela SARA foram utilizados dois modelos de aviões, o Fiat AS-1 (Figura 17) e o Caproni CA-97 (Figura 18), ambos fabricados na Itália e que conforme se pode ver nas figuras apenas o CA-97 atendia a contento a todas as especificações citadas.

A reambulação era feita da mesma forma que a executamos hoje, indo a campo e levantando as toponímias, coordenadas e cotas, com a diferença das inovações tecnológicas atuais (GPS e outros equipamentos), para tais fins e anteriormente discutidas.

Figura 17 - Fiat AS-1, década se 1920.
Fonte: Virtual Aircraft Museum.

Figura 18 - Caproni CA-97, década se 1920.
Fonte: Ask Jeeves UK.

2.3. TRABALHOS DE ESCRITÓRIO OU LABORATÓRIO

2.3.1. Revelação, cópia e arquivo dos filmes/placas

O material utilizado na época eram os clichês, que partiam de um negativo que desde 1880 era produzido em gelatina e brometo de prata e utilizavam uma placa de vidro para sustentação, sendo que após 1910 já podiam contar com uma película plástica de nitrato de celulose.

Após sua exposição, o negativo passava por vários banhos com produtos químicos como o nitrato de prata ou o sulfito de sódio, para revelação, fixação,

lavagem e endurecimento da chapa ou filme. A água, um dos componentes destas soluções químicas, merecia especial atenção, pois além de limpa e filtrada deveria estar à temperatura de 18° C. Abaixo de 15° a revelação tornava-se muito lenta e acima de 22° a gelatina do filme derretia, o que acarretava na adoção de cuidados especiais em países tropicais como o nosso.

Com os negativos, as cópias eram obtidas em papel fotográfico (brometo de prata) por transparência, colocando-se o lado sensível do papel em contato com a gelatina do negativo e exposto à luz por um determinado período de tempo. Depois disso o papel passava por tratamentos químicos, banho revelador, lavagem em água corrente, banho fixador e secagem.

Os filmes ou placas eram então arquivados seguindo alguns cuidados: evitar marcas de digitais na chapa revelada, limpar a poeira sobre o filme ou chapa, guardar as chapas em envelopes ou separadas por papel bem fino e macio, para evitar arranhões; no caso de filmes, guardá-los na própria embalagem da fábrica, evitar grande variações de temperatura nos arquivos e organizar um fichário para classificação. Mais detalhes sobre estes processos podem ser obtidos em Almeida (1940) ou Winchester (1928). Essa foi a tecnologia utilizada pela SARA.

2.3.2. Mosaicos, fotocartas e transformações planimétricas

A junção das fotografias obedecendo à continuidade da imagem e de forma a ligar os acidentes geográficos de duas imagens contíguas com a maior exatidão possível, é o que se chama de mosaico. É um produto utilizado até hoje para finalidades expeditas e de planejamento, já que não necessita de requisitos de maior precisão. Produto semelhante nos dias atuais, porém, com escala uniforme e com as fotografias retificadas chama-se fotocarta ou ortofotocarta e apresenta precisão bem maior. Nenhum dos dois fornece a altimetria.

Um processo de transformação das fotografias consistia em obter outra chapa, corrigindo apenas a inclinação do eixo ótico da câmera fotográfica com relação à vertical, devida principalmente à instabilidade do avião. Na época existiam

aparelhos voltados apenas para tais finalidades, sem corrigir outras inclinações que hoje são eliminadas nos restituidores.

2.3.3. Restituição altimétrica e planimétrica

A restituição estava ainda na era analógica que seria seguida pela era analítica (advindas do auxílio dos primeiros computadores) e da era digital. Alguns autores acrescentam uma época anterior, a geométrica, que consistia na correção de fotos inclinadas.

Os restituidores analógicos se utilizavam da estereoscopia, posicionando as duas imagens do par estereoscópico de maneira a reconstruir suas posições no momento da tomada da fotografia e, assim, corrigir as distorções geradas pela inclinação da câmara propiciando a formação de um modelo estereoscópico do terreno, isento, ou quase, de erros e deformações. Através do movimento de hastes, mecânicas ou ópticas, consegue-se percorrer todo o terreno com uma marca flutuante, gravando as posições desejadas, ou transformando os movimentos em desenho.

Estes instrumentos em função dos meios que utilizam ou utilizavam para atingir seu propósito, são classificados em:

- a) instrumentos de projeção totalmente óptica ou dupla projeção, por exemplo, o fotocartógrafo Nistri (utilizado no mapeamento da SARA), o múltiplo Nistri, o multiplex Zeiss e o estereoplanigrafo Zeiss;
- b) instrumentos restituidores de projeção óptica-mecânica, por exemplo, o aerocartógrafo de Hegershoff, o fotoestéreografo Nistri e o estereotopógrafo de Poinvilliers;
- c) instrumentos restituidores de projeção mecânica, por exemplo, os autógrafos Wild A-5 e A-6 e os estereoscartógrafos Santoni.

Informações adicionais quanto ao funcionamento destes aparelhos podem ser encontradas em Almeida (1940), Lassalle (1941) e Schwedfsky (1943). A seguir

será descrito o fotocartógrafo Nistri, tendo em vista ter sido este o restituidor utilizado na confecção dos mapas da capital.

A observação do modelo óptico do fotocartógrafo Nistri era feita pelo processo de cintilamento ou “*brilhamento*” (em italiano) em que chapas são projetadas alternadamente com um intervalo muito pequeno ($1/4$ de segundo ou menos), não utilizando nem a visão estereoscópica, nem a anaglífica. O conjunto era dividido em três partes: o grupo projetor, o grupo restituidor e a mesa de desenho (ALMEIDA, 1940 e MESQUITA, 1940).

Em uma conferência realizada no Círculo Italiano de São Paulo em 20 de novembro de 1928, portanto a poucos dias da assinatura do contrato entre a SARA e a PMSP, o Eng. Lourenço Tealdy (1929a) expôs algumas especificações técnicas a respeito do método criado pelo engenheiro Umberto Nistri, diretor e dono da SARA.

A posição relativa das duas chapas é determinada em aproximadamente 20 minutos por um método próximo ao do “*raddrizzamento*”, totalmente mecânico, sem a necessidade de cálculos; diferentemente do método estereoscópico que requer cálculos trigonométricos muito demorados. Constrói como este, um modelo estereoscópico do terreno, e permite assim um traçado automático e continuado dos detalhes e das curvas de nível.

Para esse ajuste mecânico, é necessário conhecer quatro pontos por chapa para posicionar o projetor na mesma posição da câmara quando a fotografia foi tirada. A projeção era feita sobre um plano de vidro esmerilhado sobre o qual era efetuada a procura dos raios homólogos que determinam cada ponto. As figuras são obtidas com um ponteiro movido a mão mediante dois pequenos volantes e transferidas para a mesa de desenho (Figura 19).

Ainda segundo Tealdy (1929b), no fotocartógrafo Nistri as fotografias eram ampliadas 10 vezes para a reconstituição e o sistema mecânico de transferência possuía uma relação entre a reconstrução e o desenho de 1 para 2, diminuindo o erro provável na reconstituição de 0,5mm para 0,25mm.

Figura 19 - Primeiro fotocartógrafo Nistri, com operador.

Fonte: Ministri per i Beni e le Attività Culturali della Repubblica Italiana (1924).

3. FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS E GEOMÉTRICOS

O presente capítulo resume os principais fundamentos matemáticos e geométricos utilizados na execução do presente trabalho, especificamente: a) Sistemas de coordenadas b) Transformações entre sistemas; c) Transformações disponíveis em programas de cartografia digital; d) Método dos mínimos quadrados e e) Análise da qualidade de mapeamentos.

3.1. SISTEMAS DE COORDENADAS

Um Sistema de Coordenadas deve possuir um conjunto de regras matemáticas para especificar como as coordenadas serão calculadas. Isso inclui a definição dos eixos, as unidades a serem utilizadas e a geometria dos eixos. Um Sistema de Coordenadas pode estar referido a Terra ou não. No primeiro caso (coordenadas geográficas ou geodésicas) será necessário definir uma série de parâmetros: o modelo que se utiliza para a Terra (uma esfera, um elipsoide) com seus elementos definidores (raio, semi-eixo, achatamento, etc.), que podem estar associados a um terno de eixos XYZ (por exemplo: Meridiano e Polo de Referência e um terceiro formando um sistema dextrógiro). Nesse contexto um datum é um conjunto de elementos que permite definir as coordenadas, por exemplo: SAD-69, Sirgas 2000,4, etc.

De acordo com Snyder (1987), as coordenadas de um ponto em um sistema ou datum podem ser transformadas para outro através de equações ou formulações matemáticas das quais podemos distinguir dois tipos:

- a) **Conversão de coordenadas:** quando não há mudança de datum e os parâmetros são fixos e isentos de erro (lat/long para N/E);
- b) **Transformação de coordenadas:** quando o Sistema de Referência de destino é baseado em um datum diferente do sistema de origem. Os parâmetros de transformação são determinados empiricamente e assim sujeitos a incertezas.

Já a projeção cartográfica corresponde a um conjunto de métodos empregados e relações matemáticas para representar a superfície terrestre sobre um plano, onde cada ponto deste plano corresponde a um ponto na superfície de referência e vice-versa.

No presente trabalho serão empregadas muitas transformações, envolvendo mudança de elipsoide; transformação de coordenadas de e para um plano topográfico local como é o caso da projeção da SARA; de coordenadas UTM (SAD-69) para topográficas e vice-versa; de pontos obtidos por receptores GNSS (lat/long) para UTM e topográficas e de datum WGS-84 para SAD-69. Para maiores detalhes sobre transformação de coordenadas veja-se, por exemplo Lima (1997), ABNT NBR 14166 (1998) e Tostes e Idoeta (2007).

O objetivo dessas transformações será o de levar um conjunto de dados de um sistema para outro, a fim de comparar posições, todas referidas ao mesmo sistema. Por exemplo, o resultado de um levantamento GPS em WGS-84 necessita ser transformado para o SAD-69 (ou Córrego Alegre), para comparação com um levantamento topográfico/cartográfico nesse outro sistema. Ou os dados da SARA podem ter que ser transformados para um sistema UTM para comparação com outro.

Em função do título impresso em todas as folhas (MAPPA TOPOGRAPHICO DO MUNICIPIO DE SÃO PAULO) e da malha de coordenadas ser arbitrária (com origem em $X=0,00$ e $Y=0,00$) pode-se deduzir com certa segurança; que o trabalho da SARA foi elaborado em um plano topográfico, sem levar em consideração a curvatura da Terra e sem empregar uma projeção cartográfica em sentido estrito.

Não foi encontrado nenhum registro quanto à altitude média utilizada no mapeamento, ou se o mesmo foi reduzido ao nível do mar, portanto para o presente trabalho foi utilizada a altitude média de 760,00 para a cidade de São Paulo.

3.1.1. Fórmulas de transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares no Sistema Topográfico Local

O formulário apresentado a seguir foi retirado da NBR 14.166 e utilizado na transformação das coordenadas obtidas com receptores GNSS.

Os coeficientes C e D são negativos no hemisfério sul.

O eixo das ordenadas é o eixo dos Y e o das abscissas é X .

$$X_p = 150\,000 + x_p \quad (1)$$

$$Y_p = 250\,000 + y_p \quad (2)$$

$$x_p = \Delta\lambda_1 \cos\varphi_p N_p \text{arc}1'' \times c \quad (3)$$

$$y_p = \frac{1}{B} [\Delta\varphi_1 + Cx_p^2 + D(\Delta\varphi_1)^2 + E(\Delta\varphi_1)x_p^2 + ECx_p^4]_{xc} \quad (4)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_p - \lambda_0 \quad (5)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_p - \varphi_0 \quad (6)$$

$$B = \frac{1}{M_0 \text{arc}1''} \quad (7)$$

$$C = \frac{\tan\varphi_0}{2M_0 N_0 \text{arc}1''} \quad (8)$$

$$D = \frac{3e^2 \sin\varphi_0 \cos\varphi_0 \text{arc}1''}{2(1+e^2 \sin^2\varphi_0)} \quad (9)$$

$$E = \frac{1+3\tan\varphi_0}{6N_0^2} \quad (10)$$

$$c = \frac{R_0 + H_t}{R_0} \quad (11)$$

$$R_0 = \sqrt{M_0 \times N_0} \quad (12)$$

$$M_0 = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \varphi_0)^{3/2}} \quad (13)$$

$$N_0 = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \varphi_0)^{1/2}} \quad (14)$$

$$N_p = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \varphi_p)^{1/2}} \quad (15)$$

$$e = \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2} \right)^{1/2} = [f(2 - f)]^{1/2} \quad (16)$$

onde:	M_0	= raio de curvatura da seção meridiana do elipsoide de referência em P_0 (origem do sistema);
	N_0	= raio de curvatura da seção normal ao plano meridiano do elipsoide de referência em P_0 ;
	N_p	= raio de curvatura da seção normal ao plano meridiano do elipsoide de referência em P ;
	c	= fator de elevação;
	a	= semi-eixo maior do elipsoide de referência;
	b	= semi-eixo menor do elipsoide de referência;
	e	= primeira excentricidade do elipsoide de referência;
	f	= achatamento do elipsoide de referência;
	H_t	= altitide ortométrica média do terreno ou altitude do plano topográfico local.

3.2. TRANSFORMAÇÕES ENTRE SISTEMAS

Para que se possa fazer a comparação ou a sobreposição entre mapas históricos e atuais e também para realizar os estudos da sua precisão, é necessário realizar a conversão entre sistemas. Como exemplo disso pode-se citar:

- a) Converter um mapa vetorial (coordenadas de todas as feições cartográficas) de um sistema de coordenadas para outro e assim poder superpor dois mapas;
- b) Converter um mapa em papel, impresso num sistema, para o meio digital em outro sistema. Essa operação começa pela escanerização (imagem raster) e posterior georeferenciamento da mesma em um programa que possua a transformação de imagens raster entre suas opções;
- c) Converter uma fotografia área em papel, passando das coordenadas do escaner para a da fotografia e desta para uma ortofoto.
- d) Transformações de coordenadas, como por exemplo, de coordenadas geodésicas geográficas (λ , ϕ , h) em UTM (N,E,H) e de geodésicas geográficas (λ , ϕ) para topográficas (X,Y).

As transformações indicadas acima (a, b, c) são apresentadas, tendo em conta imagens matriciais (raster), ainda que haja certa analogia com as mudanças de referencial para feições geométricas (vetoriais), incluindo translações, rotações, mudanças de escala e outras.

Muitas vezes essas transformações podem corrigir deformações oriundas de diversas fontes. Por exemplo, a imagem matricial resultante da digitalização do mapa original pode conter distorções oriundas de uma escanerização não paralela às bordas do documento ou da instabilidade do meio em que está, geralmente, papel. Essa instabilidade dimensional deve-se à temperatura e umidade e pode chegar à casa de 2%. Dependendo da maneira em que o mapa foi armazenado

pode haver também o tracionamento do material pelo próprio peso da folha, como no caso de mapotecas verticais. Para mais detalhes, veja-se Mello e Cintra (1993).

Para correção ou eliminação destas e de outras deformações, comentadas a seguir, aplicam-se transformações que podem ser geométricas ou projetivas, dependendo do grupo de propriedades espaciais do conjunto de pontos no mapa, que permanecem invariáveis. A seguir são apresentadas essas transformações seguindo basicamente o esquema, a classificação e nomenclatura de Cromley (1992), sendo as figuras tomadas deste trabalho com adaptações; em geral as fórmulas são tomadas de Andrade (2003) e Lugnani (1987).

3.2.1. Transformação geométrica euclidiana equiárea

Neste tipo de transformação a área de uma região e o comprimento das linhas são preservados (Figura 20). Assim, existem apenas a translação e a rotação permanecendo invariáveis os ângulos, as distâncias e as áreas.

Figura 20 - Transformação geométrica equiárea.

Esta mesma transformação é definida por Lugnani (1987) como transformação ortogonal no plano e é definida matematicamente pela matriz:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x'_0 \\ y'_0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

onde: X' e Y' = coordenadas transformadas;

a e b = constantes ou parâmetros de rotação a serem determinados ou seja: $\cos U$ e $\sin U$;

X e Y = coordenadas a serem transformadas;

X'_0 e Y'_0 = translação;

3.2.2. Transformação geométrica similar

A transformação geométrica similar inclui o redimensionamento, rotação e translação; portanto com relação à anterior, as distâncias não são mais invariáveis (Figura 21), havendo um fator de escala “ λ ”, mas sendo preservada a forma (similaridade) e, portanto, os ângulos.

Figura 21 - Transformação geométrica similar.

Lugnani (1987) refere-se a essa transformação como isogonal ou de Helmert, sendo definida pela matriz:

$$\begin{vmatrix} x' \\ y' \end{vmatrix} = \lambda \begin{vmatrix} \cos u & -\sin u \\ \sin u & \cos u \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x'_0 \\ y'_0 \end{vmatrix} \quad (18)$$

onde: X' e Y' = coordenadas transformadas;

λ = fator de escala

$\cos u$ e $\sin u$ = constantes ou parâmetros de rotação a serem determinados ou seja: a e b ;

X e Y = coordenadas a serem transformadas;

X'_0 e Y'_0 = translação;

3.2.3. Transformação afim

Na transformação afim, nem as distâncias nem os ângulos são preservados, mas o paralelismo e a linearidade permanecem invariáveis. Na literatura, esta é a mais recomendada para a maioria dos casos, pois além de absorver a rotação e a escala, corrige também a não ortogonalidade dos eixos cartesianos. Por este motivo será aqui mais desenvolvida.

Será apresentada para o caso de arquivos matriciais, pensando em sua aplicação a mapas, fotografias e imagens de uma maneira geral.

De acordo com Coelho e Brito (2007) a transformação afim modela seis parâmetros, considerando que o sistema inicial pode apresentar as seguintes características:

Figura 22 - Parâmetros modificados na transformação afim: a) não ortogonalidade dos eixos, b) rotação e c) translação.

Fonte: Coelho e Brito (2007).

- a) Não-ortogonalidade dos eixos: apesar de o sistema de imagem digital possuir seguramente eixos ortogonais (linha e coluna), é possível haver distorções na imagem, decorrentes da má calibração do *scanner* ou do próprio original analógico (Figura 22a);
- b) Rotação da imagem: uma má colocação do original no *scanner* ou mesmo características deste original, podem fazer com que a imagem esteja rotacionada (Figura 22b);
- c) Translação em x e y: em virtude da não coincidência dos centros dos dois sistemas (Figura 22c);
- d) Escalas diferentes em x e y: em função de dobraduras, enrugamento ou uma dilatação não homogênea do original.

A formulação matemática dessa transformação, aplicável a esquemas matriciais, considera a existência simultânea de seis parâmetros (Coelho e Brito, 2007):

$$x = C_x \cos \alpha \cdot \text{coluna} + C_y \sin \alpha \cdot \text{linha} + X_0 \quad (19)$$

$$y = -C_x \sin(\alpha + \epsilon) \cdot \text{coluna} + C_y \cos(\alpha + \epsilon) \cdot \text{linha} + y_0 \quad (20)$$

Tais expressões podem ser descritas de forma linear como:

$$x = a_0 + a_1 \cdot \text{coluna} + a_2 \cdot \text{linha} \quad (21)$$

$$y = b_0 + b_1 \cdot \text{coluna} + b_2 \cdot \text{linha} \quad (22)$$

Rearranjando as equações 5 e 6 de forma matricial e isolando o vetor que contém as incógnitas, chega-se à equação 7:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \text{coluna} & \text{linha} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna} & \text{linha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Sendo seis o número de incógnitas (a_0 , a_1 , a_2 , b_0 , b_1 e b_2), são necessárias no mínimo seis observações para uma solução; ou seja as coordenadas de três

pontos no espaço origem ($linha_1, coluna_1, linha_2, coluna_2, linha_3, coluna_3$) e as correspondentes coordenadas no espaço destino ($x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$), sendo aconselhável pelo menos uma a mais para determinação do desvio-padrão do ajustamento; sendo que na prática tomam-se quatro pontos, gerando 8 equações e o sistema assumirá a forma abaixo, sendo resolvido pelo MMQ (COELHO e BRITO, 2007):

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ x_4 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & coluna_1 & linha_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & coluna_1 & linha_1 \\ 1 & coluna_2 & linha_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & coluna_2 & linha_2 \\ 1 & coluna_3 & linha_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & coluna_3 & linha_3 \\ 1 & coluna_4 & linha_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & coluna_4 & linha_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (24)$$

3.2.4. Transformações projetivas e polinomiais

Na geometria projetiva, nem as distâncias, nem os ângulos, nem o paralelismo são preservados. Assim tanto a área quanto a forma modificam-se (Figura 23). São muito utilizadas em projeções cartográficas quando uma forma que está sobre um esferóide (esfera, elipsóide) precisa ser representada em uma superfície plana. Podem ser conformes (preserva a forma) ou equivalentes (preserva a área) e requerem no mínimo quatro pontos de controle para sua resolução.

Figura 23 - Transformação projetiva.

Lugnani (1987) define-as matematicamente através das equações:

a) projetiva:

$$x' = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_4x + a_5y + 1} \quad (25)$$

$$y' = \frac{a_6x + a_7y + a_8}{a_4x + a_5y + 1} \quad (26)$$

b) polinomial:

Adotam-se diferentes polinômios, por exemplo, o polinômio bivariado de Hermite, completo do segundo grau (ou qualquer outro):

$$x' = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3y + a_4y^2 + a_5xy + a_6x^2y + \dots \quad (27)$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3y + b_4y^2 + b_5xy + b_6x^2y + \dots \quad (28)$$

3.2.5. Reamostragem

As transformações referem-se a posições geométricas: umas coordenadas que se transformam em outras. No caso das imagens matriciais, formadas, portanto, de pixels, a mudança de posição irá determinar também uma mudança no número digital (nível de cinza) na matriz (ou imagem) de saída. Esse processo muito comum no âmbito do sensoriamento remoto denomina-se reamostragem (CHUVIECO, 1990). Em suma, a transformação irá determinar os novos valores de cor a serem destinados aos *pixels* da nova imagem. Após a transformação o nível digital de um determinado *pixel* na matriz original podem influenciar dois ou mais *pixels* na nova grade. Como se pode ver na Figura 24 o *pixel* que se encontra na coluna 430 e linha 289 da grade original representada em cinza claro (com nível 17, por exemplo); após a transformação passa a ter seu centro na posição 427,35; 288,78, no sistema quadriculado em cinza escuro e deverá influenciar radiometricamente ao menos outros quatro *pixels* da imagem transformada. De acordo com Andrade (1998) apud Coelho e Brito (2007) e Chuvieco (1990), entre os vários métodos de amostragem, os mais utilizados são: vizinho mais próximo, interpolação bilinear, *splines* bicúbicas e polinômio de Lagrange. Mais detalhes, e as formulações matemáticas para estes métodos podem ser encontrados nas obras acima citadas.

Figura 24 - O problema da reamostragem - compatibilizar a radiometria da imagem original para uma nova distribuição de pixels.
Fonte: Coelho e Brito (2007).

A escolha do método a ser empregado depende da finalidade do processo e dos recursos computacionais disponíveis. Caso se pretenda preservar os valores originais da imagem, deve-se optar pelo vizinho mais próximo. Mas, se o objetivo for facilitar a análise visual, opta-se por algoritmos de interpolação mais sofisticados como as *splines* bicúbicas, caso se disponha de recursos computacionais suficientes.

3.2.5.1. Reamostragem por vizinho mais próximo

Atribui ao *pixel* da imagem reamostrada o valor do *pixel* da imagem original que estiver mais próximo, como se pode ver na Figura 25 arredondando os valores das novas coordenadas. No caso da imagem anterior o valor 427,35;288,78 passa a ser 427;289 e recebe o tom de cinza 17. Esse método possui um nível de erro de até 0,5 *pixel*, o que leva a descontinuidades na imagem reamostrada. Possui as vantagens de rápido processamento e fácil implementação, além de não alterar os valores radiométricos da imagem original (NOVO, 1992 apud COELHO e BRITO, 2007).

Figura 25 - Reamostragem por vizinho mais próximo.
Fonte: Chuvieco (1990).

3.2.5.2. Reamostragem por interpolação bilinear

O valor da cor, nesse método, será determinado a partir dos quatro *pixels* da imagem inicial que são vizinhos a ele, ponderando-se a distância do pixel original ao corrigido (Figura 26). Segundo Novo (1992) apud Coelho e Brito (2007), haverá maior precisão geométrica e o desaparecimento de discontinuidades. Porém o processamento é maior e há alteração dos valores de cor da imagem original.

Figura 26 - Reamostragem por interpolação bilinear.
Fonte: Chuvieco (1990).

3.2.5.3. Reamostragem pelos métodos de vizinhança 4 x 4 *pixels* e de *splines* bicúbicas

Apresenta um resultado de melhor visualização e menos erros de interpolação (Figura 27). Recaem, porém, em situações e cálculos muito mais complexos envolvendo as cores dos 16 *pixels* vizinhos e modificam a resolução radiométrica da imagem original.

Figura 27 - Reamostragem por interpolação bilinear.
Fonte: Chuvieco (1990).

As formulações matemáticas para os métodos de *splines* bicúbicas e o polinômio de Larange podem ser encontradas em Andrade (1998) apud Coelho e Brito (2007).

3.3. TRANSFORMAÇÕES DISPONÍVEIS EM PROGRAMAS DE CARTOGRAFIA DIGITAL

A diversificação dos programas de cartografia digital e SIG e o número crescente de aplicações aumentou a necessidade de troca de informações em diferentes bases geográficas, também conhecidas como “integração e interoperabilidade de dados espaciais”.

Para garantir esta troca de informações um problema nem sempre mencionado é o da compatibilidade geométrica, no nível do sistema de coordenadas. O problema foi resolvido em duas etapas: primeiro detectam-se pontos homólogos nos dois mapas, e então aplica-se a transformação de um para outro (BRAVELLI e ZAMBONI, 2004). Ainda de acordo com esses autores, quando um, ou os dois mapas, a serem sobrepostos não possuem homogeneidade na direção ou na escala de seus sistemas de coordenadas, aplicam-se as transformações; uma delas é a transformação polinomial, que é um nome genérico que abrange uma série de possibilidades. Assim as distorções são aproximadas por funções polinomiais na Latitude e Longitude ou Norte e Este, e dependendo do grau destas distorções, as aproximações são feitas com a utilização de polinômios de primeiro, segundo, terceiro ou maior grau. Os diferentes casos de transformações foram tratados no tópico anterior: Transformações entre sistemas; a retomada do tema deve-se à sua ligação com as transformações a serem aplicadas em imagens raster (matriciais) e em particular a chamada *rubber sheet* (folha de borracha).

A transformação afim é o polinômio mais simples ou de primeiro grau, que possui 6 parâmetros de transformação (rotação, translação em X e Y, escalonamento em X e Y e a não ortogonalidade dos eixos de referencia). A vantagem mais importante da transformação afim é a de manter retas, as linhas retas; paralelas, as linhas paralelas; preservar a convergência e as proporções entre as linhas e, ao final das contas mantém a geometria das figuras. Pode-se pensar que estas sofrem translações, rotações e escalamento, mas a proporção, forma e posição relativa dos pontos não se alteram.

Já os polinômios de maior grau são úteis no registro de mapas com distorções diferentes e em posições variadas, o que não pode ser modelado pela transformação afim, por manter a geometria da imagem como um todo. Quanto maior o número de distorções localizadas, maior deverá ser o grau do polinômio a ser utilizado, para, em princípio, modelar melhor as transformações.

Quando as transformações são aplicadas desigualmente por todo o mapa podem ser chamadas de *rubber-sheet*. Rubber sheeting é o termo utilizado em programas de cartografia digital, CAD e assemelhados para indicar uma

transformação que visa corrigir dados geográficos espaciais, através de algoritmos que em geral são polinomiais.

A interpolação polinomial apresenta algumas propriedades indesejáveis, tais como oscilações dos valores da função, que podem piorar com o aumento do grau do polinômio. Uma exemplificação desse fato é o fenômeno de Runge, ilustrado na Figura 28, onde 11 pontos equidistantes entre -1 e 1, compõe a função original (a), e as figuras seguintes (b), (c) e (d) mostram a interpolação para os graus 3, 7 e 11. Aumentando-se o grau do polinômio, pode-se melhorar parcialmente a aderência em alguns trechos e até respeitar todos os valores fornecidos, mas a oscilação dos valores aumentar muito no espaço entre eles.

Figura 28 - Problema da interpolação polinomial. No sentido horário: função original; interpolação por polinômios de grau 3, 7 e 11.

Fonte: Brovelli e Zamboni (2004).

Outro método bastante utilizado consiste em aplicar uma transformação diferenciada para diferentes porções do mapa a ser ajustado. Algumas soluções bastante utilizadas na Modelagem Digital de Terrenos baseiam-se em estruturas triangulares como a triangulação de Delaunay (CINTRA 1988), propostas para o caso do *Rubber Sheet* por Gillman (1985) e Saalfels (1987). Entretanto alguns inconvenientes podem ser apontados: os pontos de controle escolhidos nos dois mapas são tratados como pontos completamente conhecidos e permanecerão fixos após a transformação, podendo causar deformações não desejadas quando divergirem dos pontos no mapa destino, como os mostrados na Figura 29; uma segunda consideração consiste no fato de como os pontos de controle permanecerem fixos e a solução matemática ser setorizada, o resíduo obtido é nulo.

Figura 29 - "Rubber Sheeting" baseado em uma Rede triangular Irregular e transformação Afim.
Fonte: Shimizu e Fuse (2004).

Como forma de amenizar os efeitos indesejáveis da interpolação polinomial, vários programas utilizam como algoritmo uma função spline, também de forma setorial. Mas esta aproximação pode sofrer algumas deficiências caso a distribuição dos pontos de controle não seja homogênea.

3.3.1. Transformações no programa AutoCAD Raster Design®

O programa AutoCAD Raster Design®, comercializado pela Autodesk, realiza a correção ou transformação de imagens raster através do comando “Rubersheet”, que pode ser efetuada de duas maneiras: pelo método triangular ou o polinomial.

O método Triangular cria uma triangulação com os pontos de controle, e então aplica a transformação dentro destas áreas. O processo utiliza o método de triangulação de Delaunay. Em cada área triangular é aplicada separadamente a transformação afim. De acordo com o manual e o arquivo de ajuda do programa, este método é mais preciso do que a correção polinomial, mas pode ocasionar perda de informação. A área total a ser transformada, chamada de convexa, é definida pelo polígono convexo formado pelos pontos de controle que pertence necessariamente à triangulação de Delaunay. As informações da imagem que estejam fora da área convexa são descartadas. Para preservar estas partes da imagem, os pontos de controle devem ser posicionados o mais próximo possível da extremidade e formando um polígono convexo.

O método Polinomial transforma a imagem como um todo de forma a tentar respeitar ao máximo a posição dos pontos de controle especificados, aplicando o método dos mínimos quadrados. Diferentemente do método triangular, os pontos coletados não necessariamente se posicionarão exatamente nos pontos escolhidos como destino. O erro posicional resultante é expresso como um valor numérico em um quadro de diálogo, e expresso graficamente na imagem após os pontos de controle serem inseridos. O erro para cada ponto é calculado pela distância entre o ponto de destino selecionado e o efetivamente posicionado pelo programa, segundo a fórmula:

$$e = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (29)$$

Sendo que o erro total apresentado é dado pelo Erro Médio Quadrático:

$$EMQ = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 \dots + e_n^2}{n}} \quad (30)$$

Ajustando o grau do polinômio pode-se melhorar a exatidão da coincidência dos pontos escolhidos. Entretanto, ainda de acordo com o arquivo de ajuda do programa, a redução dos erros pode causar um alto grau de deformação na imagem causada pelo fenômeno de Runge, como foi demonstrado na figura 28. Portanto é aconselhável a utilização do mais baixo grau de polinômio possível, que ofereça um resíduo aceitável.

Para que se possa aumentar o grau do polinômio é necessário aumentar o número de pontos de controle, ou seja cada grau de polinômio exige um número mínimo de pontos de controle, especificados no manual e transcritos na Tabela 3.1, por decorrência da formulação matemática.

Tabela 3.1 - Grau máximo do polinômio pelo número de pontos de controle.

Número de Pontos de Controle	Grau Máximo do Polinômio
3-5	1
6-9	2
10-14	6
15-20	4
21-27	5

Fonte: AutoCAD (2011).

3.3.2. Aplicação dessas transformações ao mapeamento da SARA

Na maioria dos programas de CD, a funcionalidade de transformação ou ajuste foi criada no intuito de adequar um mapa ou imagem a outro previamente inserido em um dado projeto e que, em princípio, é mais preciso. Ou para adequar uma imagem matricial a um mapa no formato vetorial.

No caso em estudo, porém, a intenção é a de corrigir as deformações causadas à planta pelo tempo, mau armazenamento, maus tratos, umidade e calor e também, como no caso de mapas mais recentes, a deformação causada pelo dispositivo de varredura ótica (scanner) na aquisição da imagem. Para exemplificar,

será utilizada uma folha do mapeamento da SARA (Figura 30) sem qualquer tipo de retificação e comparada com as suas quadrículas na posição em que deveriam estar. As linhas em cor avermelhada representam a malha de coordenadas desenhada sobre a imagem. Nos detalhes ressaltados com círculos nesta figura pode-se notar que, sem qualquer correção, a imagem apresenta deformações angulares, de ortogonalidade entre os eixos X e Y e escalas diferenciadas para X e Y, além de estas distorções escalares não serem constantes, mas sim progressivas principalmente no sentido do eixo Y. Isso se comprova analisando a não coincidência da malha avermelhada com a malha em preto, original; e pelo valor desse desajuste.

Para eliminar erros causados à folha pelo tempo foram utilizados como pontos de controle não apenas os cantos e o centro, como sugerido em Nero (2000), mas todas as intersecções da malha. Estes pontos estão destacados na Figura 31 pela cor azul em que estão desenhados, e figuram na Tabela 3.2; que mostra o número dos pontos de controle espalhados por toda a área de desenho, as coordenadas X e Y desses pontos no documento de origem, as coordenadas X e Y de destino, ou seja, nas intersecções da malha de coordenadas e por final o erro (e), em metros, atribuído pelo programa para uma correção polinomial de primeiro e sexto grau.

Tabela 3.2 - Pontos de controle para retificação da Folha 51/9 do mapeamento SARA

PONTO	ORIGEM		DESTINO		e (m)	
	X	Y	X	Y	Polinomial 1º	Polinomial 6º
1	100.0000	-680.0000	100	-680	0,4978	0,03556
2	99.9892	-600.0291	100	-600	0,4192	0,07433
3	99.9461	-500.2342	100	-500	0,2222	0,05951
4	99.7906	-400.4294	100	-400	0,08443	0,06819
5	99.6326	-300.6193	100	-300	0,1198	0,08179
6	99.4532	-200.6182	100	-200	0,1263	0,04696
7	99.1015	-100.7343	100	-100	0,1019	0,04556
8	98.8167	-1.0478	100	0	0,3819	0,008391
9	98.4769	98.6950	100	100	0,6255	0,04203
10	98.3166	158.5347	100	160	0,7631	0,02092
11	200.4592	-680.2403	200	-680	0,3721	0,03436
12	200.4066	-600.1712	200	-600	0,3855	0,04800
13	200.4210	-500.4533	200	-500	0,1204	0,05120
14	200.2511	-400.5835	200	-400	0,09260	0,03694
15	200.1051	-300.7072	200	-300	0,1612	0,7859

PONTO	ORIGEM		DESTINO		e (m)	e (m)
	X	Y	X	Y	Polinomial 1º	Polinomial 6º
16	199.8993	-200.5900	200	-200	0,1865	0,05787
17	199.5691	-100.7647	200	-100	0,04046	0,4567
18	199.3729	-0.9892	200	0	0,2095	0,04422
19	199.0690	98.8003	200	100	0,3748	0,02973
20	198.8034	158.5879	200	160	0,5895	0,01018
21	301.0322	-680.2923	300	-680	0,3208	0,04208
22	301.0370	-600.2635	300	-600	0,3626	0,02042
23	301.0155	-500.5466	300	-500	0,2600	0,05298
24	300.7953	-400.6703	300	-400	0,2219	0,07306
25	300.6350	-300.7842	300	-300	0,2672	0,07473
26	300.5154	-200.7180	300	-200	0,3634	0,06082
27	300.1541	-100.7907	300	-100	0,2090	0,05909
28	299.9100	-1.0543	300	0	0,2333	0,04862
29	299.5965	98.7959	300	100	0,2764	0,02904
30	299.3597	158.6030	300	160	0,4394	0,03997
31	401.3132	-680.4931	400	-680	0,3275	0,02404
32	401.2869	-600.4273	400	-600	0,3245	0,05070
33	401.2462	-500.6258	400	-500	0,1550	0,03825
34	401.1218	-400.8461	400	-400	0,1321	0,06659
35	401.0548	-300.7994	400	-300	0,2770	0,1060
36	400.7701	-200.7625	400	-200	0,2422	0,04333
37	400.4447	-100.7907	400	-100	0,1784	0,04120
38	400.2365	-1.0088	400	0	0,07813	0,07261
39	399.9781	98.9066	400	100	0,06012	0,03800
40	399.7101	158.6833	400	160	0,2758	0,01363
41	501.5943	-680.7459	500	-680	0,3972	0,02384
42	501.6900	-600.6617	500	-600	0,2174	0,02533
43	501.6182	-500.8027	500	-500	0,07646	0,04157
44	501.4579	-400.9155	500	-400	0,085083	0,02801
45	501.2019	-300.7723	500	-300	0,1954	0,09613
46	501.0200	-200.7690	500	-200	0,2448	0,03408
47	500.7520	-100.7657	500	-100	0,2929	0,06900
48	500.4816	-0.9014	500	0	0,2197	0,05865
49	500.2783	99.1323	500	100	0,2909	0,09179
50	500.1179	158.8602	500	160	0,1273	0,03050
51	602.1385	-681.0638	600	-680	0,3100	0,04039
52	602.2175	-601.0522	600	-600	0,1146	0,03407
53	602.1888	-501.1054	600	-500	0,1921	0,04532
54	601.9734	-401.1510	600	-400	0,1938	0,04971
55	601.8179	-300.9849	600	-300	0,2215	0,02550
56	601.6073	-200.9893	600	-200	0,2386	0,07681
57	601.2460	-100.9426	600	-100	0,2255	0,01909
58	601.0498	-1.0164	600	0	0,1994	0,07805
59	600.7699	99.0563	600	100	0,3076	0,008543

PONTO	ORIGEM		DESTINO		e (m)	e (m)
	X	Y	X	Y	Polinomial 1º	Polinomial 6º
60	600.5593	158.8634	600	160	0,1707	0,05850
61	702.6445	-681.5325	700	-680	0,5519	0,01776
62	702.7139	-601.4493	700	-600	0,4083	0,02493
63	702.6421	-501.4244	700	-500	0,3872	0,06670
64	702.5081	-401.4830	700	-400	0,4406	0,07679
65	702.2282	-301.2269	700	-300	0,2038	0,04951
66	701.9984	-201.1357	700	-200	0,1976	0,05484
67	701.6324	-101.1791	700	-100	0,09076	0,01423
68	701.3620	-1.1824	700	0	0,1362	0,05335
69	701.0748	99.0336	700	100	0,4084	0,08003
70	700.8834	158.8916	700	160	0,3322	0,01627
71	802.8705	-681.8406	800	-680	0,8123	0,01252
72	803.0571	-601.7835	800	-600	0,6328	0,02563
73	802.9854	-501.7227	800	-500	0,5411	0,04067
74	802.8346	-401.6750	800	-400	0,4712	0,06985
75	802.5929	-301.3864	800	-300	0,1789	0,02060
76	802.2938	-201.2757	800	-200	0,07837	0,02282
77	801.9301	-101.2171	800	-100	0,1837	0,03472
78	801.5880	-1.2410	800	0	0,2899	0,09487
79	801.3966	99.1204	800	100	0,6203	0,08243
80	801.1884	159.0186	800	160	0,5874	0,03946

Fonte: O Autor.

Figura 30 - Sobreposição da malha de coordenadas com a imagem da folha 51/9 do mapeamento sem retificação.

Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA.

A correção foi executada com o comando “Rubbersheet” do AutoCAD Raster Design, sendo que primeiramente foi selecionado o modo polinomial como mostra a Figura 32, mas sem aplicar a correção, apenas para se obter o erro médio quadrático, sendo que esse valor para o polinômio de primeiro grau aproxima-se muito do método triangular.

Figura 32 - Caixa de diálogo para definição dos pontos de controle, com o método polinomial de primeiro grau selecionado.

Fonte: AutoCAD Raster Design®.

Segundo Sloan (2006), um Erro Médio Quadrático (RMS error – the root mean square error) aceitável é igual ou menor que meio pixel e pode ser obtido através da equação:

$$EMQ = \frac{0,0254 \times M / R_{(dpi)}}{2} \quad (31)$$

onde: EQM = Erro Médio Quadrático Aceitável;

M = Módulo da escala da Imagem;

$R_{(dpi)}$ = Resolução da Imagem em pontos por polegada.

No caso da coleção SARA, contou-se com imagens de 200 ppp ou dpi e escala de 1:1000; com a aplicação da equação (15) obteve-se um erro máximo aceitável de 0,0635 m cinco vezes inferior ao obtido pelo polinômio de primeiro grau, que é de 0,3296 m. Para reduzir este erro, pode-se aumentar o grau do polinômio, sendo que o de sexto grau resulta em um erro de 0,0522 m (Figura 33), dentro do recomendável pela equação acima, mas sempre lembrando do comportamento polinomial indesejável.

Figura 33 - Caixa de diálogo para definição dos pontos de controle, com o método polinomial de sexto grau selecionado

Fonte: AutoCAD Raster Design®.

Por se contar com a malha de coordenadas no mapa original e coordenadas em todos os cantos mais externos do desenho, pode-se aplicar o método triangular, sem perda de informações e levando cada ponto de controle à posição em que realmente deveriam estar, obtendo-se assim um EMQ de 0,00 m, por injunção. Isso pode ser visto na Figura 34. O resultado obtido nos mapas pode ser vistos na Figura 35 que mostra o método polinomial de sexto grau e Figura 36 que mostra o método triangular. Percebe-se que no método triangular toda a informação (pixels) externa aos triângulos de ajuste, tais como título do mapa, brasão da cidade, valor das coordenadas das malhas e legendas, é descartada.

Figura 34 - Caixa de diálogo para definição dos pontos de controle, com o método triangular selecionado.

Fonte: AutoCAD Raster Design®.

Figura 35 - Folha 51/9 do mapeamento da SARA após retificação pelo método polinomial de sexto grau.

Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA.

Figura 36 - Folha 51/9 do mapeamento da SARA após retificação pelo método triangular.
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA.

3.4. MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

Tanto para a obtenção dos valores da matriz dos coeficientes nas transformações geométricas, quanto para o ajuste de redes geodésicas, quanto para inúmeros outros casos, recomenda-se a aplicação do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). A formulação para o método paramétrico pode ser encontrada em Gemael (1994). A seguir, estão transcritas as fórmulas empregadas no ajustamento para a obtenção dos parâmetros de transformação.

$$X_a = (A^T P A)^{-1} \cdot (A^T P L_b) \quad (32)$$

$$V = A X_a - L_b \quad (33)$$

$$L_a = L_b + V \quad (34)$$

Onde:

X_a é o vetor dos parâmetros $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{b}_0, \hat{b}_1$ e $\hat{b}_2$ ajustados, ou seja, o que se deseja conhecer:

$$X_a = \begin{bmatrix} \hat{a}_0 \\ \hat{a}_1 \\ \hat{a}_2 \\ \hat{b}_0 \\ \hat{b}_1 \\ \hat{b}_2 \end{bmatrix}_{\text{ajustados}} \quad (35)$$

A é a matriz dos coeficientes dos parâmetros, que contem, entre outros, os valores das coordenadas de *pixel* a serem transformadas:

$$X_a = \begin{bmatrix} 1 & \text{coluna}_1 & \text{linha}_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna}_1 & \text{linha}_1 \\ 1 & \text{coluna}_2 & \text{linha}_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna}_2 & \text{linha}_2 \\ 1 & \text{coluna}_3 & \text{linha}_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna}_3 & \text{linha}_3 \\ 1 & \text{coluna}_4 & \text{linha}_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \text{coluna}_4 & \text{linha}_4 \end{bmatrix} \quad (36)$$

L_b é o vetor das observações, que são os valores das coordenadas de referência:

$$L_b = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ x_4 \\ y_4 \end{bmatrix} \quad (37)$$

P é a matriz-peso das observações. É igual à matriz-identidade se, e somente se, todos os pontos de controle tiverem desvio-padrão idêntico:

$$P = \sigma_0^2 (\sum X_{L_b})^{-1} \quad (38)$$

Onde:

σ_0^2 é a variância de referência;

$\sum X_{L_b}$ é a matriz variância-covariância das observações.

L_a é o vetor das observações ajustadas:

$$L_a = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ x_4 \\ y_4 \end{bmatrix}_{\text{ajustadas}} \quad (39)$$

V é o vetor dos resíduos.

3.5. ANÁLISE DA QUALIDADE DE MAPEAMENTOS

Neste item será apresentado, de forma resumida, o processo de controle de qualidade de mapas, coisa bastante estudada, e na parte prática no capítulo 5 será feita uma avaliação do mapeamento da SARA.

A qualidade posicional depende dos processos e métodos utilizados na produção de documentos cartográficos que devem se adequar às necessidades e finalidades a que se destinam (SANTOS; SEGATINE e SILVA, 2008). Ainda que não seja o único aspecto que mereça atenção, tem sido a principal preocupação no processo cartográfico, pois a classificação final do produto é feita com base nela. Além disso, na época do mapeamento da SARA, havia grandes dúvidas se a aerofotogrametria conseguiria atingir bons níveis de precisão na escala em que o trabalho seria executado: 1:1.000. Outros parâmetros a considerar, que fazem parte da qualidade de dados para a cartografia são: parâmetros de linhagem, completude, fidelidade semântica e consistência lógica (BURITY et al, 1999), que serão também apresentados na sequência.

3.5.1. Qualidade Posicional

Diversos critérios podem ser utilizados na análise da qualidade posicional de uma carta. No Brasil, desde 1984, a classificação dos produtos cartográficos é determinada pelo PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica, estabelecido pelo Decreto Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984, que se refere a um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90 % de probabilidade, ou seja, $PEC=1,6449*EP$, onde o EP corresponde ao Erro-padrão (equivalente aos termos desvio-padrão e erro médio quadrático). Assim, o EP num trabalho cartográfico não ultrapassará 60,8% do PEC. Esse valor foi definido mediante a inversão da fórmula anterior, obtendo-se $EP=PEC/1,6449=0,608*PEC$. Como norma em planimetria é estabelecido que 90 % dos pontos bem definidos num documento cartográfico e testados no terreno não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido. Já em termos

de altimetria 90 % dos pontos interpolados e testados no terreno não deverão resultar em erro superior ao PEC altimétrico estabelecido (NERO, 2005).

Acontece que na época da publicação do Decreto Lei, a cartografia era gerada por processos analógicos e poucas eram as experiências na área da Cartografia Digital, o que faz com que esta metodologia necessite certa adequação para procedimentos atuais (DALMOLIN e LEAL, 2001 e SANTOS et al, 2010).

Resumidamente o procedimento de análise da qualidade posicional cartográfica baseia-se na análise das discrepâncias entre as coordenadas dos pontos retirados da carta e as coordenadas de pontos homólogos obtidos de outra fonte mais precisa, considerada como referência (MERCHANT, 1982).

3.5.1.1. Amostragem

Em sua tese de doutorado Nero (2005) propõe que o tamanho da amostra (n) seja calculado para o conjunto das cartas (cartografia contínua), abstraindo da divisão em folhas ou cartas. Para tanto determina-se primeiramente o tamanho da população (N), estimando-se o número de pontos notáveis existentes no mapeamento e possíveis de serem analisados. O tamanho da amostra é feito a partir do emprego da norma ISO 2859-1 (1999), como uma porcentagem de N .

Dependendo das necessidades a amostragem pode ser dirigida, isto é, a região mapeada é dividida em áreas homogêneas quanto ao grau de criticidade para que a localização dos pontos de controle possa ser orientada. Além disso, podem ser considerados outros critérios para a escolha dos pontos de amostragem:

- a) considerar uma distância mínima entre os pontos;
- b) coletar mais pontos em áreas mais críticas (locais onde os erros podem ser mais representativos, tais como áreas de declive acentuado);
- c) definir a amostragem por classes de elementos em função da finalidade do levantamento.

3.5.1.2. Avaliação do erro sistemático (Teste de tendência)

Para se realizar os testes de Tendência e o de Precisão faz-se necessário, previamente, o cálculo da média dos erros e do desvio padrão para cada uma das coordenadas, de acordo com a formulação a seguir:

$$\Delta X_i = X_i^c - X_i^d \quad (40)$$

Sendo ΔX_i a discrepância numa determinada direção das coordenadas dos pontos de controle X_i^c e as coordenadas dos pontos correspondentes X_i^d no produto a ser avaliado, em que i varia de 1 a n .

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta X_i}{n} \quad (41)$$

Onde:

μ = média dos erros numa determinada direção X (N, E, H);

n = número de pontos de controle.

$$S_X = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(\Delta X_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (42)$$

Onde:

S_X = desvio padrão numa determinada direção X (N, E, H);

os demais termos já definidos acima.

Para a detecção de erro sistemático numa determinada coordenada faz-se a aplicação do seguinte teste de hipóteses:

H_0 : μ é estatisticamente igual a zero: não existe tendência numa determinada coordenada.

H_1 : μ é estatisticamente diferente de zero: existe tendência numa determinada coordenada.

Passando no “Teste de Tendência”, para um determinado nível de confiança $(1-\alpha)$, que no caso do decreto Decreto Lei nº 89.817 é de 90%, pode-se concluir que as coordenadas têm média estatisticamente nula, não havendo tendência. A decisão final é tomada pela Função Distribuição Normal Unidimensional “Z”, que é um valor tabelado em função de α . Assim, se $|Z_X < Z_{(1-\alpha/2)}|$ o documento cartográfico pode ser aceito como livre de efeito sistemático numa dada coordenada X qualquer.

A equação para o cálculo de Z_X é apresentada a seguir:

$$Z_X = \left(\frac{1}{S_X}\right) \times \mu \times n^{1/2} \quad (43)$$

Ocorrendo erro sistemático, ou seja, quando se rejeita a hipótese H_0 e existe tendência, esta pode ser eliminada com uma simples translação na direção em que se constata tal ocorrência, o que corresponde a subtrair o valor da média de todos os valores. Mais detalhes podem ser obtidos em Nero (2005) e Cintra e Nero (2005).

3.5.1.3. Avaliação da precisão (Teste do Qui-quadrado)

O Teste da Precisão avalia uma dada coordenada qualquer na direção X , se o documento atinge ou não determinada precisão de maneira separada de acordo com as seguintes hipóteses:

H_0 : S_X^2 é estatisticamente igual a σ_X^2 : o documento cartográfico atende à precisão desejada numa dada coordenada.

H_1 : S_X^2 é estatisticamente maior que σ_X^2 : o documento cartográfico não atende à precisão desejada numa dada coordenada.

Nessa formulação, σ_X corresponde ao desvio-padrão ou erro-padrão esperado (EP) para a coordenada X e Qui quadrado é calculado pela expressão:

$$\chi_{x,(n-1)}^2 = \frac{(n-1)}{\sigma_X^2} \times (S_X^2) \quad (44)$$

O qui quadrado calculado deve ser comparado com um valor limite, extraído de uma tabela estatística. Se estiver abaixo, aceita-se a hipótese H_0 e se estiver acima, rejeita-se e adota-se H_1 .

3.5.2. Qualidade Posicional na época do mapeamento da SARA

Na época em que a SARA realizou o mapeamento da Capital, a cartografia sistemática urbana, não estava consolidada e tampouco os métodos de verificação posicional. Todavia, Oelsner (1934) descreve que em visita de peritagem, um comandante de navio de guerra, dois capitães do Exército, um coordenador e um engenheiro dos executores das cartas topográficas do Distrito Federal (na época o Rio de Janeiro) visaram, do Corcovado e de um edifício da cidade, uma meia centena de pontos, realizando observações de ângulos horizontais, cujas direções teriam que coincidir com aquelas obtidas no mapa em escala 1:2.000; infelizmente Oelsner não apresentou os resultados obtidos, apenas comenta que nenhum erro foi encontrado. Tratava-se portanto de uma preocupação pela precisão, mas com uma metodologia incipiente.

Um método semelhante foi apresentado por Amedeu Nistri (1925a), junto com o resultado obtido através do emprego do fotocartógrafo Nistri no mapeamento da comunidade de Cerveteri (província de Roma) executado pela SARA na escala de 1:1.000. Nessa metodologia, a partir de dois pontos da rede de controle e um terceiro ponto qualquer com coordenadas obtidas no desenho, calculavam-se o ângulo formado por estas duas direções e comparava-se com o obtido em campo por um teodolito fabricado pela “Throughton & Simms” com aproximação de leitura de 10 segundos, tendo-se encontrando uma diferença de 5 segundos em uma distância de 312,83m. No mesmo trabalho também foram comparadas as diferenças posicionais (Norte e Este) de dois pontos com coordenadas calculadas através de levantamento trigonométrico e as obtidas pela restituição fotogramétrica, onde foram encontradas as seguintes diferenças:

- a) ponto 393 – Muraccio (erro em $X = 1,86m$; erro em $Y = 1,02m$);

b) ponto 469 – Capanna Pecoraio (erro em X = 2,14m; erro em Y = 0,75m).

Em outro trabalho o mesmo Amedeu Nistri (1925b) apresentou os resultados de um levantamento aerofotogramétrico desenvolvido pela SARA no Município de Milão, na escala de 1:2.000 e que teria a função básica de servir de apoio para o estudo de um novo Plano Diretor da região. Este outro empreendimento apresentou para os 8 pontos da Tabela 3.3, as diferenças entre os resultados trigonométricos, obtidos com um teodolito fabricado pela “Throughton & Simms” com aproximação de leitura de 10 segundos e os obtidos na carta. Sendo a primeira coluna a identificação dos pontos visados, a segunda, a escala da imagem; a terceira, a distância entre a estação onde se encontrava o teodolito e o ponto de visada; a quarta coluna, as diferenças angulares encontradas; a quinta e última coluna as diferenças de nível encontradas no teste comparativo.

Tabela 3.3 - Diferenças encontradas no levantamento de Milão, escala: 1:2.000.

Ponto Visado	Escala da Imagem	Distância Est. – P.V. (metros)	Diferença Azimutal (segundos)	Diferença na Cota (metros)
5	1:909,09	263,34	35	0,37
9	1:740,74	1.081,20	10	0,55
17	1:769,23	308,82	15	0,44
24	1:833,33	421,70	10	0,25
26	1:833,33	813,01	20	0,57
40	1:833,33	523,73	50	0,57
45	1:740,74	896,67	20	0,32
54	-	311,92	40	0,10

Fonte: Nistri (1925b).

Para as direções Norte e Este, foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Diferenças encontradas no levantamento de Milão, escala: 1:2.000.

Ponto Visado	Escala da Imagem	Diferença em X (metros)	Diferença em Y (metros)	Diferença em Z (metros)
1	1:909,09	0,08	0,25	0,25
19	1:769,23	0,35	0,07	0,48
20	1: 833,33	0,39	0,07	0,55
36	1: 769,23	0,04	0,38	0,02
73	1:800,00	0,18	0,12	0,48
91	1: 769,23	0,05	0,39	0,23

Fonte: Nistri (1925b).

Percebe-se que os erros encontrados para todos os casos são pequenos mesmo para os padrões atuais. De qualquer maneira, não se trata de um controle de qualidade sistemático, pois são poucos pontos, e não havia um método estabelecido, com sequência de atividades e procedimentos.

Uma outra maneira de conferir a precisão do mapa, mais utilizada em áreas urbanas densamente construídas é apresentada por Ciurileanu (c. 1930) em uma verificação preliminar de uma restituição em escala 1:1.000 e consistia em realizar medidas na planta, em alinhamentos definidos e compará-los com medidas realizadas em campo, nos mesmos alinhamentos. Um exemplo dos resultados obtidos através desta técnica está na Tabela 3.5, onde estão 18 alinhamentos separados em dois blocos, sendo que em cada bloco há algumas distâncias medidas em planta e no campo.

Tabela 3.5 - Diferenças das medidas planimétricas.

Medida em planta (m)	Medida em campo (m)	Diferença (m)	Medida em planta (m)	Medida em campo (m)	Diferença (m)
1º alinhamento			10º alinhamento		
11,00	12,00	-1,00	3,50	3,30	0,20
32,25	32,73	-0,48	-	9,70	-
2º alinhamento			12,60	12,70	-0,10
13,70	14,00	-0,30	24,20	24,16	0,04
30,60	31,14	-0,54	36,90	37,00	-0,10
42,90	43,40	-0,50	57,00	56,90	0,10
55,20	56,00	-0,80	74,60	74,80	-0,20
3º alinhamento			76,00	76,00	0,00
13,90	14,12	-0,22	11º alinhamento		
24,40	25,22	-0,82	3,20	3,00	0,20
29,60	30,53	-0,93	-	8,90	-
35,00	35,28	-0,28	11,70	11,70	0,00
46,90	47,20	-0,30	12º alinhamento		
60,30	60,53	-0,23	11,50	11,75	-0,25
4º alinhamento			16,90	17,50	-0,60
11,30	12,30	-1,00	36,70	36,54	0,16
28,20	28,20	0,00	55,30	55,17	0,13
68,30	68,20	0,10	65,40	65,23	0,17
5º alinhamento			75,40	75,40	0,00
3,00	3,00	0,00	97,50	97,50	0,00
8,70	9,00	-0,30	13º alinhamento		
12,00	12,00	0,00	2,50	2,50	0,00
6º alinhamento			-	13,10	-
-	12,90	-	13,70	13,60	0,10
-	23,00	-	14º alinhamento		

Medida em planta (m)	Medida em campo (m)	Diferença (m)	Medida em planta (m)	Medida em campo (m)	Diferença (m)
47,00	47,00	0,00	1,90	2,30	-0,40
7º alinhamento			9,00	9,00	0,00
3,50	2,90	0,60	15º alinhamento		
8,80	8,90	-0,10	6,10	6,10	0,00
11,90	11,85	0,05	16º alinhamento		
25,50	25,60	-0,10	7,40	7,70	-0,30
32,80	33,00	-0,20	9,70	9,70	0,00
55,10	55,00	0,10	16,40	16,60	-0,20
8º alinhamento			17º alinhamento		
17,30	17,70	-0,40	10,20	10,30	-0,10
29,60	29,83	-0,23	18º alinhamento		
39,45	39,80	-0,35	-	2,80	-
51,20	51,50	-0,30	-	5,10	-
9º alinhamento			11,50	11,65	-0,15
13,80	13,80	0,00			
28,00	28,00	0,00			
41,90	42,17	-0,27			
61,50	61,37	0,13			

Fonte: Ciurileanu (c. 1930).

Ciurileanu conclui seu trabalho realizando uma análise estatística dos dados dessa Tabela: de 59 medidas, 12 são os erros acima de 0,30m, correspondendo a 20,3%; 8 são erros acima de 0,50m, correspondendo a 13,5% e os demais 39 pontos estão abaixo de 0,30 e corresponde aos restantes 66,1%.

Conferindo e analisando essa Tabela, foi possível corrigir pequenos erros como o do 3º alinhamento, onde no texto original constava “53,00 (na realidade 35,00) 35,28 -0,28”, no 7º alinhamento “8,80 8,90 -0,30 (provavelmente 0,10)” e no 12º alinhamento “36,70 36,54 -0,16 (na realidade +0,16)”. Por outro lado, com o programa Excel elaborou-se o resumo estatístico da Tabela 3.6 e o Histograma das frequências da Figura 30.

Tabela 3.6 - Resumo estatístico das diferenças de medidas em alinhamentos.

Média	-0,17
Erro padrão	0,04
Mediana	-0,10
Modo	0,00
Desvio padrão	0,31
Variância da amostra	0,10
Curtose	1,16

Assimetria	-0,85
Intervalo	1,60
Mínimo	-1,00
Máximo	0,60
Soma	10,17
<u>Contagem</u>	<u>59</u>

Por essa tabela e figura vê-se que há 6 erros acima de 0,5m , ou seja algo em torno de 10% da contagem (5,9), o que seria aceitável, mesmo para os padrões de hoje. O número de pontos também é bastante razoável, sendo que Merchant preconiza 20 pontos por carta.

Finalmente, deve-se dizer que essa técnica de medir alinhamentos (provavelmente distâncias entre pontos em um alinhamento de calçadas ou prédios) corresponde a medir o erro relativo (entre um ponto e seu vizinho) e não a um erro absoluto através das coordenadas, como preconizam as normas atuais.

Figura 37 - Histograma das Frequências das diferenças de medidas em alinhamentos.

3.5.3. Parâmetros de Linhagem

A linhagem contém o detalhamento dos passos seguidos na criação dos dados, tudo que se refere à descrição do material de origem, métodos de derivação utilizados, transformações executadas e comentários. É um “histórico” do processamento do dado (interpolação, filtragem, retificação, classificação). No caso de dados espaciais, a linhagem deve incluir ainda os pontos de controle utilizados. Deve trazer também os algoritmos de transformação utilizados.

A linhagem traz informação sobre os eventos, parâmetros e dados de origem que construíram o conjunto de dados documentado, bem como informações sobre as partes responsáveis pela construção. Inclui referências sobre quais dados originais foram utilizados para gerar o conjunto, a escala e o meio (ex.: papel, magnético, dados de campo) de cada um, o período de tempo que cada dado original descreve e a base de medição desse período, descrição dos processos utilizados (cada evento, processo ou passo com os parâmetros e tolerâncias relacionados), data da realização de cada passo e período de processamento, citação sobre a fonte de dados intermediários (significante na opinião do produtor, gerada no passo de processamento ou usada em processamentos posteriores) e, finalmente, informação sobre a parte responsável pela informação para o passo de processamento. A linhagem é uma informação do tipo composto, com valores quantitativos e texto descritivo (WEBER et al., 1999).

3.5.4. Completude

Este termo, de forma geral, está relacionado com a perfeição ou integridade. Para Östman (1997) apud Santos, Segatine e Siva (2008), a completude está relacionada com a quantidade de informações ausentes em uma base de dados ou que não deveriam estar presentes na mesma. O conceito de completude pode ser aplicado tanto às feições quanto aos atributos desta. Quando aplicado às feições, indica se todas as feições que devem ser representadas numa base cartográfica

estão presentes ou não. Para os atributos, o nível de conhecimento sobre estes indica a completude do mesmo.

Os tipos de medidas utilizadas na definição de completude podem ser: a percentagem de dados omitidos; a percentagem de excesso no número de amostras ou no comprimento ou na área; o número total de erros, correspondendo à soma dos dados omissos e o excesso da informações ou tipo de avaliação, incluindo a data da avaliação.

3.5.5. Fidelidade semântica

O propósito da fidelidade à semântica é descrever a diferença semântica entre objetos geográficos e a percepção da realidade.

Refere-se à qualidade com a qual os objetos geográficos são relacionados em concordância com o modelo selecionado. Ela está mais ligada a pertinência do significado do objeto geográfico que a representação geométrica propriamente dita (SALGÉ, 1997 apud NOGUEIRA, 2003).

A fidelidade à semântica é composta de vários parâmetros que não são fáceis de diferenciar. Um erro aparente (uma casa dentro de um lago) pode ser devido a atualização (uma modificação no contorno da costa), ou na consistência lógica (uma regra não levou em conta as possíveis casas palafitas), ou na completeza (omissão de uma ilha ou uma omissão dupla, tanto da casa como do lago) (SALGÉ, 1997 apud NOGUEIRA, 2003).

Outro exemplo de falta de fidelidade à semântica seria um mapa que contenha a representação de um rio passando sobre uma ponte, o que não condiz com a realidade.

3.5.6. Consistência Lógica

Este item informa sobre a manutenção de relações lógicas e topológicas consistentes na base de dados correspondente ao mapa ou Sistema de Informação Geográfica. Os testes de consistência lógica incluem: testes de valores válidos; testes gerais para dados gráficos (por exemplo, se os nós estão todos conectados, se os polígonos estão todos fechados) e testes topológicos específicos (por exemplo, se limites de polígonos vizinhos não estão se cruzando; se o sentido do fluxo em uma rede está correto). É uma informação textual, embora seja possível atribuir uma nota ou valor através da porcentagem de acertos ou erros. O relatório deve contemplar a data da aplicação dos testes. Correções e modificações por motivo de consistência lógica devem ser mencionadas juntamente com os métodos utilizados para essa checagem (SANTOS; SEGATINE e SILVA, 2008).

4. O MAPEAMENTO DA SARA

O presente capítulo apresenta um histórico do levantamento da SARA, destacando os elementos técnicos.

4.1. INTRODUÇÃO

Em 1930, faz, portanto, mais de 80 anos, publicavam-se as primeiras folhas do mapeamento sistemático da cidade de São Paulo, conhecido como levantamento da SARA, sigla que corresponde a *Società Anônima Rilevamenti Aerofotogrammetrici*, empresa italiana que vencera a concorrência para esse trabalho.

A escala em que foi feito, 1:1.000, é bastante adequada para áreas urbanas densamente povoadas e de pequenos lotes. Só recentemente se voltou a fazer um levantamento de São Paulo com esse nível de detalhe, sendo que as correspondentes cartas, em meio digital, só ficaram oficialmente disponíveis ao final de 2011. Nesse meio tempo, contou-se somente com mapeamentos atualizados na escala 1:2.000, no melhor dos casos. Assim, um mapeamento aerofotogramétrico cadastral na escala 1:1.000 não havia sido feito em nenhum país ou cidade até 1930 e nisso reside o pioneirismo do levantamento em estudo.

No entanto, é pouco o que se sabe desse levantamento e ele não é mencionado até mesmo em livros que recolhem a história da aerofotogrametria no Brasil, como por exemplo, Almeida (1940) ou Tavares e Fagundes (1991). Assim, neste capítulo procura-se resgatar um pouco mais dessa história, contando com fontes primárias, notadamente os preciosos documentos encontrados no Arquivo Histórico Municipal Washington Luís, administrado pela Secretaria Municipal da Cultura, através do Departamento do Patrimônio Histórico (DPH).

Com base nesses e outros documentos primários, bem como em livros e artigos que recolhem a história da fotogrametria, e com base na própria teoria

aerofotogramétrica, são estudadas, a história e as características técnicas desse levantamento, muito levemente esboçadas no trabalho de Idoeta et al (2004).

4.2. SITUANDO NO CONTEXTO TÉCNICO

São Paulo já contava com bons mapas, desde a planta mais antiga que se conhece, a do Coronel Rufino, de 1810, desenhados por processos topográficos, inclusive o primeiro mapa cadastral da cidade, elaborado por Carlos Abrão Bresser, em 1841 (IDOETA et al, 2004). Esses mapas, em escala de 1:5.000 ou 1:10.000, foram ficando sucessivamente desatualizados pelo crescimento exponencial da cidade. O último mapeamento do século, realizado pelo intendente Gomes Cardim em 1897, foi elaborado na escala 1:20.000, para poder abranger a região urbana numa só folha. Como é lógico, para poder representar a cidade na escala 1:1.000 torna-se necessário articular o levantamento em diversas folhas. Quando se pensou nessa elaboração, estavam surgindo as primeiras experiências de mapeamento sistemático com um novo tipo de levantamento, o aerofotogramétrico, que ainda despertava certos receios quanto à qualidade por parte das prefeituras e governos, como se verá no caso de São Paulo.

Para que se tenha uma ideia do pioneirismo do levantamento em estudo, vale a pena mencionar alguns marcos da história da aerofotogrametria (SCHWIDEFSKY, 1960). Com o advento do avião, e após a primeira guerra mundial, inicia-se um novo período na fotogrametria, que para alguns vai de 1915 a 1930. Nele dá-se o desenvolvimento dos equipamentos necessários para viabilizar a metodologia: em 1915, surge a primeira câmara para fotos em série, na Alemanha, seguida do surgimento nos Estados Unidos, da primeira câmara aérea; em 1921 a casa Heyde lançou o Autocartógrafo, primeiro instrumento que permitiu, com algumas restrições, a restituição das feições do terreno; em 1925, a empresa Fairchild fabrica aeroplanos apropriados para fotos aéreas. Os desenvolvimentos teóricos vão-se dando em paralelo, e são difundidos através dos Congressos internacionais, o primeiro em Viena (1913), o segundo em Berlim (1926) e o terceiro em Zurich (1930). Mas muitos conceitos fundamentais ainda estavam por vir: os

trabalhos de Otto von Gruber, a prática da aerotriangulação e outros são posteriores a 1930.

Ou seja, o mapeamento da SARA realizou-se ainda num período relativamente empírico, em que conceitos teóricos estavam em desenvolvimento, e equipamentos em processo de consolidação.

4.3. UMBERTO NISTRI E A SARA¹

A Itália estava entre os países de vanguarda, devido aos trabalhos teóricos e práticos de Ermenegildo Santoni (1896-1970) e Umberto Nistri (1895-1962), engenheiro mecânico, fundador da SARA, junto com seu irmão Amedeo. Umberto, que dominava todas as técnicas da produção cartográfica, contribuiu para o projeto e fabricação de instrumentos de vários tipos e desenvolveu os conceitos matemáticos necessários para a execução dos serviços, ou seja, para obter mapas precisos a partir de fotos aéreas. Depois de criar a SARA em 1921, fundou também, em 1926, a empresa Ottico Meccanica Italiana (OMI) para produzir as câmaras e restituidores Nistri; sendo que estes utilizavam o sistema de projeção óptica direta.

Por sua vez, a SARA, como não podia deixar de ser, usou intensamente os instrumentos Nistri para mapeamentos cadastrais dentro e fora da Itália, e especializou-se em trabalhos na escala 1:2.000 e 1:1.000, a partir da experiência adquirida em São Paulo. Em cada país criou-se uma empresa específica para a realização dos trabalhos, decorrendo daí a existência da SARA BRASIL S/A, da qual faziam parte também técnicos brasileiros.

Conforme informações fornecidas pelos representantes da SARA, na Itália ao senhor Frederic Stiebler Couto, entrevistado para o presente trabalho, os aviões para a tomada das fotos aéreas foram trazidos da Itália embarcados em navio com as asas desmontadas, mas de acordo com documentos pesquisado, em datas

¹ Parte das informações deste tópico foram obtidas em entrevista com Frederic Stiebler Couto, diretor da Programma Computação Científica Ltda, empresa que concebeu e projetou o Laboratório de Geoprocessamento da Procuradoria Geral do Estado de São Paulo (PGE) para localização espacial dos imóveis do Governo utilizando entre outras fontes documentais os mapas produzidos pela SARA.

separadas. Primeiro veio um Fiat modelo A.S.-1, para o qual foi construída uma pista de decolagem no “*Campo Aero Civil*”, atual Campo de Marte. Posteriormente desembarcou o Caproni, modelo CA-97, que sendo de maior peso e potência, obrigou uma reforma e ampliação da pista. A Figura 38 mostra este avião, por comparação com catálogos, pode-se dizer que se trata de um modelo muito parecido com o Fairchild FC 2 e com o XC8 (Fairchild, 2010). Notar a hélice única, as asas superiores, o leme de cauda, as janelas, os amortecedores e o estribo para subir a bordo.

Figura 38 - Aeroplano I - FOTO (CA 97) da SARA, utilizado no Brasil.
Fonte: PROGRAMMA computação científica (2011).

Já a Figura 39 mostra o interior de um dos aviões, com os equipamentos de bordo. Podem-se destacar: os dois volantes, para o piloto e co-piloto, uma adaptação do sistema de automóvel; os diversos instrumentos do painel de controle, bem como um equipamento, no corpo do avião, ao alto, talvez um altímetro suplementar; os que pilotam não têm encosto no banco que é bem simples, talvez para facilitar a passagem para a parte traseira; à esquerda, no chão, atrás do piloto, situa-se o que parece um extintor de incêndio; atrás dele, ao pé da janela, duas caixas empilhadas, provavelmente para guardar material fotográfico para o levantamento (negativo em placa de vidro, como se verá); no lado direito, a câmara fotográfica que exigia abertura na fuselagem, em ângulo pouco favorável para observar detalhes; no canto inferior direito um desenho ou fotografia, que nesse caso seria terrestre, vendo-se um edifício, com base e torre; atrás do co-piloto, preso à armação ou estrutura do avião, há uma placa retangular, banhada pela luz da

janela à direita, provavelmente um mapa em pequena escala servindo de plano de voo, para ajudar no voo correto pelas faixas e na definição dos pontos de tomada de foto.

Figura 39 - Interior do avião da SARA.
Fonte: PROGRAMMA computação científica (2011).

A legenda original da foto da Figura 40 indica o ano de 1931; que foi tirada no Brasil e que o primeiro à esquerda é Amedeu Nistri, irmão de Umberto, que acompanhou diretamente todos os trabalhos no Brasil. Quem seriam os demais integrantes dessa foto pousada, para fazer história em frente ao avião? Segundo informações de um sobrinho neto de Umberto Nistri (Família Nistri, 2010) seriam técnicos ou diretores brasileiros. Por outro lado, o carimbo invertido (espelhado), na posição superior direita aponta para uma possível inversão da foto. Nesse carimbo consegue-se ler, com um pouco de esforço, algo como: PAOLO EMILIO xxx, VIALE PARCINI 81 , ROMA, xxx. Foto no Brasil, revelação da mesma na Itália.

Figura 40 - Em frente ao CA 97, sendo Amedeu Nistri, o primeiro à esquerda.
Fonte: PROGRAMMA computação científica (2011).

4.4. O CONTRATO ENTRE A PMSP E A SARA BRASIL S/A.

Através dos documentos do Departamento do Patrimônio Histórico (DPH), onde ocorreu parte das pesquisas para o presente trabalho, pode-se constatar que os contatos da Prefeitura com a SARA começaram antes de 1925, época em que essa empresa italiana responde a questionamentos técnicos da Prefeitura Municipal de São Paulo através de relatórios datilografados em papel almaço, todos em italiano. O relatório mais antigo encontrado no DPH, de dezembro desse ano, tem como título *Vantaggi del método di rilevamento aerofotogramétrico Nistri*, e discorre sobre tópicos como precisão e vantagens dos mapas elaborados por esse método. Junto com os relatórios foram enviadas a São Paulo, amostras de aerofotografias e mapas de localidades italianas (na escala 1:2.000), de modo a ilustrar os resultados possíveis de serem obtidos. Estas correspondências foram trocadas por intermédio da embaixada brasileira em Roma.

A empresa, até no título de todas as cartas, faz constar que se trata de um “Mappa Topographico” – o edital de concorrência assim o especificava – e que se aplica simplesmente um novo procedimento: “pelo methodo Nistri de

aerophotogrammetria”. A desconfiança nesse novo método, de sua precisão e produtividade (entrega no prazo), pode ser notada nas condições de pagamento: a empresa SARA não receberia nada adiantado; pelo contrário, teria que depositar uma caução no valor de 30.000\$000 reis (trinta mil contos de réis) “como garantia da execução dos serviços de aerofotogrametria”; isso foi feito através de 30 apólices da Dívida Pública Federal, como se depreende de correspondência existente no DPH. Ou seja, não receberia nada pelas entregas parciais; somente contra a entrega de todos os produtos (mapas em diversas escalas, fotos e outros).

A lei 3203, de 17 de julho de 1928, autorizou o Prefeito J. Pires do Rio a contratar o levantamento topográfico do município, *pelo processo que julgar mais conveniente* e mediante concorrência pública. A expressão em itálico (grifo nosso), abria a possibilidade do levantamento fotogramétrico.

Por meio de uma folha solta, quase perdida em meio a outros documentos no DPH, pode-se comprovar que provavelmente pelo menos outra empresa entrou na concorrência: trata-se de uma proposta da JUNKERS – FLUGZEUGWERKE A.G. de Dessau, Alemanha, provavelmente uma das licitantes, com orçamento no valor de US\$ 2,00 por hectare para mapas na escala de 1:5.000, com curvas de nível eqüidistantes em 5,00 m, 25 fotocartas e 5000 exemplares impressos. Não se encontrou o orçamento para folhas na escala 1:1.000, parte principal do trabalho, nem nenhuma outra proposta.

A licitação ou concorrência pública deve ter sido conduzida com rapidez, pois o contrato entre a SARA e a PMSP foi assinado em 14 de novembro de 1928. Esse contrato é um dos documentos mais significativos encontrados no DPH, pois permite reconstituir boa parte da história técnica do levantamento, como se verá.

4.5. PRAZOS, ADIAMENTOS E CRONOLOGIA

Quanto à cronologia, os documentos e o conhecimento das fases de um levantamento, permitem fixar algumas datas. O ano de 1928 pode ser considerado como o do início da aerofotogrametria sistemática e cadastral no Brasil, pela data da

assinatura do contrato e pela autorização de início, que é de 14 de dezembro de 1928; no entanto, os trabalhos devem ter-se iniciado em 1929.

Em março de 1929, segundo documentos do DPH, ainda estavam sendo fabricadas peças metálicas que serviriam para materializar os pontos da triangulação principal. Ou seja, ainda não havia sido iniciado o apoio de campo, trabalho demorado.

A data de entrada de outros equipamentos é outro marco que ajuda a fixar datas. Assim, uma carta da Alfândega de Santos notifica à Prefeitura o desembarque de uma bússola de aviação e dois aparelhos estereoscópios (sic), como parte da bagagem do sr. Umberto Nistri, passageiro do vapor italiano *Giulio Cesare*, entrado no porto a 25 de setembro de 1930. Além de conter a informação da vinda ao Brasil do diretor e fundador da SARA, esse documento atesta, pela entrada desses equipamentos, que os trabalhos de restituição ou parte deles seriam feitos no Brasil, a partir dessa data. Isso mostra que provavelmente parte do vôo já havia sido feita, mas não havia sido iniciada a demorada fase de restituição. Isso numa data muito próxima do vencimento: com a duração de 24 meses, contados a partir da autorização de início, o término do contrato estava previsto para 14 de dezembro de 1930. Da mesma forma, a presença do avião no Brasil em 1931 (foto da Figura 40) aponta para a existência de atrasos ainda maiores. Efetivamente, a SARA fez um requerimento (n. 50.495, de 7 de outubro de 1930), solicitando prazo adicional de 12 meses, que foi concedido da seguinte forma escalonada:

- a) Região central na escala 1:1.000: até 30 de abril de 1931;
- b) Zona urbana na escala 1:5.000: até 30 de junho de 1931;
- c) Serviço total (negativos, fotos, matrizes, etc.): até 31 de outubro de 1931.

Mas, em 18 de setembro de 1931, pouco tempo antes do vencimento completo do novo prazo (31 de outubro), o diretor geral da SARA BRASIL S/A solicitou através de carta ao prefeito, prorrogação de prazo para a entrega de todos os serviços de levantamento topográfico, até a data de 30 de junho de 1932. Entre as razões alegadas estavam:

- a) O fato do Instituto Geográfico de Agostini, encarregado da impressão das cartas, não comportar a confecção de mais de 15 a 20 folhas por dia, com a qualidade que se desejava.
- b) As dificuldades financeiras devido à crise mundial e o serviço ter sido empreitado sem adiantamento ou pagamento parcelado por parte da Prefeitura.
- c) O diretor menciona ainda a grande extensão da cidade e que, ao final dos trabalhos, São Paulo “seria a única a possuir uma planta topográfica completa e feita pelo mais moderno método da aerotopografia e devidamente revisada”.

A primeira das razões aponta para a conceituada empresa que, a partir dos traços do desenho original de cada folha elaborou a coleção de plantas coloridas. O provável método, de cromolitografia, com original de pedra calcária entintada e prensada exige cuidados para o bom ajuste das três cores e permite um número limitado de cópias com a mesma matriz entintada (cerca de 20). A segunda razão remete à crise de 29, ou seja, a quebra da bolsa de Nova Iorque com suas consequências em nível mundial; refere ainda que não houve adiantamento nem pagamento por trabalhos parciais entregues. De fato, sabe-se por outros documentos que as cartas foram sendo entregues aos poucos: há registro de chegada de malotes no porto de Santos, contendo esse material junto com pedidos de autorização de liberação na alfândega. A última observação reafirma o pioneirismo do levantamento e menciona o controle de qualidade, ainda que a extensão dos trabalhos era conhecida de antemão e não se constitui numa razão sólida.

O novo pedido foi aceito pelo prefeito Machado de Campos em 1 de outubro de 1931, com novo prazo para 30 de abril de 1932; menos tempo que o solicitado (30 de junho). Os trabalhos continuam e, prevendo não entregar em tempo, a 26 de abril, ocorre novo pedido de dilatação de prazos solicitando agora uma prorrogação até 31 de outubro desse mesmo ano. O novo prefeito, Henrique Jorge Guedes – por sinal professor de Geodésia na Escola Politécnica – não atendeu ao pedido: indeferido, foi a resposta. A partir daí a Prefeitura, com base na cláusula 26 no contrato, passou a aplicar uma multa diária de 200\$000 (duzentos contos de réis). Nesse ritmo, a caução de 30.000\$000, com juros, esgotou-se em pouco mais de 150

dias; a Prefeitura notificou a SARA desse fato em 15 de outubro de 1932 e ameaçou suspender o contrato. Com bastante atraso, a SARA entregou todo o pedido até o final de 1933 e a 3 de janeiro de 1934 o ato n. 559 da Prefeitura “aprova os mapas topográficos do Município da Capital nas escalas 1:1.000 e 1:5.000, executados pela SARA” e que custaram 1.350 contos aos cofres públicos, inclusive com a despesa de fiscalização e outras de transporte, implantação de marcos e despesas eventuais.

Além da magnitude do trabalho, da conjuntura mundial e da dificuldade de impressão dos mapas, sabe-se, por carta do engenheiro de fiscal, de 6 de dezembro de 1930, que a contratada temia a suspensão do contrato por conta do movimento revolucionário que começava a surgir no Brasil. Refere-se provavelmente à deposição de Washington Luis e à ditadura Vargas, que governava sem constituição e ameaçava represálias a São Paulo. Trabalhava assim em ritmo lento.

Outra questão intrigante refere-se aos motivos pelas quais a SARA aceitou um contrato em tais condições. Talvez para vencer as desconfianças das autoridades na potencialidade do novo método e na capacidade da empresa de entregar os trabalhos no prazo. A isso se pode agregar o fato de se tratar de um desafio técnico que aumentaria o prestígio e o currículo da empresa.

4.6. AS ESPECIFICAÇÕES E A TÉCNICA DO LEVANTAMENTO

Como ficou dito, entre os documentos do DPH está uma cópia do contrato de 14 de novembro de 1928 celebrado entre a Società Anonima di Rilevamenti Aerofotogrammetrici – SARA e a Prefeitura do Município de São Paulo, que está reproduzido no Anexo A. O contrato fixa tolerâncias admitidas e, sabendo ler nas entrelinhas, pode-se deduzir como foi feito o levantamento. Assim, a seguir passa-se a comentar essas especificações, esclarecendo o que se pode deduzir, também com apoio em outros documentos. Ficaram estabelecidas as seguintes especificações:

a) Triangulações-base: base de partida 1:100.000 do comprimento. Fechamento dos triângulos de 1ª ordem: erros de 20". Azimute: erro de 30". Base de verificação, erro de 1:8.000 do comprimento no fechamento da rede (cláusula 8).

Esse item, tendo em conta a tecnologia da época, indica que houve uma base de partida. Sabe-se, pela análise da folha n. 37 do mapeamento, comparada com o trabalho de Wendel (1926c), que foi aproveitada aquela que a Comissão Geográfica e Geológica (CGG) estabeleceu no Campo de Marte, em 1926. A seguir foram feitas triangulações com medição de ângulos em diversas séries, estabelecendo-se valores médios para cada ângulo e a seguir um ajuste de cada triângulo, cuja equação é estabelecida pela somatória dos ângulos, que deve ser igual a 180° . Pela magnitude do erro admissível ($20''$), não é necessário levar em conta o excesso esférico. A especificação em azimuth mostra que deveriam ser estabelecidos pontos de Laplace, isto é, lados em que se determinam astronomicamente os azimuths (isto já estava disponível na base de partida). Ao falar em triângulos de 1ª ordem fica implícito que essa rede foi densificada com outra de 2ª ordem (hipótese confirmada pela cláusula 10). A especificação de uma Base de verificação e seu erro mostra que uma equação final é introduzida, a do cálculo da base de chegada, cuja diferença para o valor medido deve ficar dentro da especificação. Em resumo, trata-se de uma rede geodésica clássica. As coordenadas dos vértices das triangulações e seu complemento através de poligonais constituem o apoio de campo que serve para ajustar as fotografias aéreas, corrigindo as diversas distorções que ocorrem devido à orientação das fotos no espaço no momento da tomada das fotos aéreas. Vale lembrar que na época não tinham sido introduzidos os conceitos de aerotriangulação e portanto era necessário levantar pelos menos 3 pontos de campo em cada modelo ou par fotogramétrico, no caso do método Nistri 4. Em muitas cartas consegue-se identificar, por seu símbolo e número, esses pontos de poligonais.

Deve-se fazer notar também que a precisão da base de chegada deixa a desejar e que isso, aliado à tolerância dos triângulos, pode implicar em erros ao longo da rede, que se refletem diretamente no mapeamento.

b) Na triangulação principal todos os vértices serão ocupados e nenhum ângulo será inferior a 25° . A triangulação de 2ª ordem será formada por triângulos diretamente apoiados na principal e seus vértices poderão ser determinados por interpolação de duas ou mais visadas, ou estação de três visadas (Pothénor). Os vértices da

triangulação principal serão assinalados no terreno por meio de marcos adequados, quando não forem constituídos de edifícios ou referenciais imutáveis (cláusula 10).

A especificação de ângulo mínimo superior a 25° visa garantir a geometria da rede de primeira ordem. Confirma-se a existência de uma poligonal de 2ª ordem, de precisão inferior, que se deduz até pela maneira simplificada de determinação de suas coordenadas. O método de Pothot é clássico em topografia e consiste em determinar a posição desconhecida de uma estação através da visada a três outras de coordenadas conhecidas; pode apresentar problemas em função da geometria, quando os 4 pontos estiverem formando aproximadamente um círculo.

A materialização desses pontos, através de marcos adequados, fica comprovada por documentos do DPH: é de 14 de março desse ano o orçamento da Casa da Bóia (R. Florêncio de Abreu, 11) para a “confeção de 104 pilares de metal sextavado de ½” com 30 cm de altura e 10 de abertura para a introdução de cimento e com a ponta superior [a]bulada, ao preço de 10\$ (dez mil réis) cada pilar”; do mesmo dia é o orçamento das IRFM (Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo, Rua Direita, 11) para a elaboração de peças complementares: esta se prontifica a fornecer as “104 caixinhas de ferro fundido ... ao preço de 6\$000”. Essas peças seriam montadas e cimentadas; serviriam para materializar os pontos da triangulação principal e talvez, pela quantidade, também alguns da triangulação de 2ª ordem e das poligonais.

c) Poligonações: 1:1.000 do comprimento (cláusula 8).

Este item confirma que houve poligonais ligando vértices das triangulações para densificar o apoio de campo. O exame de algumas cartas mostra que os pontos de apoio encontram-se numa certa seqüência topológica (linear) que aponta mesmo para a implantação de poligonais (Figura 41).

Figura 41 - Sequencia linear de pontos de apoio.
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA – folha 50/20.

Esse valor de tolerância especificado é bastante pior do que aquele que pode ser conseguido em nossos dias, e ao que parece também naquela época, em levantamentos de precisão média (1:3.000). Assim, seria desejável uma especificação mais adequada, para não comprometer o produto. Por exemplo, numa poligonal de 2 km, um erro de 2 m seria tolerado por essa especificação, o que na escala 1:1.000 representa 2 mm, valor acima do especificado para o erro cartográfico de 0,5 mm, como foi determinado nessa mesma cláusula.

d) Nivelamento geométrico: $10 \text{ mm } \sqrt{k}$, sendo k a quantidade de quilômetros (cláusula 8).

Esse nível de exigência, com essa mesma fórmula, é compatível com os levantamentos atuais de média precisão e parece suficiente. Esse item corresponde ao fato de que, para ajustar o par fotogramétrico, é necessário contar com a cota dos pontos de referência. Para esse trabalho deve-se estabelecer um referencial altimétrico: um ponto básico ao qual referir todas as cotas do levantamento. Como se sabe, esse ponto foi uma RN da Comissão Geográfica e Geológica (CGG) situada no Parque D. Pedro, com cota 727,48m e que aparece na Folha 51/8. A Figura 42 dá uma visão mais abrangente da área e a Figura 47 uma mais detalhada. Essa Comissão prestou relevantes serviços à cartografia e à geodésia do Estado, entre eles o transporte de uma referência de nível a partir de um marégrafo de

Santos, incluindo a materialização de um marco de granito, que até hoje se encontra nos fundos do Museu Paulista; a SARA também estabeleceu uma outra referência nos fundos do Museu e assim, o mais provável é que tenha transportado a cota desse marco em granito para o seu e por consequência aproveitou os dados de toda a rede da CGG. Esse marco da SARA não mais existe, a menos que se trate de um degrau ao pé escada, sem materialização, conforme visita in loco.

Figura 42 - Folha 51/3, na escala 1:1.000 na qual estão representadas a origem das coordenadas planas ($x=0,00$; $y=0,00$) e a referência de nível ($z=727,48$; RN da CGG).
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA.

Nessa mesma planta da SARA pode-se ver a origem geral do sistema de coordenadas. É uma projeção em um plano topográfico local começando com coordenadas Y (crescente a partir de zero na direção norte) e X (idem na direção leste). Ocorrem, portanto, coordenadas negativas, coisa que seria evitada em nossos dias. Não se sabe se as distâncias foram reduzidas ao nível médio do mar ou se foram adotados os valores de campo, simplesmente reduzidos à horizontal.

Finalmente, o exame das cartas mostra a existência de curvas de nível e de muitos pontos cotados, o que indica que houve muitas linhas de nivelamento, para definir a cota dos pontos.

e) Restituição das chapas fotográficas: em terrenos planos 1 mm de distorção, em terrenos acidentados $1\text{ mm} + dh / (2fm)$, sendo d a diagonal da placa, h a diferença de nível, f o comprimento focal e m o denominador da escala (cláusula 8).

Essa especificação é interessante, pois indica que já se empregava a expressão Restituição para indicar o processo que leva as representações das feições da fotografia à carta e por decorrência, o termo Restituidor ao equipamento utilizado para isso. Essa expressão deriva-se do francês, como se pode comprovar por artigos da época (MACHADO, 1931). Em contraposição o termo estereoploter ou estereoplotter deriva do inglês e apareceu mais tarde, quando a influência das publicações americanas tornou-se hegemônica.

Fala-se também de placa (fotográfica). As entrevistas feitas com alguns fotogrametristas veteranos (Idoeta et al, 2004) informam que as tomadas aéreas foram obtidas com câmara Nistri, e os originais negativos eram compostos de uma emulsão sobre placas de cristal no formato *half plate* (13x18cm). Foram mais de 4.000 fotos. A superfície plana e a indeformabilidade desse tipo de placa eram vantagens, em contraposição à desvantagem caracterizada pelo peso e a dificuldade de trocar as placas ao fotografar grandes áreas. Os filmes fotográficos estavam começando a aparecer e a se tornar um concorrente para as placas.

A restituição foi executada com o Fotocartógrafo Nistri (Figura 43), fato confirmado também, como se viu acima, pelo fato do próprio Umberto Nistri ter acompanhado a vinda de dois desses equipamentos restituidores ao Brasil. Esse equipamento empregava dois projetores superpostos com eixos de projeção horizontal; o eixo traçador estava montado sobre um carro em forma de cruz, que se movia através de manivelas no plano de projeção; empregava também o método de iluminação intermitente para determinar a intersecção de raios homólogos. Construídos em Roma pela OMI, empregava-se para a confecção de mapas em série e só em escalas grandes: 1:2.000 e 1:1.000. Mais detalhes em Schwidesfsky (1960).

Com relação à altura de vôo sabe-se que na época costumava-se fixar 1.200, 2.000 e 3.000 m para as escalas de 1:1.000, 1:2.000 e 1:4.000, respectivamente. Mas através do trabalho técnico do fiscal de Roma (Machado, 1931) fica-se sabendo

que a altura de vôo foi 1.000m, que a distância focal da objetiva era 180 mm e que a escala do desenho foi 6 vezes maior que a das fotos. Realizando-se as contas com esses números chega-se à escala de vôo 1: 5.600 (aproximadamente) e que a ampliação deve ser, portanto, de 5,6 vezes.

Como dado complementar, sabe-se que a empresa ENFA (Empresa Nacional de Fotografias Aéreas) incorporou equipamentos remanescentes da SARA, no final da década de 30 e realizou uma série fotográfica para o IGG, sucessor da CGG, em 1939-40, cobrindo 270 municípios paulistas e privilegiando núcleos urbanos, fazendas, usinas hidrelétricas, rios, rodovias. Conservam-se em bom estado cerca de 1198 cópias em papel e 730 negativos em placa de vidro; as fotos foram Tomadas oblíquas de 45°, com as câmaras Nistri (IGC, 1993).

Figura 43 - Fotocartógrafo Nistri em vista oposta. Complementar à da Figura 19.
Fonte: < <http://web.tiscali.it/ctnume/Foto4.htm>>.

A tolerância especificada na cláusula que se está comentando assume um valor elevado: admite 1 mm (1 m na escala do mapa) de erro para terrenos planos e,

para terrenos acidentados, especifica um acréscimo que pode ser calculado pela fórmula fornecida ($1\text{ mm} + dh / (2fm)$). Por exemplo, para a diagonal da placa de 22,2 cm, focal de 18 cm, denominador da escala 5.600 e uma diferença de nível de 40 m, o cálculo resulta numa distorção de 5,4 mm, na foto. Pelos parâmetros que figuram nessa fórmula, parece que com a palavra distorção deseja-se expressar o deslocamento horizontal de um ponto, com relação à posição correta, em função do relevo e talvez do ângulo de tomada da foto na direção do vôo (ϕ). Essa distorção pode ser corrigida no processo de restituição para atingir-se a precisão ou erro cartográfico prescrito.

f) Erro cartográfico: 0,5mm (cláusula 8).

Não se detalha a que corresponde esse valor nem a fórmula de cálculo; talvez poderia ser o valor que se espera como erro médio em pontos tomados em uma carta. De qualquer modo, parece uma meta difícil de ser atingida, em função do que ficou comentado acima, principalmente o erro dos pontos de apoio levantados por poligonais.

Se esse valor correspondesse, por exemplo, a uma média tomada de 20 pontos em uma carta, estaríamos com a mesma exigência do mapeamento da melhor classe (A) do padrão IBGE (PEC) para os dias de hoje. Nesse caso, só 10% dos pontos medidos no terreno poderiam apresentar discrepância maior que a especificada (0,5mm) com relação às coordenadas obtidas no processo de restituição.

O problema do erro final esperado em função dos erros parciais estimados pelas especificações mereceria um estudo à parte, que foge ao escopo do presente trabalho. No entanto, será feito um controle de qualidade de acordo com a metodologia atual e será apresentado mais adiante o controle de qualidade do produto feito na época: o engenheiro de fiscalização anuncia em uma carta ao prefeito que iria apresentar em um Congresso internacional um trabalho sobre os erros encontrados no mapeamento; e de fato o fez no III Congresso Internacional de Fotogrametria, reproduzido no ANEXO B (Machado, 1931).

g) Visadas máximas (cláusula 12).

A cláusula 12 estipula as visadas máximas: para a triangulação principal de 5 km em áreas urbanas e de 8 km em áreas rurais; para o nivelamento geométrico 100 m e para o levantamento taqueométrico 150 m.

Essas especificações, principalmente as duas últimas, poderiam ter sido mais exigentes. A boa prática costuma fixar o limite de 50 m, mesmo porque fica difícil a leitura dos milímetros da mira acima dessa distância. Com essas especificações o erro provável situa-se acima do centímetro para o nivelamento e acima do metro para distâncias.

4.7. A CONTRIBUIÇÃO DA CGG E DE AGENOR MACHADO

Como se sabe, a cartografia científica sistemática no Brasil começou com os trabalhos da CGG e os protótipos de Teodoro Sampaio, nos idos de 1886 (CINTRA, 2001). Baseado em modelos americanos, adaptado à nossa realidade, o mapeamento destaca-se por sua qualidade e acabamento cartográfico, com o uso de cores. A CGG detinha também larga experiência no estabelecimento de redes de triangulação no Estado e na Capital. Esses conhecimentos foram utilizados no mapeamento em estudo, através do geodesta Agenor Machado. Este pertencia aos quadros da CGG e, mediante solicitação Diretoria de Obras e ofício do Sr. Prefeito, foi designado para trabalhar nos serviços de levantamento da planta do município da Capital (conforme documento do DPH); sabe-se que foi colocado à disposição da Prefeitura em 14 de março de 1929, com os vencimentos pagos por esta. São desse mesmo dia os documentos orçando peças para os marcos: “De acordo com as explicações verbais do Sr. Agenor Machado ...” ou “De acordo com entendimento com o Sr. Agenor Machado ... podemos fornecer-lhes (peças) iguais às fornecidas para a CGG”.

Sabe-se, por estar impresso em todas as cartas que, juntamente com Georges Corbisier e Silvio Cabral Noronha, ele foi fiscalizador dos trabalhos. Entre os documentos do DPH encontram-se inúmeros relatórios, mais de 26, para o Prefeito, a maioria enviada de Roma, dando conta de sua missão e do andamento

dos trabalhos do mapeamento; geralmente em papel timbrado com o logotipo de “Engenheiro Fiscal”. Por exemplo, a correspondência de 6 de dezembro de 1930, o engenheiro confirma, por tudo o que viu, que este mapeamento é o primeiro do mundo com características cadastrais na escala 1:1.000. Afirma também que teve atuação decisiva na escolha do estabelecimento Litográfico que realizou a impressão: o *Istituto Geografico De Agostini*, de Novara, Itália, que até hoje tem prestígio na área de Geografia e Cartografia (Atlas e Anuário estatístico mundial). Opinou ainda na definição dos elementos do desenho, isto é, a natureza dos traços, tipos de letras, sinais de convenção, disposição de títulos, dimensão das folhas, etc. O engenheiro fiscal continua informando que a SARA, com medo de suspensão do contrato por conta do movimento revolucionário que começava a surgir no Brasil, atrasou os trabalhos.

Em meio aos atrasos, o engenheiro concordou (em 18 de junho de 1931) com um pedido da SARA para a revisão das folhas antes do envio para São Paulo, coisa que a empresa, e em concreto o Sr. Nistri, considerou como uma concordância tácita para a dilatação dos prazos. Em relatório ao Prefeito, Machado esclarece que “Houve aqui um engano do diretor da SARA. A tarefa de fiscais, a rigor nada tem a ver com prazos de entrega, sendo as suas funções puramente técnicas”, frase sublinhada em vermelho, no original. Documenta-se também o momento crítico para ele próprio (31 de dezembro de 1931) em que se comunica que ficou esgotada a autorização para o custeio das despesas do engenheiro Agenor Machado de RS 1:000\$000, autorizada pelo Prefeito Pires do Rio, para a fiscalização na Itália.

Do exame das plantas da SARA, nas diversas escalas, em comparação com documentação da CGG (Wendel, 1926b), conclui-se também que a SARA serviu-se de diversos trabalhos da CGG realizados entre 1921 e 1926: a base geodésica da Capital medida no Campo de Marte (**Figura 44** e **Figura 45**), diversos pontos da triangulação de primeira ordem (A, B, Jaraguá, Ipiranga, Itaquera? e Araçá?)² que podem ser vistos na **Figura 46**, bem como de pontos da rede altimétrica.

² Estes marcos e vértices, são objeto de estudo mais detalhado neste trabalho os quais são apresentados em tópico próprio.

Figura 44 - Base da Triangulação da CGG no Campo de Marte (1921-1926).
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA – folha 37.

Figura 45 – Marco “A” da Base Geodésica medida pela CGG no Campo de Marte.
Fonte: o autor.

Azevedo Netto (1960) dá a entender que a SARA trouxe nova referência de nível com origem em Santos, deixando dois marcos básicos; um nas proximidades do gasômetro (Figura 47), outro atrás do Museu do Ipiranga (Figura 48 e Figura 49). Ora, o do gasômetro é o vértice básico, que o próprio mapeamento da SARA reconhece como sendo da CGG e o que fica atrás do Museu, situava-se a menos de 10 m da RN da CGG (transportado do cais da Mortona em Santos); o mais provável e mais lógico para a SARA teria sido fazer uma amarração local, poupando o laborioso trabalho de trazer um nível de Santos, o que é reforçado pela cláusula 11^a, que estipula como referência os R.N. oficiais da Comissão Geográfica e Geológica, situadas no Ipiranga (o único remanescente), na Várzea do Carmo e no Campo de Marte.

Figura 46 - Sobreposição da triangulação da CGG sobre a triangulação da SARA.
Fonte: o autor.

Figura 47 - Origem das coordenadas e RN da CGG, nas proximidades da Rua do Gasômetro (Parque Dom Pedro).
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA – folhas 51/8 e 51/9.

Figura 48 - Vértice e RN da SARA, no Museu do Ipiranga.
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA – folha 66.

Figura 49 - RN da CGG, localizado atrás do Museu do Ipiranga.
Fonte: CINTRA, J. P.

Finalmente, vale lembrar o esforço de Agenor Machado por acompanhar a qualidade do mapeamento e por divulgar o trabalho. Nesse sentido, pesquisou-se a informação de que participaria, com passagens e despesas por sua conta, do Congresso Internacional de Fotogrametria, a realizar-se em setembro de 1930 em Zurich, versando sobre os erros encontrados na primeira carta produzida. De fato, tratou-se do III Congresso da International Society for Photogrammetry (ISP), hoje ISPRS. Em correspondência com essa organização obteve-se cópia do referido

trabalho; escrito em francês, trata-se de um report de 3 páginas, com o título “*Le levé aérophotogrammétrique de S. Paulo et ses premiers résultats techniques*”, dentro da Comissão n. 3: “Medidas estereoscópicas de vistas aéreas / Autógrafos”. É o primeiro artigo de um brasileiro nos anais dessa prestigiosa revista (Machado, 1931). O índice dos trabalhos mostra conhecidos pioneiros dessa ciência: Pulfrich, Finsterwalder, Wild, Gruber, Eggert, Hugershof, Nistri, Cassinis e outros. A afirmação clara do pioneirismo do trabalho de São Paulo, na exposição oral e nos anais, não foi contestada. Tanto índice como o artigo encontram-se no ANEXO B.

4.8. OS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS E SUAS ESPECIFICAÇÕES

A Figura 50 mostra o “Mapa índice das folhas do levantamento aéreo (SARA)” preparado pela Prefeitura em 1937. As folhas na escala 1:5.000 estão numeradas de 1 a 82 e, como se vê, há muitas folhas conjuntas com numeração compostas: 1-2; 3-4-5 e outras.

Figura 50 - Folha índice do mapeamento da SARA.
Fonte: Prefeitura de São Paulo.

Tabela 4.1 - Cálculo da área total mapeada nas duas escalas.

Escala	Dimensões (m)	Área (ha)	N ° de cartas	Área total (km²)
1: 1.000	700x840	58,8	58	34,1
1: 5.000	3.500x4200	1470,0	82	1205

Esses números diferem ligeiramente dos números apresentados pelo engenheiro fiscal, que dá 36 km² e 920km². A última diferença explica-se pela frase constante no mapa índice, indicando que parte seria ou foi feito por levantamento terrestre, ou pelo fato de o limite do mapeamento coincidir com o limite de município; e as folhas que contornam estes limites possuem a área pertencente a município vizinho, em branco.

O contrato entre a SARA Brasil e a PMSP permite conhecer mais alguns dados, através das especificações dos produtos a serem entregues, como se comenta a seguir, continuando a numeração dos itens elencados anteriormente.

h) 25 fotocartas na escala 1:5.000 abrangendo todo o município, correspondendo a aproximadamente 93.000 ha, além dos respectivos originais (cláusula 13).

Esse item especifica os dados de uma das escalas, a de 1:5.000, útil para planejamento e estudos de conjunto. A especificação de Fotocartas corresponde a um produto adicional muito útil, que poderia ser constituído por mosaico (semi-controlado, talvez) das fotos na escala 1:1.000 ou obtidas por outro conjunto de fotos, tiradas de uma altura maior.

Um fotograma de 13x18cm em 1:5.000 resulta em 58,5 ha; poderia ser um original em tamanho maior. Em todo caso, só 25 fotocartas não cobrem todo o município que teria 930 km², mas só 14,6 km². Poderia entender-se que são 25 cópias de fotocartas cobrindo todo o município.

i) 5.000 exemplares impressos (além dos originais) na escala 1:5.000, com curvas de nível equidistantes em 5 m (cláusula 13).

Essa cláusula aponta aproximadamente para a demanda esperada. O intervalo das curvas de nível é o normal para essa escala.

j) 6 cópias do mapa topográfico referido na alínea acima, em tela de linha transparente, próprio para reprodução de cópia em papel ferro prussiato ou similar (cláusula 13).

Essa especificação indica uma parte do provável processo através do qual os mapas foram reproduzidos: a partir dos negativos, geravam-se os (dia)positivos, ampliando o que fosse necessário para que estes estivessem na escala aproximada de 1:1.000; com um par deles referentes a uma mesma região, levado ao restituidor, gera-se o desenho completo da área, com todas as feições de interesse; compondo-se diversos desenhos gera-se o conteúdo de uma folha segundo a articulação cartográfica. A partir daí começa o processo de impressão a cores, em uma casa especializada, no caso a De Agostini, de Novara. Esse processo pode seguir diversos caminhos, devendo-se gerar uma matriz para cada uma das cores, o que pode ser feito através de litografia / tela de linha transparente.

Conservando essa matriz, uma vez esgotados os 5.000 exemplares, a Prefeitura poderia fazer mais cópias; cada uma das matrizes teria a capacidade de produzir um determinado número de cópias em papel ferro prussiato ou similar. Os 6 originais garantiriam uma nova produção de mapas, quando necessário.

k) 10 fotocartas na escala 1:1.000 (cláusula 13).

Nessa cláusula pode-se entender-se que se trata de 10 exemplares de fotocartas cobrindo toda a região mapeada na escala 1:1.000.

l) 1.000 exemplares impressos (além dos originais) na escala 1:1000, com curvas de nível eqüidistantes em 1 m

Também aqui deve ser feita a mesma observação feita anteriormente quanto à demanda prevista. É interessante notar que se previa um uso menos intenso de mapas nessa escala (1.000 exemplares) do que na escala 1:5.000 (5.000 exemplares). Através de carta da SARA de 14 de setembro de 1931, pedindo a confirmação de recebimento de remessas, fica-se sabendo que foram feitos 3.000 exemplares, e não mil, para cartas nessa escala, por exemplo, as de número: 51/5, 51/9 e mais 14 outras. Provavelmente houve um acerto para o aumento do número de exemplares, para toda essa escala.

m) 6 cópias do mapa topográfico referido na alínea acima, em tela de linha transparente, próprio para reprodução de cópia em papel ferro prussiato ou similar (cláusula 13).

É uma cláusula semelhante à indicada na alínea j).

n) Outras especificações

Na cláusula 16, estipula-se o tamanho das folhas em 0,90 x 0,70 m. Na cláusula 18 enfatiza-se que os mapas terão 3 cores, sendo que estas e as convenções seguirão um mapa modelo que será fornecido pela prefeitura. Poderia ter sido, por exemplo, a Planta da Cidade de São Paulo, levantada e organizada pela 7ª Secção da Diretoria de Obras e Viação da Prefeitura Municipal quando Prefeito o Sr. Dr. José Pires do Rio e Diretor de Obras o Engº. Arthur Saboya, na escala 1:5.000 e elaborada em 1929 (Figura 52).

Fica também determinado pela cláusula 22 que todos os negativos fotográficos originais, folhas de campo, cadernetas, matrizes litográficas; depois de concluídos e calculados os trabalhos, deveriam ser entregues à PMSP.

O tamanho da folha, além de obedecer a um critério de manuseio, determina a articulação do mapeamento. De fato, a área desenhada possui 0,70 x 0,84 m, devendo-se somar 1,5 cm em cada borda para delimitar as margens internas do desenho, à direita e à esquerda. Acima de cada folha foi desenhado ainda o título e demais informações e abaixo da mesma figuram as convenções, de tal forma que se deve somar 11 cm acima e 8 abaixo para obter o total da folha nessa direção.

O uso das 3 cores (marrom, preto e azul), o modelo da Prefeitura (que tinha bons mapas), a experiência do engenheiro fiscal e a inegável capacidade técnica da empresa gravadora contribuíram para a beleza artística do produto cartográfico, tendo em conta que foram empregados ainda outros recursos de variáveis visuais: diversas tonalidades, hachuras, intensidade, tracejado, tipos de letras e outros.

Figura 52 - Planta da Cidade de São Paulo, folha nº 1, possível modelo do mapeamento SARA.
Fonte: PMSP (1929).

4.9. ANÁLISE CARTOGRÁFICA DO MAPEAMENTO

Para o presente trabalho foi adquirida, junto à FAU-USP, uma cópia digital de todo o mapeamento: 58 arquivos correspondentes às cartas na escala 1:1.000, 68 arquivos correspondentes às cartas na escala 1:5.000 e 4 arquivos que correspondem as plantas na escala 1:20.000, mais um mapa geral de articulação elaborado pela PMSP.

Uma análise das folhas 1:1.000 e 1:5.000 permite complementar as informações vistas até o momento. As folhas 1:1.000 recebem uma denominação composta: o número da folha 1:5.000, mais uma barra e a numeração dentro dessa folha, de 1 a 25, conforme o esquema da Figura 51. Por exemplo, a folha que contém as coordenadas 0,0 tem por número 51/8, que é colocada no canto superior direito, fora das margens, em posição simétrica ao texto que indica a escala. No centro das 4 margens também se indica a folha vizinha, para facilitar a localização e junção em trabalhos que utilizam mais de uma carta. Não existe escala gráfica, mas esta pode ser facilmente calculada através da quadrícula, graduada em x e y; o que permite avaliar ampliações ou reduções; por exemplo, nas cartas com que se trabalhou, a distância de 100 m corresponde a 96 mm em x e 95 em y, aproximadamente, indicando reduções diferentes.

Como se pode ver na Figura 53, o título no cabeçalho está em letras maiúsculas, em cor preta, com filete branco e sombreado perspectivo em marrom (sépia). Também centralizado em maiúsculas está a frase Parte principal da cidade, que não consta no mapeamento 1:5.000. A seguir a indicação da empresa que o executou, o método (Nistri), o número do contrato de 1928, o nome do prefeito (Pires do Rio) e do diretor de obras (Arthur Saboya). Centralizado e como pano de fundo está o escudo da cidade, com o conhecido lema latino *Non ducor duco*. Em todas elas consta a data de 1930, correspondente à entrega da primeira planta, ainda que, como se viu, o trabalho completo foi entregue em 1933; isso para não ter que mudar essa parte fixa. Em duas cartelas simétricas acima do desenho constam: na da esquerda, os engenheiros fiscais e na da direita um texto que informa da publicação pela prefeitura, com espaço para carimbar o ato de aprovação e a data, como se

Figura 55 - Convenções da folha 50-8 na escala 1:1000.

Fonte: mapeamento SARA.

O que não está totalmente explícito nas convenções, são os tipos de vértices utilizados. No quadro aparece um triângulo com um ponto no centro como vértice e um círculo com um ponto no centro como RN, mas existem outros tipos de marcos representados nas cartas. A Figura 56 mostra um quadrado com um ponto no centro, que representa vértices de bases medidas linearmente; um triângulo com um ponto no centro: vértices da triangulação; um triângulo sem o ponto central: pontos de apoio, na sua maioria na cumeeira de telhados de edificações e por último um círculo com um ponto no centro representando as RRNN.

Figura 56 - Tipos de Marcos representados nas cartas da SARA.

Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA.

A cor base, de fundo, é um creme claro (que poderia ser a cor do papel). Em preto estão desenhados os nomes de logradouros, malha de coordenadas, graduação da quadrícula, o limite dos lotes (e em consequência o alinhamento das edificações no centro velho, já que não existe recuo), o meio fio (calçada, em estilo tracejado), vértices, RN's e, variando o estilo das linhas, em diversos símbolos para feições lineares: bonde, tramway, linha de força, etc (ANEXO H).

A cor marrom, em diversos tons é utilizada para o preenchimento dos lotes (tom claro), respeitando pátios internos, edifícios públicos (tom escuro, indicando o nome de cada um), para as curvas de nível e pontos cotados. O azul (em tom levemente esverdeado) é usado para fontes, espelhos d'água e rios (estes com setas indicando o sentido da corrente).

Essa escala permite que o nome das ruas seja colocado dentro dos limites, sem que seja necessária uma ampliação de largura, mesmo quando se tem que representar as linhas de bonde. Em trechos curtos, nas proximidades das bordas, utilizou-se o engenhoso artifício de colocar o início ou fim do nome fora do desenho, em letra menor. Para alguns casos contados utilizou-se o recurso do formato itálico.

O mapeamento na escala 1:5.000 segue o mesmo padrão, com pequenas adaptações: na legenda, na declaração da escala, na omissão da expressão parte principal da cidade, no tamanho das letras (diminuição) e na disposição do nome das ruas, cuja colocação ficou mais apertada e teve que sobrepor o interior das quadras em alguns casos.

A análise dessas plantas é uma preciosa fonte para os historiadores da cidade, e a detecção de mudanças é um jogo interessante. A comparação com mapas atuais permite ver também que aos poucos foram-se introduzindo simplificações nos nomes que na planta da SARA são mais completos; por exemplo, Parque D. Pedro II, Praça do Patriarca José Bonifácio e diversas outras.

4.10. O PREÇO DE VENDA DAS FOLHAS E OUTROS VALORES MONETÁRIOS

O mesmo ato municipal que aprova os mapas nas duas escalas básicas estabelece o preço de venda das folhas. A comercialização ficou a cargo da Diretoria de Obras e Viação, que podia fazer a venda diretamente ou por meio de estabelecimentos autorizados. Previa-se desconto para repartições públicas estaduais e federais, bem como para escolas oficiais do município. Independentemente da escala, os preços obedeciam aos valores da Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Preço de venda das folhas do mapeamento, escalas 1:1.000 e 1:5.000.

Exemplares	Preço por exemplar	Idem, em Reais (*)
Até 10	8\$000	16,49
De 10 a 20	7\$500	15,46
De 20 a 30	7\$000	14,43

Exemplares	Preço por exemplar	Idem, em Reais (*)
De 30 a 40	6\$500	13,40
De 40 a 50	6\$000	12,37
De 50 a 58	5\$500	11,34
Mais de 58	5\$000	10,31

(*) A atualização dos valores dessa Tabela foi feito através de ferramentas de atualização do Banco Central (2010) e da Receita Federal (2010).

Por meio desse documento fica-se sabendo da existência de um novo produto não previsto anteriormente: um mapa na escala 1:20.000, que seria vendido por 25\$000 cada exemplar (R\$ 51,53).

A Tabela 4.3 apresenta a atualização de outros valores de interesse que foram encontrados nas pesquisas. Uma análise comparativa com valores atuais desses produtos e serviços dá a impressão de que esses valores estão um pouco abaixo dos preços atuais, devendo-se multiplicar por um fator entre 1,0 e 2,0.

Tabela 4.3 - Atualização de outros valores.

	Item	Valor unitário	Em reais	Total
1	Manutenção do engenheiro fiscal	1.000.000	2.061,25	
2	Multa diária	200.000	412,25	
3	Caução	30.000.000	61.837, 50	
4	Pagamento/ha (1:1.000)	12.000	24,74	2.275.620
5	Idem (1:5.000)	50.000	103,06	371.025

As linhas 4 e 5 representam o valor que a Prefeitura deveria pagar à SARA (cláusula 23 do contrato), sendo que o valor unitário é por hectare levantado na respectiva escala. Assim, a soma dos valores da última coluna corresponde ao total a ser pago, tendo em conta a área efetivamente levantada (Tabela 4.1).

4.11. OS VÉRTICES DAS TRIANGULAÇÕES

Como descrito, o apoio do mapeamento começa com o estabelecimento de uma base: no caso foi aproveitada aquela já implantada pela CGG. Para conferir a medida de seu comprimento, foi feita a tentativa de localização dos marcos de suas extremidades. Pela folha 37 do mapeamento (Figura 44), percebe-se que a mesma encontrava-se na área do Campo de Marte. Acontece que de 1930 para os dias de hoje, a região sofreu uma série de intervenções, como a construção e reformas da pista de pouso e decolagens, construção de hangares e infraestrutura do aeroporto, retificação do leito do Rio Tietê, canalização de cursos d'água e construção de praças e avenidas, como pode ser visto na Figura 57.

Figura 57 - Base da Triangulação da CGG superposta a uma imagem atual.
Fonte: Adaptado do Google Earth.

O marco “A” da CGG, equivalente ao marco “1” da SARA, estaria localizado junto à cabeceira leste da pista. Em visita ao local encontrou-se um monumento, na forma de marco geodésico, com uma placa, na qual estão os dizeres: “COMMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLOGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – BASE DA CAPITAL 1921” (Figura 45). Acontece que este monumento não está na posição em que o coloca a folha 37 do mapeamento da SARA (Figura 61 a).

Figura 60 - Edificação sita à Rua Voluntários da Pátria com R. Força Pública.
Fonte: Google Street View.

Figura 61 - Localização do Marco "A" da base geodésica implantada pela GCC, equivalente ao Marco "1" da SARA.
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA – folha 37.

A distância entre estes dois pontos (o canto vivo das duas construções) é a mesma, tanto em 1930 como nos dias atuais, e sendo assim decidiu-se utilizá-los para a amarração do vértice “A”. Na Figura 61 (c) e Figura 61 (d), percebe-se que as distâncias entre a base da amarração e o vértice A não coincidem nas duas épocas, o que leva a crer que realmente o marco geodésico foi retirado de sua posição original sendo transportado para uma posição cerca de 30,00 metros da posição inicial, para fora da área do Campo de Marte; provavelmente por uma questão de segurança, já que pelo seu tamanho, por volta de 2,00 metros de altura, poderia causar algum acidente nos pousos ou decolagens.

A confirmação desta hipótese poderia vir através da localização da outra extremidade da base geodésica, já que o seu comprimento é conhecido. Para tanto calcularam-se as coordenadas UTM do vértice “B” pela sobreposição da folha 37 com a ortofoto, já que esta é georreferenciada.

O vértice “B” da CGG que correspondente ao “2” da SARA, estaria localizado em uma área de preservação ambiental com mata em regeneração, mas que também sofreu ações antrópicas, como a escavação de canais para drenar áreas alagadas (Figura 57). Para se chegar ao local, foi preciso uma permissão especial da INFRAERO, o que foi conseguido junto à superintendência do aeroporto e à gerência de operações, que disponibilizou um veículo e um agente de segurança para visita ao local.

Com um GPS de navegação e com as coordenadas UTM ter-se-ia um raio de procura por volta de 5,00 metros, que é a precisão nominal deste equipamento. Dentro deste raio de procura, foi encontrada uma touceira de capim entranhada com cipó, que após limpa revelou a existência do marco em questão (Figura 62).

Figura 62 - Localização do Marco "B" da base geodésica da CGG, equivalente ao Marco "2" da SARA.
Fonte: O autor.

Tendo em vista que a localização deste marco é a mesma tanto no mapa de 1930, quanto na ortofoto que retrata os dias atuais, pode-se concluir que o marco “A”, realmente foi tirado de sua posição original.

Neste sentido, são levantadas outras duas questões: Qual a real precisão do marco “B” e quais outros marcos poderiam ser encontrados? Para responder a estas perguntas, adotou-se outra metodologia: obter as coordenadas topográficas de todos os vértices, transformá-las para UTM em um determinado datum e inserir estes pontos em um programa SIG, utilizando como imagem de fundo o Google Earth.

As coordenadas topográficas foram obtidas após a correção e registro de todas as folhas da coleção, tanto as folhas na escala 1: 5.000 como as folhas em escala 1: 1.000. Os métodos para o registro e correção foram descritos no capítulo 3, item 3.3.2. Foram encontrados 841 pontos de controle nessas folhas, sendo os vértices 1 e 2 (folha 37) a base geodésica, origem das triangulações e os vértices 23 e 24 a base de fechamento (folhas 43 e 28-29-30). Do marco 1 ao 24, referem-se a vértices da triangulação de 1ª ordem, do 25 ao 88 vértices da triangulação de 2ª e 3ª ordem e os restantes, pontos de apoio, sendo a sua grande maioria a cumeeira do telhado de edificações.

Para a transformação de coordenadas topográficas para UTM é necessário o conhecimento prévio das coordenadas da origem do plano topográfico no datum ao qual se deseja esta transformação. A folha 51/8 mostra a localização do vértice que deu origem ao sistema, na região do Parque Dom Pedro II. Com a retificação do leito do Rio Tamanduateí e a construção da Avenida do Estado este marco foi destruído, impossibilitando a obtenção de suas coordenadas diretamente.

Para a obtenção indireta foi feito o com auxílio de um receptor GNSS de dupla frequência, pelo método rápido estático, o levantamento de 70 pontos existentes nas folhas 51/8 e 51/9 da SARA, que ainda permanecem intactos nos dias de hoje, sendo a sua grande maioria canto de edificações. Correlacionando-se as coordenadas destes pontos com suas respectivas coordenadas topográficas e através dos processos estatísticos descritos anteriormente, foram eliminados 6 pontos com erros grosseiros, restando assim 64 pontos que foram utilizados para o

cálculo dos parâmetros da transformação afim pelo MMQ; de onde se obtiveram as coordenadas UTM: N= 7.395.296,723 ($\pm 0,226$) e E= 333.698,226 ($\pm 0,226$) fuso 23 (45°W) e datum SAD-69, para a origem do Plano Topográfico.

Sendo assim o vértice 2 foi reocupado e foram obtidas as coordenadas via RTK/GNS: N= 7.399.140,150, E= 331.826,094 (SAD-36). Foi feita também uma ocupação estática de 30 minutos que resultou nas coordenadas: N= 7.399.140,121 ($\pm 0,005$) e E= 331.826,122 ($\pm 0,007$) com 95% de significância. As obtidas na planta da SARA folha 37 e escala 1: 5.000, portanto com erro esperado de grafitismo de 1,00m, são: X= -1.829,87 e Y= 3.867,25 que resultam em coordenadas UTM: N= 7.399.142,28 e E= 331.824,90. Comparando-as verificamos as diferenças $\Delta\text{N}= 2,16\text{m}$, $\Delta\text{E}= 1,22\text{m}$ e diferença total de 2,48m.

Figura 63 - Reocupação do Marco "B".
Fonte: O autor.

Dando prosseguimento à procura de outros marcos por ventura remanescentes, as coordenadas topográficas dos 841 vértices foram inseridas no programa GEOBASE, criado pela Base Aerofotogrametria e Projetos S.A. e transformadas em coordenadas UTM, ainda em SAD-69 fuso 23 (meridiano central 45°W), estas coordenadas neste datum foram utilizadas para a procura dos vértices ainda remanescentes. Através de uma rotina criada pelo autor, estas coordenadas foram convertidas para o datum WGS-84 e exportadas para um arquivo com extensão KML, para poderem ser lidas pelo programa Google Earth (Figura 64).

Figura 64 - Vértices da Triangulação da SARA desenhados sobre imagem atual georreferenciada.
Fonte: Adaptado do Google Earth

O Google Earth possui imagens de satélite georreferenciadas, sendo que as da figura são de 2008. Em vermelho estão os vértices de 1 a 24, em azul de 25 a 841 e em verde os vértices da triangulação da CGG. Aplicando-se a ferramenta de aproximação (zoom) foi possível analisar quais marcos poderiam ser encontrados, já que a maior parte foi implantada em locais que sofreram grande intervenção antrópica, como é o caso do vértice 3 mostrado na Figura 65, onde hoje existe uma construção.

Figura 65 - Localização do Vértice 3 da SARA.
Fonte: Mapeamento da SARA – folha 37 e Google Earth.

O vértice 4 da triangulação da SARA estaria localizado na torre da estação de trens Júlio Prestes, conforme Figura 66 e Figura 67. A estação começou a ser construída em 1926, mas foi inaugurada somente em 15/10/1938.

Figura 66 - Localização do Vértice 4 da SARA.

Fonte: Mapeamento da SARA – folha 37/22 e Google Earth.

Figura 67 - Torre da estação Júlio Prestes, onde estaria o Vértice 4.

Para subir nesta torre foi necessária uma autorização especial junto a Secretaria do Estado da Cultura e que foi obtida através da Sr^a Mara Silvia Ruzzo, Diretora do Departamento de Administração e sua secretária Dona Sirlene J. da S. Chagas. No alto da torre, em uma sacada logo abaixo da cúpula onde está fixado o mastro da bandeira do Estado de São Paulo, foi encontrada uma chapa de bronze, chumbada ao pé da porta que dá para a sacada (Figura 68). A sua posição é excêntrica, ou seja, não está no centro da torre como o mastro e sua bandeira, mas na folha 37/22 a SARA desenha a torre e dá a posição do vértice bem ao centro,

com coordenadas topográficas $X = -1.033,34$ e $Y = 1.092,57$. Como a carta está na escala 1: 1.000 e considerando-se um erro de grafismo de 0,2mm, o erro estimado destas coordenadas é de 0,20m.

Figura 68 - Vértice 4 da triangulação da SARA.
Fonte: o autor.

Após ocupação deste marco com um receptor de GNSS, obtiveram-se as coordenadas UTM: $N=7.3963.76,429$, $E= 332.651,817$ (SAD-69) e topográficas de $X = -1.034,26$ e $Y = 1.091,71$, que indicam uma excentricidade de 1,60m. Com o mesmo receptor foram coletados 3 pontos no terraço que forma circular, e calculando-se as coordenadas do seu centro, obtiveram-se as coordenadas $X = -1.032,95$ e $Y = 1.092,63$, que indicam uma diferença de 0,39m das coordenadas gráficas. Isso mostra que a torre foi utilizada como alvo em longas visadas e como ponto de coordenadas conhecidas, calculando-se a posição do ponto que visava a torre através do conhecido método de Pothenot. Mas quando se ocupa esse ponto da torre com o instrumento (teodolito) deveria ser levado em conta o afastamento do eixo, como se fazia nessa época e antes, resolvendo-se o problema através do método da estação excêntrica.

Para a procura de outros vértices foi utilizado um receptor GNSS Promark 500 com RTK/GNSS (NTRIP), que facilita a locação já que processa a correção relativa instantaneamente, com base em dados obtidos pela internet via telefonia celular; podendo fornecer uma precisão até milimétrica em tempo real. Foi feita assim uma “caça aos vértices” que, através do exame da posição na imagem atual (Figura 64), estariam em posições que sofreram menos a ação antrópica. Só foram encontrados outros 3 vértices, conforme se descreve a seguir.

O vértice 15 está em uma área de mata anexa ao Cemitério Horto Florestal, na região do bairro Tremembé. Também foi necessária autorização prévia junto à administração para adentrar na mata, onde o visitante encontra a companhia de bugios e tucanos (Figura 69). Inserindo as coordenadas UTM: N= 7.406.228,115 e E= 336.124,311 na coletora do receptor, sempre no datum SAD-69 e colocando a coletora no modo de locação, foi possível chegar bem próximo ao que se acreditava ser o local do marco. Entretanto estando em baixo da vegetação o receptor perdeu tanto o sinal dos satélites como da operadora de telefonia celular, lembrando que é necessário um mínimo de cinco satélites GPS em comum com a base, para este modelo, no modo NTRIP e sinal de da operadora de telefonia celular para a conexão com a internet.

Figura 69 - Animais na área de mata do vértice 15.
Fonte: o autor.

Sendo assim foram cravados dois piquetes de madeira em uma clareira próxima e feito o rastreo estático destes pontos (Figura 70). Com as coordenadas já transformadas em topográficas foi posicionada uma Estação Total em um dos piquetes de madeira e orientada através do outro. Locou-se então pelos métodos convencionais o vértice 15, o qual ficou muito próximo de uma pedra de mais ou menos 1,20m de altura que aflora do chão. E de fato, está previsto na cláusula 10 do contrato utilização de referências imutáveis já existentes, muito comuns àquela época (Figura 71).

Figura 70 - Área de mata - vértice 15.
Fonte: Adaptado do Google Earth.

Figura 71 - Vértice 15 da triangulação da SARA. Marco de pedra.
Fonte: o autor.

Na pedra não foi encontrado nenhuma chapa ou vestígio de fixação da mesma, mas por outro lado também mesmo com a utilização de sondas e detector de metais não foi encontrado nenhum indício de marco de concreto com alma ou placa metálica. Assumiu-se, portanto a pedra como materialização do vértice 15 e foi medido o ângulo e a distância para o mesmo, obtendo-se assim as coordenadas topográficas: $X= 2.551,37$; $Y= 10.905,00$ e UTM: $N= 7.406.227,957$ e $E= 336.125,342$, que resultam nas diferenças: $\Delta N= 0,16$; $\Delta E= 1,03$ e diferença total de 1,04m.

O vértice 35 de coordenadas topográficas: $X= -8.036,358$; $Y= 14.182,2775$ e UTM: $N= 7.409.384,7752$; $E= 325.502,9873$; também foi locado com o Promark 500 no modo RTK/GNSS. Está no topo de um morro na estrada José Lopes no bairro

Parque de Taipas. É uma área cercada e com vigilância, onde está instalada uma antena de retransmissão de rádio pertencente à SABESP; ao redor estão instaladas várias outras antenas de telefonia celular.

O ponto foi locado em uma grande pedra que aflora do chão e muito próximo a esta locação, está chumbada uma chapinha de bronze com os dizeres: *“PREFEITURA DE S. PAULO – MARCO DA PLANTA DA CIDADE – VA 183 – PROTEGIDO PELA LEI”* (Figura 72). Na chapa as coordenadas UTM obtidas por NTRIP foram: N= 7.409.387,059; E= 325.505,486 e pelo modo estático com 30 minutos de rasteio: N= 7.409.387,086 (0,001); E= 325.505,471 (0,001) com 95% de significância. As topográficas são: X= -8.033,85; Y= 14.184,56 e, que resultam nas diferenças: $\Delta N = 2,31\text{m}$; $\Delta E = 2,48\text{m}$ e diferença total de 3,40m.

Figura 72 - Vértice 35 da triangulação da SARA. Chapa de bronze chumbada na pedra.
Fonte: o autor.

O vértice 37 de coordenadas topográficas: X= -17.201,9567; Y= 10.009,881 e UTM: N= 7.405.109,5117; E= 316.386,277; também foi locado com o Promark 500 no modo RTK/GNSS. Está no topo de um morro que pode ser acessado a pé por um caminho no bairro Morro Doce. É uma área com vista privilegiada e muito utilizada para lazer.

O ponto foi locado ao lado de uma pedra que aflora do chão, mas sem a chapinha ou sinais de chumbamento da mesma. Talvez por ser feita de bronze e o local de grande circulação de pessoas, tenha sido arrancada. Não foi encontrado

mesmo com a utilização de sondas e detector de metais nenhum indício de marco de concreto. Assumiu-se, portanto a pedra como materialização do vértice 37 (Figura 73) onde as coordenadas UTM obtidas pelo modo estático com 30 minutos de rasteio foram N= 7.405.111,399 (0,001); E= 316.388,590 (0,001) com 95% de significância sendo as topográficas X= -17.199,62; Y= 10.011,74 e, que resultam nas diferenças: $\Delta N = 1,89\text{m}$; $\Delta E = 2,31\text{m}$ e diferença total de 2,98m.

Com base nestas informações foi possível montar as tabelas Tabela 4.4 e Tabela 4.5. A primeira mostra as coordenadas topográficas retiradas dos desenhos da SARA e as obtidas pelo receptor GNSS, pós-processadas e transformadas. A segunda mostra as coordenadas retiradas dos desenhos e transformadas em UTM e as obtidas em campo, além de suas respectivas diferenças por projeção e linear.

Figura 73 - Vértice 37 da triangulação da SARA. Marco de pedra.
Fonte: o autor.

Tabela 4.4 – Coordenadas Topográficas dos vértices encontrados.

Vértice	SARA		GNSS		diferenças		
	X	Y	N	E	ΔX	ΔY	linear
2	-1.829,87	3.867,25	-1.828,67	3.865,08	1,20	2,17	2,48
4	-1.033,34	1.092,57	-1.032,95	1.092,63	-0,39	-0,06	0,39
15	2.550,34	10.905,17	2.551,37	10.905,00	1,03	0,17	1,04
35	-8.036,36	14.182,28	-8.033,85	14.184,56	2,51	2,28	3,39
37	-17.201,96	10.009,88	-17.199,62	10.011,74	2,34	1,86	2,99

Fonte: o autor.

Tabela 4.5 - Coordenadas UTM dos vértices encontrados. Fuso 23 (45°W), datum SAD-69.

Vért.	SARA		GNSS		diferenças		
	X	Y	N	E	ΔN	ΔE	linear
2	7.399.142,282	331.824.899	7.399.140,121	331.826,122	2,16	1,22	2,48
4	7.396.377,293	332.652,723	7.396.377,360	332.653,114	-0,07	-0,39	0,40
15	7.406.228,115	336.124,311	7.406.227,957	336.125,342	0,16	1,03	1,04
35	7.409.384,775	325.502,987	7.409.387,086	325.505,471	2,31	2,48	3,39
37	7.405109,512	316.386,277	7.405.111,399	316.388,590	1,89	2,31	2,98

Fonte: o autor.

5. ANÁLISE DA PRECISÃO DO MAPEAMENTO DA SARA

5.1. ANÁLISE FEITA EM 1930 PELO ENG. AGENOR MACHADO

No III Congresso Internacional de Aerofotogrametria, realizado em setembro de 1930 na cidade de Zurique, Suíça; pela então “*International Society for Photogrammetry*” (ISP), hoje “*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*” (ISPRS) e organizado pelo Professor Gino Cassinis, da Escola de Engenharia da Universidade de Pisa; Agenor Machado apresentou os resultados obtidos na primeira folha do levantamento aerofotogramétrico de São Paulo (ANEXO B).

O estudo foi realizado para verificar se os erros estariam dentro do tolerável pelo contrato (ANEXO A), que permitia uma divergência de posição planimétrica de 0,50m. Deve-se destacar que de acordo com Machado (1930), esta era a primeira vez que se investigava o erro de um levantamento aerofotogramétrico na América do Sul.

Para tanto foram executados por operadores em São Paulo, na zona abrangida pela folha enviada, 924 medidas lineares distribuídas em 53 alinhamentos diversos e 24 determinações de cotas, com instrumentos comuns da época. As diferenças foram então divididas em faixas por Agenor Machado, com os seguintes resultados:

679	com um erro inferior a 0,50 m	73%;
147	com um erro entre 0,51 e 1,00 m	16%;
86	com um erro entre 1,01 e 1,50 m	9%;
6	com um erro entre 1,51 e 2,00 m	1%;
6	com um erro entre 2,01 e 2,70 m	1%;

Analisando estes dados, o engenheiro fiscal constatou que o processo garante em geral, erros inferiores a 0,50m, podendo estar sujeito a erros de até 1,50m e apontou que os erros superiores a 1,50m seriam erros grosseiros.

A Tabela 5.1 apresenta a média de erros em valores absolutos, em ordem crescente e expressos em metros nas 53 séries de alinhamentos.

Tabela 5.1 - Quadro com os 53 médios nos alinhamentos analisados.

0,11	0,26	0,43	0,53	0,65
0,12	0,29	0,45	0,53	0,68
0,16	0,31	0,45	0,54	0,69
0,16	0,31	0,46	0,54	0,71
0,17	0,32	0,47	0,58	0,71
0,18	0,33	0,48	0,59	0,83
0,18	0,34	0,48	0,61	0,86
0,21	0,34	0,48	0,61	0,88
0,22	0,35	0,51	0,63	1,06
0,23	0,38	0,51	0,63	
0,23	0,39	0,52	0,63	

Fonte: Machado (1930).

Ainda segundo Machado (1930), considerando-se todas as 924 medidas tem-se um erro médio de $\pm 0,53\text{m}$, mas excluindo-se as 12 observações com erro acima de 1,50m por entendê-los como erros grosseiros, o erro médio passaria a ser $\pm 0,48\text{m}$ e o resumo da verificação seria:

Planimetria:	Erro médio mínimo	$\pm 0,11\text{m}$
	Erro médio máximo	$\pm 1,06\text{m}$
	Erro médio de 924 medidas	$\pm 0,53\text{m}$
	Erro médio de 912 medidas	$\pm 0,48\text{m}$
Altimetria:	Erro médio de cota	$\pm 0,20\text{m}$

Estes erros serão comparados no próximo item com os obtidos no presente trabalho com o mesmo método e através de técnicas mais modernas de posicionamento, através da metodologia apresentada no capítulo 03 (item 3.5).

5.2. ANÁLISE DAS MEDIDAS DE ALINHAMENTOS

Aplicou-se o mesmo método utilizado por Agenor Machado nos alinhamentos da Rua do Gasômetro, planta 51/9, adjacente à planta estudada por esse engenheiro. Essa planta foi escolhida por contar com levantamento topográfico atual e detalhado do local, executado pela antiga EMURB (atual SPObras) através de Estação-Total; além de ser um local plano com desnível em torno de 1,00m (altitudes de 724,8 a 725,8) em um trecho de 1 km.

Para a coleta das medidas primeiramente efetuou-se a retificação da planta através da malha de coordenadas com o comando *rubbersheet* do AutoCAD Raster Design da Autodesk pelo método triangular. Com a imagem já corrigida, sobrepôs-se a ela o levantamento topográfico da EMURB, que está no formato vetorial (Figura 74). O alinhamento das guias está em amarelo, o alinhamento das edificações em azul e a sua numeração dentro dos lotes, em vermelho.

Figura 74 - Sobreposição do Levantamento Topográfico com o mapa SARA (Rua do Gasômetro).
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA.

A partir daí foram tomadas as medidas nos alinhamentos das quadras, tanto no mapa SARA como no levantamento atual sendo obtido um total de 65 medidas. As diferenças entre elas estão relacionadas em ordem crescente pelo seu valor absoluto na Tabela 5.2 e com arredondamento de 5 cm. Analisando-se os resultados obtidos, pode-se perceber que existem entres as 65 medidas, 11 com erro superior a 1,50 m. Com estes dados elaborou-se o resumo estatístico da Tabela 5.3 e o histograma da Figura 75.

Tabela 5.2 - Quadro com erros medidos nos alinhamentos da Rua do Gasômetro.

0.00	-0.20	0.40	0.60	0.70	1.20	-2.10
0.00	-0.30	0.45	-0.60	0.70	1.30	2.20
0.00	-0.30	-0.45	0.60	-0.70	-1.40	2.20
-0.10	-0.30	0.50	-0.60	0.80	-1.40	-2.20
0.10	-0.30	-0.50	-0.60	0.80	1.70	-2.50
-0.10	-0.30	-0.50	0.60	0.90	-1.70	
-0.10	0.30	-0.50	0.60	-1.10	-1.80	
0.20	0.40	0.50	-0.60	1.10	1.80	
-0.20	0.40	0.50	-0.60	1.10	1.80	
0.20	0.40	0.50	-0.65	1.20	2.00	

Fonte: O Autor.

Tabela 5.3 - Resumo estatístico das diferenças de medidas em alinhamentos – Rua do Gasômetro.

Média	0.09
Erro padrão	0.13
Mediana	0.10
Modo	-0.30
Desvio padrão	1.02
Variância da amostra	1.05
Curtose	0.28
Assimetria	-0.24
Intervalo	4.70
Mínimo	-2.50
Máximo	2.20
Soma	6.05
Contagem	65.00
Nível de confiança (95,0%)	0.25

Fonte: O Autor.

Como nenhuma destas medidas ultrapassou três vezes o desvio padrão, nenhuma foi descartada e todas foram utilizadas. Reamostradas em faixas apresentam os seguintes resultados:

30	têm um erro inferior a 0,50 m	46%;
16	têm um erro entre 0,51 e 1,00 m	25%;
8	têm um erro entre 1,01 e 1,50 m	12%;

- 6 têm um erro entre 1,51 e 2,00 m 9%;
- 5 têm um erro entre 2,01 e 2,70 m 8%;

Figura 75 - Histograma de Frequência das diferenças de medidas em alinhamentos – Rua do Gasômetro.

Fonte: o autor.

Pela Tabela 5.3 percebe-se que a média aproxima-se de zero (0,09m) o que significa que existe simetria e compensação de erros positivos com negativos. Aplicando-se o teste de tendência baseado na função distribuição normal unidimensional e para um nível de confiança de 90%, conforme equação 43, tem-se que $0,733448 < 1,644853$, ou seja, $|z| < 1,644853$; mostrando não haver tendência. Verifica-se ainda valores de curtose e assimetria abaixo de 0,50, indicando (segundo os parâmetros estatísticos) que a amostra possui uma distribuição que pode ser considerada normal, ainda que o desvio padrão seja relativamente alto frente ao esperado: 1,02 metro.

Para o teste de qualidade posicional Agenor Machado levou em consideração apenas a média dos valores absolutos o que impossibilita o cálculo do desvio padrão da amostra, e obteve o valor de 0,48m para a folha 51/8, no presente teste, a média dos valores absolutos é de 0,79m o que ultrapassa o limite de 0,50m do contrato.

Os resultados obtidos podem ter sido influenciados por pequenas mudanças nas divisas, já que desdobramentos e fusões de lotes provocariam erros bem maiores. Em todo caso, optou-se por uma nova área.

5.3. QUALIDADE POSICIONAL DO MAPEAMENTO DA SARA COMPARADA COM LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL

A nova área de estudo foi escolhida obedecendo aos critérios de pertencer ao levantamento da SARA na escala 1: 1.000; ter sofrido poucas alterações no decorrer dos anos e poder contar-se com um levantamento topográfico detalhado com precisão conhecida. Dentro desses parâmetros escolheu-se uma área com cerca de 1,00 km² ou 100 ha, que abrange os bairros de Campos Elíseos e Santa Ifigênia, região central da cidade e com relevo que vai de plano a suave ondulado, com parte em seis folhas do mapeamento 1:1.000 (vide Figura 76). Esses são bairros antigos que datam do final do século XIX e começo do século XX, nos quais, apesar de duas ou três avenidas terem passado por desapropriações para que houvesse alargamentos e duplicações, ainda se encontram inúmeras construções remanescentes da época do mapeamento da SARA. O controle de qualidade seguiu a metodologia proposta por Nero (2005).

O levantamento topográfico foi executado em 2010 pela ERBE Engenharia e Agrimensura Ltda, sendo calculado e desenhado em um sistema de coordenadas arbitrário. Sendo assim, para que se pudessem obter as coordenadas topográficas referenciadas à mesma origem do mapeamento da SARA, quatro dos vértices mais extremos da poligonal foram ocupados com um receptor GNSS de dupla frequência; pelo método relativo estático, sendo que o receptor base encontrava-se a menos de 1 km de qualquer ponto rastreado. A diferença de distância entre os pontos mais distantes, calculada pelas coordenadas no plano topográfico, obtidas por satélites e as obtidas pelo método convencional, foi de 0,309 m em uma distância de 1.227,344m; o que significa um erro no levantamento topográfico de aproximadamente 1 : 4.000; confirmando as precisões da poligonal.

Figura 76 - Sobreposição do levantamento topográfico da ERBE e o mapeamento da SARA.
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA e ERBE.

5.3.1. Determinação do tamanho da amostra

Para obter uma análise consistente da qualidade do mapeamento, é necessário, entre outras coisas, que os pontos de controle utilizados sejam exatamente os mesmos que aparecem nas folhas confeccionadas pela SARA. Tendo em vista que nem todas as divisas de lotes estão na mesma posição que estavam em 1930, por ter havido vários desdobros e redobros destes lotes, foi feita uma triagem e seleção dos pontos de controle que poderiam ser utilizados.

Para tanto, a tela do computador foi dividida ao meio, de um lado abriu-se o arquivo com a folha do mapeamento da SARA. E na outra metade da tela, com a utilização da ferramenta “Street View” do Google Maps. Dessa forma, foi feita uma vistoria por todas as ruas dos bairros abrangidos pelo levantamento topográfico, à procura de construções existentes em 1930 e ainda remanescentes. Quando se encontrava uma edificação com estilo arquitetônico predominante naquela época (clássico) analisava-se a morfologia da construção em planta, e comparava-se com a representação no mapa da SARA (Figura 77), para detectar identidade.

Figura 77 - Vista da tela dividida entre o mapa da SARA e o Google Maps Street View.
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA FOLHA 37/21 e Google Street View.

Dessa forma, foram encontradas 135 construções, sendo que alguns exemplos podem ser vistos na Figura 78. Estas edificações resultaram em 282 medidas de alinhamentos e 279 pontos de controle, para os quais foram coletadas suas medidas e suas coordenadas tanto nas folhas do mapeamento da SARA, quanto de seus pontos homólogos no levantamento topográfico executado por métodos convencionais.

Figura 78 - Exemplos de edificações existentes em 1930 e remanescentes nos dias atuais que serviram para extrair medidas e efetuar a análise da qualidade dos mapas.
Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA FOLHA 37/21 e Google Street View.

As 282 medidas coletadas em alinhamentos comprovadamente existentes em 1930 e o resultado do cálculo das discrepâncias entre as medidas obtidas pelo levantamento topográfico da ERBE e as obtidas no mapeamento da SARA estão listados na tabela do anexo C. A primeira coluna apresenta o número da medida

coletada, a segunda coluna o valor da medida no mapeamento da SARA, a terceira o valor da medida coletada no levantamento da ERBE e a quarta coluna apresenta a diferença calculada entre as duas medidas. A análise destas diferenças será apresentada no próximo item deste trabalho.

Os 279 pontos de controle obtidos em cantos de construção ou divisas de lotes comprovadamente existentes em 1930 e cálculo das discrepâncias entre as coordenadas tomadas no levantamento topográfico da ERBE e as obtidas no mapeamento da SARA estão listadas na tabela do anexo D. A primeira coluna apresenta o número do Ponto de Controle (PC), as segunda e terceira colunas as coordenadas topográficas X e Y do mapeamento da SARA, a quarta e quinta as coordenadas topográficas X e Y do levantamento da ERBE, a sexta coluna apresenta a diferença calculada entre as abscissas, a sétima a diferença entre as ordenadas. Na oitava e última coluna estão as discrepâncias horizontais, ou seja, a distância entre os pontos da SARA e da ERBE, calculada através da resultante das projeções parciais X e Y. A análise destas diferenças será apresentada no próximo item deste trabalho.

5.3.2. Avaliação do erro absoluto

A avaliação do erro absoluto é feita aplicando-se o método de análise das medidas dos alinhamentos já comentada em itens anteriores.

Assim, nas 282 medidas coletadas em alinhamentos, constantes na tabela do anexo C, foi aplicado o tratamento quanto aos erros grosseiros. Foram encontradas três discrepâncias superiores a 3σ , destacadas em vermelho na tabela, as quais foram consideradas como erros grosseiros e eliminadas. As 279 restantes foram utilizadas para as análises estatísticas constantes na Tabela 5.4 e o histograma da Figura 79.

Tabela 5.4 - Resumo Estatístico do erro absoluto.

Média	-0,06
Erro padrão	0,04

Mediana	-0,02
Modo	0,00
Desvio padrão	0,64
Variância da amostra	0,41
Curtose	0,28
Assimetria	-0,02
Intervalo	3,51
Mínimo	-1,79
Máximo	1,72
Soma	-16,89
Contagem	279
Nível de confiança (95.0%)	0,08

Fonte: O Autor.

Figura 79 - Histograma de Frequências do erro absoluto

Fonte: o autor.

Estas observações reamostradas em faixas apresentam os seguintes resultados:

180	têm um erro inferior a 0,50 m	64%;
69	têm um erro entre 0,51 e 1,00 m	25%;
22	têm um erro entre 1,01 e 1,50 m	8%;
8	têm um erro entre 1,51 e 2,00 m	3%;

Pela Tabela 5.4 percebe-se que a média (0,06 m) aproxima-se de zero, e para verificar se esse valor constitui um erro sistemático foi aplicando o teste de tendência baseado na função distribuição normal unidimensional e para um nível de confiança de 90%, conforme a equação 43. O resultado do cálculo para o parâmetro z foi, 1,5750, que nesse caso é menor que o valor limite do teste, 1,6449. Assim, como $|z| < 1,6449$ considera-se estatisticamente que; há tendência ou erro sistemático. Verifica-se ainda que os valores da curtose e da assimetria são, em módulo, menores que 0,5, o que indica que a distribuição pode ser considerada estatisticamente normal. Isso pode ser visualizado no histograma da Figura 79. O desvio padrão de 0,54 metro é ligeiramente superior ao estipulado por contrato (0,50 m). Levando-se em consideração apenas a média dos valores absolutos conforme a metodologia de Agenor Machado, a média fica em 0,48m, abaixo do limite contratual e igualando-se praticamente ao valor calculado por esse engenheiro em 1931 para outra folha, a de número 51/8.

5.3.3. Análise estatística e avaliação do erro sistemático e da precisão

A avaliação do erro sistemático ou teste de tendência foi aplicado separadamente para o eixo das abscissas (X) e ordenadas (Y). Após o tratamento dos erros grosseiros dos dados contidos na tabela do anexo D, foram encontradas duas discrepâncias maiores que 3σ , destacadas em vermelho na tabela e que foram retiradas utilizando-se assim os 277 pontos restantes para as análises estatísticas constantes na Tabela 5.5 e os histogramas das Figura 80 e Figura 81.

Tabela 5.5 - Resumo Estatístico das discrepâncias entre SARA x ERBE.

	<i>Coord. X</i>	<i>Coord. Y</i>	<i>Difer. Horizontal</i>
Média	-0,342	-0,045	0,958
Erro padrão	0,040	0,046	0,029
Mediana	-0,360	-0,050	0,914
Modo	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0,666	0,769	0,484
Variância da amostra	0,443	0,592	0,234
Curtose	-0,606	-0,447	-0,698

Assimetria	-0,105	-0,156	0,330
Intervalo	2,989	4,269	2,173
Mínimo	-1,895	-2,060	0,036
Máximo	1,094	2,209	2,209
Soma	-94,812	-12,387	265,268
Contagem	277	277	277
Nível de confiança (95.0%)	0,079	0,091	0,057

Fonte: O Autor.

Figura 80 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SARA x ERBE – abscissa X.
Fonte: o autor.

Figura 81 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SARA x ERBE – ordenada Y.
Fonte: o autor.

Pela Tabela 5.5 percebe-se que a média no eixo X (-0,342 m) é relativamente alta. Já a média no eixo Y (-0,045 m) aproxima-se de zero. Mas, para verificar se esses valores correspondem ou não a erros sistemáticos, aplicou-se o teste de tendência baseado na função distribuição normal unidimensional e para um nível de confiança de 90%, conforme equação 43. Para a coordenada X, obteve-se $z = 8,5582 > 1,6449$, comprovando que existe tendência e para o eixo y, $z = 0,9676 < 1,6449$, indicando não haver tendência para o eixo Y.

Verifica-se para ambas, valores de curtose e assimetria, assegurando a normalidade estatística da distribuição (Veja-se também o histograma das Figura 80 e Figura 81). Os desvios padrão de 0,67 e 0,77 metro para os eixos X e Y respectivamente, ultrapassam o erro máximo estipulado por contrato (0,50 m).

Conforme exposto no item 3.5.1.3 e pela equação 44, e seguindo-se o decreto nº 89.817 que estabelece as diferentes classes do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), para a planimetria, na coordenada X, tem-se:

a) Cálculo do limite crítico que não pode ser excedido (válido para as duas coordenadas):

$$X^2_{n-1,\alpha} = X^2_{276;0,1} = 306,474$$

b) Cálculo do valor de X, para a amostra nas diversas classes, na coordenada x:

$$\text{Classe A (EP=0,30): } X^2_{x,n-1} = 1358,788;$$

$$\text{Classe B (EP=0,50): } X^2_{x,n-1} = 489,164;$$

$$\text{Classe C (EP=0,60): } X^2_{x,n-1} = 339,697.$$

c) Idem, para a coordenada Y:

$$\text{Classe A (EP=0,30): } X^2_{y,n-1} = 1814,201;$$

$$\text{Classe B (EP=0,50): } X^2_{y,n-1} = 653,112;$$

$$\text{Classe C (EP=0,60): } X^2_{y,n-1} = 453,550.$$

Ou seja, nas duas coordenadas o valor do X^2 (X quadrado), de qualquer classe ultrapassa o valor limite.

Isso significa que a amostra não pode ser considerada como sendo de uma população (mapeamento) com o erro padrão obedecendo-se ao limite de 0,3; 0,5; ou 0,6 mm, para as classes A, B ou C, respectivamente. Quanto à porcentagem dos pontos testados reamostradas em faixas conforme o PEC (0,5; 0,8 e 1,0 m), apresentam os seguintes resultados:

Eixo X

139	têm um erro inferior a 0,50 m	50%;
195	têm um erro inferior a 0,80 m	70%;
227	têm um erro inferior a 1,00 m	82%;
250	têm um erro inferior a 1,22 m	90%;

Eixo Y

132	têm um erro inferior a 0,50 m	48%;
182	têm um erro inferior a 0,80 m	66%;
219	têm um erro inferior a 1,00 m	79%;
250	têm um erro inferior a 1,23 m	90%;

Sendo assim, esta área do mapeamento da SARA, quando comparada ao levantamento topográfico convencional, executado com Estação-Total; não estaria dentro dos padrões de precisão estabelecidos pelo decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, em outras palavras, não atende ao atual padrão de exatidão cartográfico (PEC) para nenhuma das classes.

Caso se queira calcular o Erro Padrão (EP) desse mapeamento poderia aplicar-se a fórmula de maneira inversa. Isto é, tomar o limite que corresponde a 90% dos pontos (isto é o PEC) e utilizar a fórmula $PEC = 1,6449 \cdot EP$, ou melhor, $EP = PEC / 1,6449 = 1,23 / 1,6449$, de onde resulta $EP = 0,75 \text{ m}$; valor que coincide com o desvio padrão calculado, o que era de se esperar já que a distribuição é normal.

5.4. QUALIDADE POSICIONAL DO MAPEAMENTO DA SMDU COMPARADA COM LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL

O Mapa Digital da Cidade (MDC), base cartográfica digital cadastral nas escalas 1:1.000, na área urbana, e 1:5.000, na área rural do Município de São Paulo, é o resultado de um levantamento aerofotogramétrico realizado no ano de 2004, com recursos do Programa de Modernização da Administração Tributária (PMAT), do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) e disponibilizadas para o público em geral, via rede mundial de computadores no portal da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU) a partir do final de 2011, começo de 2012. Estão disponíveis a base planialtimétrica nos formatos pdf e dxf, e o Modelo Digital do Terreno - MDT, no formato dxf. Esse mapeamento está articulado conforme o Sistema Cartográfico Metropolitano - SCM, em 3.926 folhas para que os usuários possam descarregar (fazer download).

Como esse mapeamento não estava disponível no começo desta dissertação (e não havia previsão de liberação), não havia a intenção de utilizá-lo nos testes comparativos, mas tendo em vista que isso ocorreu, foi incluída uma comparação com essa base.

Toda via, as informações sobre precisão ou classe deste mapeamento não estão disponíveis no portal da SMDU ou nos mapas disponibilizados. Sabia-se inclusive, informalmente, que alguns testes resultaram em classe B segundo o padrão IBGE. Portanto antes de ser considerado como mais acurado e utilizá-lo como fonte de referência, foi feita uma comparação entre o mapeamento da SMDU e o levantamento topográfico convencional executado pela ERBE.

Contudo, como o mapeamento da SMDU está planejado no sistema UTM e o levantamento da ERBE no plano topográfico, para compatibiliza-los foi feita através do programa GEObase, uma transformação das coordenadas topográficas para UTM, para que se pudesse realizar a sobreposição dos mapas (Figura 82) e a coleta de coordenadas de pontos homólogos (Anexo E).

Figura 82 - Sobreposição do levantamento topográfico e o mapeamento da SMDU.
Fonte: Adaptado do mapeamento da SMDU.

A análise de erros grosseiros (em cada coordenada) mostrou a ocorrência de seis valores com erro maior que 3σ , destacadas em vermelho na tabela. Estes resultados foram retirados e restaram 273 pontos para as análises estatísticas constantes na Tabela 5.7 e os histogramas das Figuras 80 e 81.

Tabela 5.6 - Resumo Estatístico das discrepâncias entre SMDU x ERBE.

	<i>Coord. X</i>	<i>Coord. Y</i>	<i>Difer. Horizontal</i>
Média	-0,048	-0,001	0,459
Erro padrão	0,023	0,022	0,016
Mediana	-0,014	0,008	0,411
Modo	0,000	0,153	#N/D
Desvio padrão	0,388	0,365	0,272
Variância da amostra	0,150	0,133	0,074
Curtose	0,665	-0,029	0,586
Assimetria	-0,211	-0,084	0,976
Intervalo	2,245	1,937	1,324
Mínimo	-1,148	-0,934	0,000
Máximo	1,097	1,003	1,324
Soma	-13,233	-0,262	125,419
Contagem	273	273	273
Nível de confiança (95.0%)	0,046	0,043	0,032

Fonte: O Autor.

Figura 83 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SMDU x ERBE – ordenada X.
Fonte: o autor.

Figura 84 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SMDU x ERBE – ordenada Y.
Fonte: o autor.

Pela Tabela 5.6 percebe-se que a média nos eixos Este (-0,048 m) e Norte (-0,001 m) aproximam-se de zero. Para verificar se isso representa algo sistemático e significativo estatisticamente, aplicou-se o teste de tendência baseado na função distribuição normal unidimensional e para um nível de confiança de 90%, conforme equação 43. Resultou $z = 2,0654 > 1,6449$ (maior que o limite), no eixo Este e $z = 0,0435 < 1,6449$, ou seja, $|z| < 1,6449$ (menor que o limite) no eixo Norte. Ou seja; apesar da média ser próxima de zero existe tendência no eixo Este e não há tendência para o eixo Norte.

Verifica-se valores aceitáveis de curtose e assimetria, também observáveis pelos histogramas das Figura 83 e **Figura 84**, indicando que a amostra possui uma distribuição normal.

Os desvios padrão de 0,39 e 0,36 m para os eixos Este e Norte respectivamente, ultrapassam o EP. Realizou-se então o teste de precisão, conforme exposto no item 3.5.1.3 e pela equação 44, e seguindo-se o decreto nº

89.817 que estabelece as diferentes classes do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), para a planimetria.

Para a coordenada Este, tem-se:

$$\chi^2_{n-1,\alpha} = \chi^2_{272;0,1} = 302,255$$

$$\text{Classe A (EP=0,30): } \chi^2_{X,n-1} = 454,441;$$

$$\text{Classe B (EP=0,50): } \chi^2_{X,n-1} = 163,599;$$

Para a coordenada Norte, tem-se:

$$\chi^2_{n-1,\alpha} = \chi^2_{276;0,1} = 302,255$$

$$\text{Classe A (EP=0,30): } \chi^2_{Y,n-1} = 401,866;$$

$$\text{Classe B (EP=0,50): } \chi^2_{Y,n-1} = 144,672;$$

Isso significa que a amostra não pode ser considerada como sendo de uma população (mapeamento) com o erro padrão obedecendo-se ao limite de 0,3 m; para a classe A, mas atende à classe B (0,50 m), confirmando o que já se sabia por informações não oficiais.

Quanto à porcentagem dos pontos testados amostradas em faixas conforme o PEC (0,5; 0,8 e 1,0 m), tem-se:

Eixo Este

230	têm um erro inferior a 0,50 m	84%;
255	têm um erro inferior a 0,80 m	93%;
265	têm um erro inferior a 1,00 m	97%;

Eixo Norte

233	têm um erro inferior a 0,50 m	85%;
263	têm um erro inferior a 0,80 m	96%;
272	têm um erro inferior a 1,00 m	99,6%;

Sendo assim, esta área do mapeamento da SMDU, quando comparada ao levantamento topográfico convencional, executado com Estação-Total; não atende a classe A estabelecida pelo decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 (PEC), sendo considerada classe B.

5.5. QUALIDADE POSICIONAL DO MAPEAMENTO DA SARA COMPARADA AO MAPEAMENTO DA SMDU

Existe um paradoxo na utilização do mapeamento da SMDU para a análise da qualidade posicional do mapeamento da SARA. Pois por uma questão conceitual, o mapa mais acurado que serve de padrão para a comparação, deve ser pelo menos três vezes mais preciso que o mapa a ser controlado (MERCHANT, 1982).

Levando-se em consideração os desvios padrão dos dois mapeamentos tem-se:

$$\frac{\sigma_{SARA}}{\sigma_{SMDU}}; \text{para } X = \frac{0,666m}{0,388m} = 1,716 \text{ e para } Y = \frac{0,869m}{0,365m} = 2,381$$

Mesmo sendo utilizadas as técnicas mais recentemente disponibilizadas para a aerofotogrametria digital, na região de estudo e tendo como base o levantamento topográfico convencional, o mapeamento da SMDU não atinge este grau de acurácia quando comparado com o mapeamento da SARA.

Apesar do exposto, a comparação entre os mapeamentos SARA e SMDU foi realizada a título de se verificar as suas divergências.

Os mapas da SARA, foram produzidos no plano topográfico, enquanto os da SMDU estão na projeção UTM, fuso 23 no datum SAD 69. Portanto, foi necessária a

transformação entre sistemas; o que se deu, calculando-se as coordenadas UTM dos pontos de intersecção das malhas de coordenadas das folhas do mapeamento da SARA. A partir daí, estas folhas foram registradas, pelo método triangular; tomando-se o cuidado de não utilizar as imagens já registradas anteriormente, e sim uma cópia das imagens originais; isto para evitar perda da qualidade por reamostragem sobre reamostragem dos pixels. O resultado pode ser visto na Figura 85.

Figura 85 - Sobreposição do mapeamento da SMDU ao da SARA.
Fonte: Adaptado dos mapeamentos da SARA e SMDU.

Os pontos de controle do mapeamento da SARA, já obtidos e no plano topográfico, foram transformados para o sistema UTM através do programa GEObase e inseridos neste novo desenho (Figura 86). Sendo assim estes pontos serviram também para verificar a qualidade da transformação aplicada às imagens.

Figura 86 - Pontos transformados do plano topográfico para o sistema UTM.
Fonte: Adaptado dos mapeamentos da SARA.

Em seguida, procedeu-se a correlação entre as coordenadas e o cálculo das discrepâncias, listados na tabela do anexo F.

Após o tratamento dos erros grosseiros nas discrepâncias, foi encontrada uma ocorrência maior que 3σ , destacado em vermelho na tabela. Este resultado foi retirado e utilizado os 278 pontos restantes para as análises estatísticas constantes na Tabela 5.7 e os histogramas das Figuras 80 e 81.

Tabela 5.7 - Resumo Estatístico das discrepâncias entre os mapeamentos da SARA x SMDU.

	Coord. X	Coord. Y	Difer.
			Horizontal
Média	-0,295	-0,060	0,999
Erro padrão	0,042	0,049	0,030
Mediana	-0,316	-0,118	0,958
Modo	-0,242	-0,037	#N/D
Desvio padrão	0,709	0,812	0,501
Variância da amostra	0,502	0,659	0,251
Curtose	-0,174	-0,212	-0,403
Assimetria	0,082	0,104	0,453
Intervalo	3,563	4,449	2,443
Mínimo	-2,021	-2,226	0,102
Máximo	1,542	2,223	2,546
Soma	-82,006	-16,732	277,745
Contagem	278	278	278
Nível de confiança (95.0%)	0,084	0,096	0,059

Fonte: O Autor.

Figura 87 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SARA x SMDU – abscissa X.
Fonte: o autor.

Figura 88 - Histograma de frequência das discrepâncias entre SARA x SMDU – ordenada Y.
Fonte: o autor.

Pela Tabela 5.7 percebe-se que a média no eixo Este é -0,295 m o que é relativamente alto e no eixo Norte é 0,060. Para analisar a existência de efeito sistemático, aplicando-se o teste de tendência baseado na função distribuição normal unidimensional e para um nível de confiança de 90%, conforme equação 43, resultando em $z = 6,9415 > 1,6449$ para o eixo Este e $z = 1,2359 < 1,6449$ para o eixo Norte; o que significa haver tendência no eixo Este e não haver tendência para o eixo Norte.

Verifica-se valores aceitáveis de curtose e assimetria, também comprovado pelos histogramas das Figura 87 e Figura 88, indicando que a amostra possui uma distribuição normal. Os desvios padrão de 0,71 e 0,81 m para os eixos Este e Norte respectivamente, ultrapassam o erro máximo estipulado por contrato (0,50 m).

Realizou-se então o teste de precisão, conforme exposto no item 3.5.1.3 e pela equação 44, e seguindo-se o decreto nº 89.817 que estabelece as diferentes classes do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), para a planimetria.

Para a coordenada Este, tem-se:

$$\chi^2_{n-1,\alpha} = \chi^2_{277;0,1} = 307,529$$

$$\text{Classe A (EP=0,30): } \chi^2_{x,n-1} = 1545,168;$$

$$\text{Classe B (EP=0,50): } \chi^2_{x,n-1} = 556,26;$$

$$\text{Classe C (EP=0,60): } \chi^2_{x,n-1} = 386,292.$$

Para a coordenada Norte, tem-se:

$$\chi^2_{n-1,\alpha} = \chi^2_{277;0,1} = 307,529$$

Classe A (EP=0,30): $\chi^2_{Y,n-1} = 2029,274$;

Classe B (EP=0,50): $\chi^2_{Y,n-1} = 730,539$;

Classe C (EP=0,60): $\chi^2_{Y,n-1} = 507,318$.

Isso significa que a amostra não pode ser considerada como sendo de uma população (mapeamento) com o erro padrão obedecendo-se ao limite de 0,3; 0,5; ou 0,6 mm, para as classes A, B ou C, respectivamente. Quanto à porcentagem dos pontos testados e reamostrados em faixas conforme o PEC (0,5; 0,8 e 1,0 m), apresentam os seguintes resultados:

Eixo X

134	têm um erro inferior a 0,50 m	48%;
191	têm um erro inferior a 0,80 m	69%;
227	têm um erro inferior a 1,00 m	82%;
250	têm um erro inferior a 1,19 m	90%;

Eixo Y

130	têm um erro inferior a 0,50 m	47%;
189	têm um erro inferior a 0,80 m	68%;
212	têm um erro inferior a 1,00 m	76%;
250	têm um erro inferior a 1,35 m	90%;

Sendo assim, esta área do mapeamento da SARA, quando comparada ao Mapa Digital da Cidade (MDC), disponibilizado pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU); não estaria dentro dos padrões de precisão estabelecidos pelo decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

Aplicando-se analogamente, mas de maneira inversa, a mesma instrução da referida norma para o cálculo do PEC (PEC=1,6449 EP) no mapeamento da SARA, tem-se para estas folhas: EP = PEC / 1,6449, ou seja, EP = 1,35 / 1,6449 = 0,82 m.

Apesar do mapa da SMDU, pelas razões apontadas, não servir como fonte mais acurada de informação, optou-se por fazer um teste altimétrico, já que o MDT da SMDU é a altimetria mais confiável de que se dispõe. Ou melhor, aproveitando o fato de a SMDU ter disponibilizado não só os arquivos planimétricos como também os altimétricos, realizou-se a análise da precisão altimétrica do mapeamento da SARA, já que o fornecimento dessa coordenada era um dos principais diferenciais do método Nistri que levou a Prefeitura a escolher a empresa italiana durante a licitação.

As folhas do mapeamento da SARA possuem além das curvas de nível, pontos cotados. Com as folhas desse mapeamento já georreferenciadas em UTM – SAD 69; foram coletadas as coordenadas destes pontos e atribuídas as cotas expressas nos desenhos. Concomitantemente foram utilizados os dados altimétricos da SMDU para elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Neste modelo foram inseridos os pontos cotados do mapeamento da SARA e calculadas cota e as diferenças. A sobreposição dos pontos cotados com o MDE pode ser vista na Figura 89 e as discrepâncias entre ambas estão listadas na tabela do anexo G.

Figura 89 - Sobreposição do MDE x SARA.
 Fonte: Adaptado dos mapeamentos SARA e SMDU.

Após o tratamento dos erros grosseiros foram encontrados dois pontos com a diferença maior que 3σ . Com uma análise mais detalhada foi possível perceber que as altitudes nestes pontos obtidas do MDE, estavam referidas ao Elevado Presidente Arthur da Costa e Silva, também conhecido como Minhocão; e não ao solo que no caso seria a Rua Amaral Gurgel (Figura 90). A altitude destes pontos foi recalculada por interpolação de outros três pontos adjacentes na superfície do terreno e reinseridos na tabela (pontos destacados em azul).

Figura 90 - Pontos com altitude referida ao viaduto.
 Fonte: Adaptado do mapeamento da SARA.

A partir dos dados da tabela constante no anexo G foram calculados os valores da média das diferenças, desvio padrão e demais parâmetros estatísticos, conforme Tabela 5.8 e o histograma da Figura 91.

Tabela 5.8 - Resumo Estatístico do erro altimétrico.

Média	0,286
Erro padrão	0,051
Mediana	0,259
Modo	0,650
Desvio padrão	0,537
Variância da amostra	0,289
Curtose	-0,077
Assimetria	-0,100
Intervalo	2,766
Mínimo	-1,260
Máximo	1,506
Soma	31,465
Contagem	110
Nível de confiança(95.0%)	0,102

Fonte: O Autor.

Figura 91- Histograma de Frequências do erro altimétrico.
Fonte: o autor.

Estas observações reamostradas em faixas apresentam os seguintes resultados:

- 47 têm um erro inferior a 1/2 da equidistância entre as curvas de nível (0,50m) 57%;
- 71 têm um erro inferior a 3/5 da equidistância entre as curvas de nível (0,60m) 64%;
- 86 têm um erro inferior a 3/4 da equidistância entre as curvas de nível (0,75m) 78%;
- 99 têm um erro inferior a 1,10m 90%;

Sendo assim, esta área do mapeamento da SARA, quando comparada ao Mapa Digital da Cidade (MDC), disponibilizado pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU); não estaria dentro dos padrões altimétricos de precisão estabelecidos pelo decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. No entanto, pelo fato do mapeamento da SMDU não ter apresentado bons resultados em planimetria, para a dúvida se estaria bom em altimetria e não se pode afirmar conclusivamente que o Mapa da SARA esteja ruim. Um teste confiável deve ser feito com pontos comprovadamente bons, por exemplo, as RN's do IBGE.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

As poucas informações existentes sobre a metodologia e os equipamentos utilizados, bem como uma avaliação isenta da qualidade dos produtos ilustram a injustiça à qual este mapeamento foi submetido durante tanto tempo. Apesar de ser internacionalmente reconhecido, em sua época, como pioneiro na escala 1: 1.000 e ter sido o único da capital paulista, nesta escala até o recente mapeamento disponibilizado em 2011, muito pouco se sabia sobre ele. O presente trabalho, esperamos, veio suprir essa lacuna.

Como resumo e conclusão, podem ser destacados alguns pontos.

Em decorrência da situação política internacional (crise de 29) e a situação vivida no país (ditadura Vargas e revolução constitucionalista de 32), a executante não conseguiu cumprir os prazos contratuais, sendo até penalizada com o pagamento de multas. Esse trabalhar sob pressão para a entrega das cartas pode ter colaborado para o aumento das imprecisões geométricas.

O estudo do estado da aerofotogrametria na época do levantamento permitiu constatar que se tratava de tempos pioneiros, com muitas condições adversas. No entanto, as dificuldades foram superadas, apesar do atraso, e o mapeamento foi produzido, legando um produto de excelente qualidade em muitos aspectos. Pelo contrato percebe-se que nessa época não havia confiança no processo fotogramétrico: no contrato, a empresa SARA não só não receberia nada pelas entregas parciais (mas só ao final), como, além disso, teve que depositar uma caução como penhor de que entregaria o produto com qualidade. Por outro lado, entende-se em parte a desconfiança ou receio da Prefeitura, em função de não existir até aquele momento, nenhum mapeamento extensivo de cidade nessa escala de detalhe (1:1.000), em nenhum país do mundo. Seria, como se diz na linguagem

coloquial, um “pagar para ver”. E o resultado foi mesmo um trabalho pioneiro, que abriu portas para outros.

As pesquisas, baseadas em fontes primárias, principalmente as encontradas no Departamento do Patrimônio Histórico da Secretaria Municipal da Cultural (duas caixas de arquivo denominadas SARA), permitiram resgatar uma história que parecia perdida e, portanto, não havia sido recolhida em livros, mesmo os brasileiros, em seus capítulos de história da aerofotogrametria, como se apontou.

A análise do contrato permitiu orientar as pesquisas sobre a tecnologia empregada nesse levantamento e possibilitou deduzir muitas coisas a respeito da forma como ele foi feito. A figura de Agenor Machado, fundamental em todo o processo, foi também estudada, podendo-se notar, através dele, o aproveitamento da tecnologia disponível na Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo, e os trabalhos já realizados por essa instituição modelar.

Assim, os estudos permitiram deduzir que a base das triangulações utilizada para o mapeamento SARA coincide com aquela que foi implantada pela Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo (CGG), e a presente pesquisa permitiu encontrar os marcos extremos, com um deles deslocado de sua posição original. Conseguiu-se também identificar os vértices utilizados para as triangulações geodésicas, alguns coincidentes com os da CGG.

Através do contrato e das folhas do mapeamento, foi possível analisar a qualidade cartográfica de representação dessa planta da cidade, que conseguiu aliar técnica e arte, principalmente em função da grande experiência da empresa gravadora (De Agostini de Novara).

Depois que se conseguiu, através de contatos com a *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS), uma cópia do trabalho de Agenor Machado no III Congresso Internacional de Aerofotogrametria, realizado em setembro de 1930 na cidade de Zurique, Suíça, foi possível realizar os mesmos testes comparativos aplicados por esse engenheiro fiscal e comprovar que, nessas cartas, o mapeamento atendeu às especificações técnicas exigidas no contrato

celebrado; ou seja, apresentam média inferior a 0,50 m pelo método dos alinhamentos.

As folhas analisadas quando submetidas aos processos atuais de verificação cartográfica, tais como medidores eletrônicos de distância, receptores de GNSS e a norma atualmente em vigor, estabelecida pelo decreto nº 89.817 de 30 de março de 1984; apresentam um erro padrão superior ao mínimo para atender a classe C, tanto na planimetria quanto no que se refere à altimetria. O que é de certo modo até previsível, levando-se em consideração o nível de desenvolvimento tecnológico dos equipamentos utilizados na época, tais como: fio de invar, teodolitos, aeronaves e restituidores.

Para uma correta avaliação final do produto, é preciso ressaltar que em qualquer mapeamento é necessário levar em conta a dupla função do mesmo: posicionamento e representação. A primeira qualidade diz respeito à precisão geométrica das feições, isto é, o grau de precisão das coordenadas de pontos escolhidos como amostra. Já a segunda representa a qualidade da representação, isto é, a precisão relativa ao entorno (e não absoluta) e a qualidade com que transmite informações sobre o mundo real que ele representa (uso de cores, convenções, etc).

Por outro lado, é preciso ter muito cuidado para não aplicar critérios e exigências de hoje a produtos elaborados em outras épocas, com tecnologias que se encontravam em tempos primordiais. Ou seja, é preciso ter bom senso para evitar um julgamento excessivamente duro e rígido.

Feita essa ressalva, é preciso dizer que o mapeamento não atingiu a precisão geométrica especificada (0,5m), com a metodologia de hoje que usa pontos de controle (avaliação absoluta). Atingiu sim essa precisão no método da época, que utilizava alinhamentos (avaliação relativa). Por outro lado, o próprio mapeamento atual da cidade (entregue em 2011) também não atingiu a precisão especificada: deveria ser classe A, mas é classe B, conforme se concluiu pela presente pesquisa, confirmando avaliações da época de sua feitura (2002)³.

³ Cintra, J.P. Comunicação pessoal ao autor, 2012.

Por outro lado, no que diz respeito ao mapeamento em si, à sua qualidade de representação, ela é de uma beleza plástica que não foi superada pelos diversos mapeamentos subsequentes. A representação das feições e sua posição relativa é bastante fiel e, em diversos casos referentes a feições ainda existentes, pode-se comprovar que representa melhor a realidade do que os mapas posteriores, inclusive os atuais, como pudemos comprovar pessoalmente.

Em todo esse processo, muitas das conclusões e estudos só foram possíveis graças à Cartografia digital, que se mostrou uma boa ferramenta para a Cartografia histórica e permitiu sobreposições, correções, retificações e transformações de todo tipo.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

Os resultados e conclusões dos experimentos feitos no mapeamento executado pela SARA Brasil sugerem alguns trabalhos futuros.

Apesar de terem sido feito um grande esforço de campo e terem sido encontrados marcos geodésicos implantados pela CGG, outros pontos comuns e vértices de triangulação poderão ser encontrados.

Tendo em vista a disponibilização pela SMDU do mapeamento da cidade de São Paulo na escala 1: 1.000, executado pelo consórcio CONCIDADE, este poderia ser mais explorado nos estudos comparativos, ainda que com certas ressalvas já que, como comprovado, não atingiu o PEC A. Outros trabalhos topográficos, porventura existentes, como o da ERBE, poderão servir de padrão de comparação em outras regiões, já que a comparação feita abrange um trecho relativo a 4 cartas de um total de 58 na escala 1:1.000.

Nos trabalhos históricos, sempre existem portas abertas para aprofundar: mais sobre os irmãos Nistri, mais sobre Agenor Machado, encontrar os remanescentes das placas de vidro, partes dos aviões, e tantas coisas mais.

Nesse sentido, parece-nos que o presente trabalho constitui um primeiro impulso para futuras pesquisas históricas, não só a respeito desse mapeamento, mas sobre a história da aerofotogrametria e da cartografia no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. R. C. **Aerofotogrametria**. Monografia apresentada à Congregação da Escola Nacional de Engenharia da Universidade do Brasil, Rio de Janeiro, 1940, 188p.

Ask Jeeves UK.. Disponível em < http://uk.ask.com/wiki/Caproni_Ca.97>. Acesso em 16 fev. 2011.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. 2ª ed. Curitiba: SBEE, 2003. 256p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 14166**: Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

AZEVEDO NETTO, J. M., As referências de nível na Capital de São Paulo, **Revista do Departamento de Águas e Esgotos**, São Paulo, 1960, n. 37, p. 5-9.

BAKER, T. Y. Surveying and nautical instruments. **Journal of Scientific Instruments**, Londres, v. 4, n. 5, p. 157-160, fev 1927.

BARROS, J. M. **Curso de AutoCAD 2002**. Ouro Preto: 2002. 75 p.

BOWSER, E. A. **A Treatise on Plane and Spherical Trigonometry, and its applications to Astronomy and Geodesy, with numerous examples**. Boston: D. C. Heath & CO, 1892. P. 188.

BRASIL. Decreto nº 89.817 de 30 de março de 1984. Normas para o controle de qualidade de documentos cartográficos. Brasília, Diário Oficial da União, 1984. Disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br/FCCA32.HTM>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

BROVELLI, M. A.; ZAMBONI, G. Adaptative Transformation of Cartographic Bases by Means of Multiresolution Spline Interpolation. In: XX ISPRS Congress, 2004, Istanbul. **Proceedings**. V. XXXV, part B2. p. 206-301.

BURITY, E. F; BRITO, J. L. N; PHILIPS, J. Qualidade de dados para mapeamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 19., 1999, Recife. **Anais...** Recife, 1999. CD-ROM.

CINTRA, J. P. A triangulação de Delaunay e suas aplicações. São Paulo. **Anais da EPUSP**. 1988, v. 1, p. 167-180.

_____. **Sistema de Projeção UTM**, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007. p. 31-85. . Informações Espaciais II – Notas de Aula. Departamento de engenharia de Transportes.

_____. A Cartografia digital como ferramenta para a Cartografia histórica. In: Simpósio Ibero americano de História da Cartografia, 3, 2010, São Paulo. **Anais...**

CINTRA, J. P.; NERO, M. A. . Metodologia para o controle de qualidade de mapeamentos sistemáticos em meio digital. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2005, Macaé (RJ). **Anais do XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA**. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Cartografia, 2005. v. XXII. p. 1-14.

CINTRA, J. P., SILVA, M. J. O início da cartografia sistemática no Brasil In: XX Congresso Brasileiro de Cartografia, 2001, Porto Alegre. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia**. , 2001. v.1. p.1-7

CIURILEANU, D. Tracciamento di Carta Topografica Allá scala 1/1000 di Zona Urbana a Contruzione Intensiva. Due Esperimenti Eseguiti alla Presenza e Stto il Controllo dell'ing. Ciurileanu, Presidente della Associazione dei Topografi del Regno di Romania. C. 1930.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledeteccion Espacial**. Madri: Ediciones Rialp, . 1990. 453p.

CROMLEY, R. G. **Digital Cartography**. Englewood Cliffs: A Simon & Schuster Company, 1992. 317p.

DALMOLIN, Q e LEAL, E. M. Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 7, n. 1, p. 21-40, 2001. Disponível em: < <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/bcg/article/view/1374/1128>>. Acesso em: 05 jun. 2011.

DEPNER, J. S. **The Universal Transverse Mercator (UTM) Grid System and Topographic Maps – An Introductory Guide for Scientists and Engineers**. 12thed. 2010. 95p. Disponível em: <http://www.depnerphoto.com/docs/utm/utm_main.pdf>. Acesso em: 30 set. 2011.

DÖRRIE, H. **100 Great Problems of Elementary Mathematics: Their history and solution**. 5thed. Translated by David Antin. New York: Dover Publications, Inc., 1965. P. 193-194.

DPH - Arquivo Histórico Municipal Washington Luís, administrado pela Secretaria Municipal da Cultura, através do Departamento do Patrimônio Histórico. Relatórios manuscritos, um deles falando das Vantaggi del método di rilevamento aerofotogramétrico Nistri.

_____. Cópia da lei 3203, de 17 de julho de 1928, autorizando o Prefeito J. Pires do Rio a contratar o levantamento topográfico do Município.

_____. Proposta de concorrência da empresa JUNKERS – FLUGZEUGWERKE A.G. de Dessau, Alemanha.

_____. Contrato entre a SARA e a PMSP, de 14/11/1928, para a elaboração do mapeamento.

_____. Orçamento de peças metálicas para a elaboração dos marcos que materializam o apoio de campo.

_____. Carta da alfândega de Santos à Prefeitura notificando a chegada de equipamento como parte da bagagem de Umberto Nistri.

_____. Requerimentos da SARA solicitando ampliação de prazos, com suas respostas.

_____. Relatórios do engenheiro de fiscalização (Agenor Machado), acompanhando os trabalhos em Roma.

FARRAN, N. L., CINTRA, J. P. O primeiro mapeamento sistemático do Brasil: significado e construção In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2003, Belo Horizonte. **Anais do XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2003. v. 1. p. 1–8.

FONTES, L. C. A. A. **Fundamentos de Aerofotogrametria aplicada à Topografia**. Notas de Aula. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Departamento de Transportes. Salvador, 2005. 18p.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas**. Curitiba: UFPR, 1994. 320p.

GILLMAN, D. W., Triangulations for rubber sheeting. In: **Proceedings of 7th International Symposium on Computer Assisted Cartography (AutoCarto 7)**, Washington, D.C., 1985, p. 191-199.

HODGSON, C. V.; USC&GS - U.S. COAST AND GEODETIC SURVEY. **Manual of First-Order Triangulation**. Washington: United States printing office, 1935, 185p.

IDOETA, I. V. **Concepção de bases cartográficas para projetos de engenharia**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 2001, 209p.

IDOETA, I. et all. **São Paulo vista do alto: 75 anos de aerofotogrametria**, São Paulo, Ática, 2004, 96p.

IGC – Instituto Geográfico de Cartográfico. **Coleção de fotos oblíquas do IGC, 1939-1940**, São Paulo, IGC, 1993.

ISO - 2859-1: **Sampling procedures for inspection by attributes Part 1 : Sampling plan indexed by acceptable quality level (AQL) for lot-by-lot inspection**. Ed. 2.0. 01 nov. 1999. 87pp.

LASSALE, M. **Fotogrametria Terrestre y Aerea**. Buenos Aires: El Ateneo, 1941. 181 p.

LEICA AG. **Leica Heerbrugg im Wandel der Zeit Firmenportrait**. Heerbrugg, Suíça, 1996, 30P.`

LIMA, D. G. **Sistema Topográfico Local**. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1997. 49 p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Departamento de Engenharia Rural.

LUGNANI, J. B. **Introdução à fototriangulação**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1987. 134p.

MACHADO, A. Le leve Aérophotogrammétrique de S. Paulo et ses premiers resultats techniques. In: **Archiv International de Photogrammétrie**. Organe de la Société Internationale de Photogrammétrie, Zurich, v. VII, 126-128, 1931.

MACHADO, R. P. Sobreposição da cartografia digital vetorial às cartas e mapas históricos da Cidade de São Paulo. In: SIMPÓSIO IBEROAMERICANO DE HISTÓRIA DA CARTOGRAFIA, 3, São Paulo, 2010. **Anais...** 15p.

MARTINS, P. A. e SILVA, L. F. C. F. Métodos para modelagem do fator temporal de dados espaço-temporais em *Historical Geographical Information Systems*. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica. 1., 2011, Paraty. **Anais...** CD-ROM

MELLO, H. M. C. F., CINTRA, J. P. Erros associados a digitalização de mapas In: 4a. CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, São Paulo. **Anais da 4a. CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**. , 1993. v.1. p.29 - 46

McKINLEY, A. C. **Applied Aerial Photography**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1929, 314p.

MERCHANT, D. C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. In: TECHNICAL CONGRESS ON SURVEING AND MAPPING. **Proceedings**. v. 1, p. 222-231, 1982.

MESQUITA, P. F. **Teodolito**. Monografia apresentada à Congregação da Escola Nacional de Engenharia da Universidade do Brasil, São Paulo, 1939, 158p.

MESQUITA, P. F. **Curso de Topografia**. De acordo com os programas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e da Escola Nacional de Engenharia da Universidade do Brasil, São Paulo, 1940, 446p.

MONTEIRO, E.J. Modernos Apparelhos Topographicos. **Boletim do instituto de Engenharia**, São Paulo, v. XIX, n. 72, p. 243-247, jun 1931.

MINISTRI PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI DELLA REPUBBLICA ITALIANA, propriedade de Sara Nistri, 1924. Disponível em: <http://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/Menu-Utility/Imagine/index.html_645097112.html>. Acesso em 15/04/2011.

NERO, M. A. **Estudo comparativo de metodologias de digitalização de mapas e seu controle de qualidade geométrica**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2000. 233p.

NERO, M. A. **Propostas para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2005. 186p.

NISTRI, A. Note di Aerofotogrammetria: Risultati Ottenuti nei Lavori di Rivelamento Eseguiti col Fotocartografo Nistri. Rivista l'Aerotecnica, Itália, v. 5, n. 3, 5p., maio-jun. 1925a.

NISTRI, A. Nuovi Risultati Ottenuti nel Rivelamento Aerofotogrammetrico a mezzo del Fotocartografo "Nistri". Settimana di Aerotecnica, 1, Roma, nov. 1925b. **Anais...** 7p.

NOAA's - Historic Coast & Geodetic Survey (C&GS) Collection, 1924. Disponível em: <<http://www.photolib.noaa.gov/htmls/theb1664.htm>>. Acesso em 13 jun. 2011.

NOGUEIRA JR., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) – UNESP, Campus Presidente Prudente. Presidente Prudente, 2003. 147P.

OELSNER, C. A. Levantamento Topographico do Districto Federal e da Cidade de Rio de Janeiro pela combinação dos methodos photo-aero e terrestre. 1928 – 1931. **Boletim do instituto de Engenharia**, São Paulo, v. XIX, n. 102, p. 314-328, maio 1934.

PROGRAMMA computação gráfica. São Paulo, empresa Disponível em: <http://www.programma.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=15&Itemid=25>. Acesso em 16 out. 2010.

SAALFELD, A., Triangulated data structures for map merging and other applications in geographic information systems. In: **Proceedings of the International Geographic Information Symposium**, 3, 1987, p. 3-13.

SANTOS, A. G.; SEGATINE, P. C. L. & SILVA, I. Controle de Qualidade Mapas Digitais Urbanos para Uso em Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Minerva – Pesquisa & Tecnologia**, v.5, n. 2, p.169-176, jul.-dez. 2008. Disponível em: < [http://www.fipai.org.br/Minerva%2005\(02\)%2007.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2005(02)%2007.pdf)>. Acesso em 05 jun. 2011.

SANTOS, S. D. R. et al. Considerações sobre a Utilização do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) nos dias Atuais. In: Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologias da Geoinformação, 3, Recife, 2010. **Anais...** 5p.

SÃO PAULO. Secretaria de Finanças. **Mapa Digital – MDSF**. Apresentação, 2009. 22p. Disponível em: <http://www.cepam.sp.gov.br/arquivos/encontros_tematicos/geoprocessamento/apresentacao_prefeitura_SP.pdf>. Acesso em 13 dez. 2010.

SÃO PAULO. Departamento de Estatística e Produção de Informação - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Sistema de Informações Geográficas do Município de São Paulo**. Apresentação, 2010. 18p. Disponível em: < http://www.ijsn.es.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1021&Itemid=110>. Acesso em 10 jun. 2011.

SCHWIDEFSKY, K. **Fotogrametría Terrestre y Aérea**. 3ª Ed., Madrid: Labor S. A., 1943. 254 p.

SHIMIZU, E.; FUSE, T. Rubber Sheeting of Historical Maps in GIS and its Application to Landscape Visualization of Old-Time Cities: Focusing on Tokyo of The Past. ISPRS ,International Workshop on "Processing and Visualization using High-Resolution Images", Pitsanulok, 2004.

SLOAN, J. **GIS Database Development, Leson 3: Georeferencign Raster Images, Introduction**. State College, PA: The Pennsylvania State University World Campus Certificate Program in GIS.

SNYDER, J. P. **Map Projections – A Working Manual**. U. S. Geological Survey Professional Paper 1395. Washington: United States Government Printing Office, 1987. 394 p.

_____. **Flattening the Earth – Two Thousand Years of Map Projections**. Chicago: The University of Chicago Press, 1993. 365 p.

SOARES FILHO, B. S. **Cartografia Assistida por Computado – conceitos e métodos**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. 20 p. Apostila do Departamento de Cartografia – Centro de Sensoriamento Remoto.

TAVARES, P. E. M. e FAGUNDES, P. M. **Fotogrametria**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991, 379p.

TEALDY, L. Levantamento Aerofotogrametrico Sistema “Eng. NISTRI”. Conferência realizada no Círculo Italiano. Tradução de M. Miglioretti. **Boletim do instituto de Engenharia**, São Paulo, v. X, n. 45, p. 65-70, fev. 1929a.

TEALDY, L. Levantamento Aerofotogrametrico Sistema “Eng. NISTRI”. Conferência realizada no Círculo Italiano. Tradução de M. Miglioretti. **Boletim do instituto de Engenharia**, São Paulo, v. X, n. 46, p. 97-101, mar. 1929b.

TOSTES, F. A. e IDOETA, I. V. Sistema Topográfico Local, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007. p. 87-12. . In: **Informações Espaciais II – Notas de Aula**. Departamento de engenharia de Transportes.

Virtual Aircraft Museum. Museu virtual de Aeronaves. Disponível em <http://www.aviastar.org/air/italy/fiat_as-1.php>. Acesso em 16 fev. 2011.

USC&GS - U.S. COAST AND GEODETIC SURVEY. **Manual of Second & Third Order Triangulation and Traverse**. Washington. United States printing office, 1935, 226p.

WEBER, E.; ANZOLCH, R.; LISBOA FILHO, J.; COSTA, A. C.; IOCHPE, C. Qualidade dos dados geoespaciais. Porto Alegre: Instituto de Informática, UFRGS, 1999. In: **Relatório de Pesquisa** (RPn°293).

WENDEL, G. Bases Geodésicas em S. Paulo. **Revista de Engenharia Mackenzie**, São Paulo, v. 11, n. 37, p. 19-27, 1926a.

WENDEL, G. Medição de Bases Geodésicas com Fios Metálicos. **Revista de Engenharia Mackenzie**, São Paulo, v. 11, n. 38, p. 22-28, 1926b.

WENDEL, G. Caderneta de campo manuscrita, com o título **Base e Triangulação do Município de São Paulo**, Biblioteca do IAG, setor de obras raras. Trabalhos datados de 1926c.

WINCHESTER, C e WILLS, F. L. **Aerial Photography: a comprehensive survey of its practice and development**. London: Chapman and Hall, 1928, 236p.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

BORGES, A. C. **Exercícios de topografia**. 3ª ed. revisada. São Paulo. Edgard Blücher, 1975. 192 p.

CARSON, P. A. Precise Measuring with Invar Wires; and the Measurement of Kootenay Base. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, v. 5, p.36-58, Canada, fev. 1911.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. 1ª ed. 3ª impressão. Porto Alegre. Editora Globo, 1975. 655 p.

FERREIRA, M. E. Escalas Cartográficas. Notas de Aula. Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Sócio-Ambientais. Goiânia, 2005. 15p.

OGP Publication. Coordinate Conversions and Transformation including Formulas. **Geomatics Guidance Note**, Reino Unido, n. 7, parte 2, 2011,132p.

SAALFELD, A., Conflation - automated map compilation. **International Journal of Geographical Information Systems**. Londres, 2(3), p. 217-228, 1988.

ANEXO A –**TERMO DE CONTRATO QUE FAZEM A
“SOCIETÁ ANONIMA RILLEVAMENTI
AEROFOTOGRAMMETRICI DE ROMA”
E A PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO
PAULO, PARA O LEVANTAMENTO
TOPOGRÁFICO DA CIDADE E DO
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO.**

Aos 14 dias do mês de novembro de mil novecentos e vinte oito nesta cidade de São Paulo, no gabinete do Sr. Prefeito, ali presente a “Societá Anonima Rillevamenti Aerofotogrammetrice de Roma”, representada no ato pelos srs. J. & H. Roba, industriais, conforme procuração exibida, por ter sido aceita sua proposta, por despacho exarado no processo nº 52.252, à 25 de setembro último, de parte a Prefeitura representada por seu Prefeito, Dr. José Pires do Rio, na presença das testemunhas abaixo assinadas, pelas partes contratante me foi dito que em cumprimento da lei nº 3.203, de 17 de julho do corrente ano e edital de 15 de agosto do ano, contrataram o levantamento topográfico da cidade de São Paulo, mediante as seguintes cláusulas:

Clausula 1ª.

Para fins de interpretação do presente contrato, a “Societá Anonima Rillevamenti Aerofotogrammetrice de Roma”, será denominada de “contratante”; a Prefeitura Municipal de São Paulo denominada de “Prefeitura”.

Clausula 2ª.

O levantamento topográfico do município de São Pulo será feito pelos processos correntes de topografia e pelo emprego dos métodos da foto-topografia aérea.

Clausula 3ª.

Os pontos terrestres da referencia para o serviço topográfico propriamente dito deverão ser obtidos pelos processos correntes de geodésia, de nivelamento geométrico e trigonométrico e de levantamento de poligonais de precisão.

Clausula 4ª.

A contratante se obriga a aceitar como fiscais do serviço a executar, as pessoas que a prefeitura indicar, as quais serão engenheiros civis e sobre cujas vistas correrão todos os trabalhos de campo, de gabinete e de atelier.

Clausula 5ª.

Os engenheiros fiscais da Prefeitura ficam com a faculdade de examinar todo o andamento do serviço nas suas particularidades técnicas, como sejam: a verificação das condições em que se fizeram os voos para a batida das chapas aero-fotogramétricas; a construção e implantação de sinais de triangulação ou de referencia para os aviões; a construção de sinais permanentes no terreno, como marcos de triangulações e outros; os cálculos de gabinete; a exatidão e o bom acabamento dos desenhos e impressos; e tudo mais que tecnicamente se relacionar com os trabalhos objetos do presente contrato.

Clausula 6ª.

A contratante poderá exigir dos engenheiros fiscais da Prefeitura o competente “visto”, em todos os trabalhos examinados, bem como a aprovação dos aparelhos utilizados. Desde que um trabalho tenha sido convenientemente examinado e visado pelos fiscais, subentende-se que a contratante está isenta de qualquer responsabilidade técnica naquele trabalho.

Clausula 7ª.

Em caso de divergência entre os fiscais da Prefeitura e a contratante, sobre a excelência de um dado trabalho, a contratante fica com a faculdade de recorrer ao Prefeito, de cuja decisão, caso lhes seja desfavorável, caberá ainda recurso à Câmara Municipal.

Clausula 8ª.

As tolerâncias admitidas nos trabalhos serão as seguintes: a) – Triangulação-Bases. Base de partida 1:100.000 comprimento; fechamento dos triângulos de 1ª ordem - 20”; azimute – 30”; Base de verificação – 1:8.000 do comprimento no fechamento da rede. b) – Nivelamento geométrico – $10\text{mm} \sqrt{k}$, sendo k o número de quilômetros da seção altimétrica. c) – Poligonais – 1:1.000 do comprimento. d) Restituição das chapas fotogramétricas – Em terrenos planos admitir-se-á um milímetro de distorção. Em terrenos acidentados, a tolerância será acrescida da quantidade $dh/2fm$, sendo d a diagonal da chapa h a diferença de nível entre os diversos pontos fotográficos, f o comprimento focal da objetiva empregada e m o denominador da escala da foto-carta. e) – Erro cartográfico – 0,5mm, como resultante de todos os erros cometidos nos levantamentos e nos desenhos originais. f) – Erros eventuais – Não será obrigatória a reprodução do relevo dos terrenos sob edificações, nos lugares de intensa vegetação, as curvas de nível deverão ser tão exatas quanto possível, de acordo com a prática ordinária em trabalhos similares.

Clausula 9ª.

Os instrumentos empregados no serviço deverão corresponder à exatidão exigida. Não poderão ter características técnicas inferiores aos seguintes: Leitura direta do limbo horizontal do teodolito de triangulação, 15”, sensibilidade do nível para o nivelamento principal, 5” por milímetro da divisão; leitura direta no limbos dos tacômetros, 30”; comprimento focal da objetiva da câmera fotogramétrica no mínimo igual à dimensão da chapa. As mira para o nivelamento principal deverão ser calibradas, formadas de uma só régua e ter níveis e suportes adequados para se manterem na vertical; as miras para os levantamentos taqueométricos poderão ser dobradiças, porem terão níveis esféricos e suportes adequados. Os basímetros deverão ser de material apropriado e estar competentemente calibrados por instituto científico idôneo, de maneira a se conhecer a sua equação com aproximação de 1:100.000. Os termômetros e os dinamômetros, utilizados conjuntamente com os basímetros, deverão ter tal sensibilidade, que acusem uma dilatação equivalente a 1:100.000 do comprimento do basímetro.

Clausula 10ª.

A triangulação principal implicará uma rede de triângulos em que todos os vértices serão ocupados. Nessa rede, não se tolerará ângulo algum inferior a 25°. A triangulação de 2ª ordem será formada de triangulação diretamente apoiados na principal e os seus vértices poderão ser determinados por intersecção de duas ou mais visadas, ou estação de 3 visadas (Pothenots). Os vértices da triangulação principal serão assinalados no terreno por meio de marcos adequados quando não forem constituídos de edifícios ou referências imutáveis já existentes.

Clausula 11ª.

O nivelamento geométrico se estenderá por toda a zona abrangida pelo perímetro suburbano, com a área aproximadamente de 13.000 hectares, e ao longo das estradas de rodagem Municipais e Estaduais. As referências de nível implantadas no terreno e custeadas pela Prefeitura constarão de um varão de bronze mergulhado em concreto e protegido por uma caixa de ferro fundido; serão espaçadas de 3 kms. mais ou menos, na zona abrangida pelo perímetro suburbano e de 5 kms. mais ou menos, nas estradas de rodagem fora daquela zona. As suas cotas serão referidas às dos R.N. oficiais da Comissão Geográfica e Geológica, situadas no Ypiranga, na Várzea do Carmo e no campo de Marte. Os R.N. serão ligados diretamente à triangulação principal por meio de intersecção de Pothenots, ou poligonais e suas identificações será feita mediante dados analíticos, de maneira a constituírem referências completas para qualquer serviço municipal.

Clausula 12ª.

As visadas máximas toleráveis nos levantamentos serão as seguintes: Triangulação principal – 5 kms. na zona abrangida pelo perímetro suburbano e 8 kms. na zona rural; nivelamento geométrico – 100 mts.; - levantamento taqueométrico 150 mts. As chapas tomadas dos aviões deverão ser batidas à altura tal, de maneira a não sofrerem ampliações maiores de 3 vezes a escala original.

Clausula 13ª.

A contratante se obriga a fornecer à Prefeitura: a) – 25 (vinte e cinco) fotocartas em papel brometo brilhante, entelado, de melhor qualidade (além do respectivo

original), em escala de 1:5000, abrangendo todo o município, com uma área aproximada de 93.000 hectares. b) – 5000 (cinco mil) exemplares impressos do mapa topográfico de todo o município (além do respectivo original), na escala de 1:5000, com curvas de nível equidistantes de 5 mts. (cinco). (o item “c” não consta no documento transcrito). d) – 6 (seis) cópias do mapa topográfico referido na alínea “B”, em tela de linho transparente, próprio para reprodução de cópia em papel ferro prussiato ou similar. d) dez foto-cartas em papel brometo brilhante, da melhor qualidade (além do respectivo original), na escala de 1:1000, abrangendo todo o perímetro central, com área aproximada de 3.000 (três mil) hectares. e) Mil exemplares impressos (além do respectivo original) do mapa topográfico do perímetro central, referido na alínea anterior e seis cópias em tela de linho transparente para reprodução ou descalque, em escala de 1:1000, com curvas de nível equidistante de 1 metro.

Clausula 14ª.

Os originais das foto-cartas deverão ser fornecidos sem retoque, devidamente estirados e colados em chapas de alumínio.

Clausula 15ª.

A contratante se obriga a fornecer à Prefeitura todos os mapas e foto-cartas referidos na cláusula 13ª convenientemente acabados – a fotocartas com perfeita clareza e igualdade de tons e os mapas topográficos, originais e impressos, primorosamente desenhados e retocados, de maneira a se notar em todas as folhas, tomadas individualmente ou em conjunto, a máxima concordância de estilo de letras, de traço e de tonalidade de tinta.

Clausula 16ª.

Os mapas impressos deverão ser fornecidos em folhas numeradas. Com tamanho aproximado de 0.90x0.70 mts. O papel dessas folhas deverá ser branco e de ótima qualidade, à escolha da Prefeitura.

Clausula 17ª.

Deverão ser indicados nos mapas todos os detalhes topográficos aparentes como sejam: vias públicas, jardins, praças, estradas de ferro e de rodagem, cursos fluviais,

matas, construções existentes, salientando-se por convenção especial as edificações públicas e monumentos.

Clausula 18ª.

Os mapas topográficos deverão ser impressos em três cores, adotando-se de preferência as convenções topográficas internacionais. A Prefeitura fornecerá a contratante, um mapa modelo para a adoção das referidas convenções.

Clausula 19ª.

Deverão figurar em todos os mapas, sejam as fotos-cartas ou os mapas impressos, as referencias de nível, devidamente numeradas, e com as respectivas altitudes.

Clausula 20ª.

A Prefeitura por intermédio da Diretoria de Obras e Viação, fornecerá a contratante, em tiragem provisória do mapa impresso, toda a nomenclatura necessária para a sua elaboração final.

Clausula 21ª.

A prefeitura porá a disposição da contratante, todos os dados técnicos exatos que possuir referentes aos levantamentos topográficos municipais já executados.

Clausula 22ª.

Todos os negativos fotográficos originais, folhas de campo, cadernetas, matrizes litográficas, em fim tudo o que se referir aos trabalhos, deverão ser entregues em perfeito estado pela contratante à Prefeitura, devidamente numerados, catalogados e acondicionados, passando a ser exclusiva propriedade municipal.

Clausula 23ª.

A contratante se obriga a executar todo o serviço de levantamento referido no presente contrato pelo preço de 12\$000 (doze mil reis), papel, equivalentes à 2628 réis ouro, para cada hectare de área levantada, correspondente a todos os mapas impressos e entregues referidos nas alíneas “a”, “b” e “c” da clausula 13ª, e pelo preço de 50\$000 (cinquenta mil

réis), papel, ou 10\$948 (dez mil novecentos e quarenta e oito réis), ouro, para cada hectare, da área levantada correspondente a todos os mapas impressos e entregues nas alíneas “d”, e “e” da cláusula 13ª.

Clausula 24ª.

A contratante se obriga a iniciar o serviço dentro de 30 (trinta) dias, após a assinatura do presente contrato, sob pena de perda da caução depositada no Tesouro municipal, de acordo com item 23 do edital concorrência publica para o levantamento topográfico do município de São Paulo.

Clausula 25ª.

A contratante se obriga a concluir todo o serviço de levantamento do Município e a entregar à Prefeitura os mapas referidos na cláusula 13ª. (mapas e foto-cartas) e o material constante na cláusula 22ª do presente contrato, no prazo máximo de 24 meses a contar da data do início dos trabalhos.

Clausula 26ª.

Por qualquer infração verificada, pela falta de iniciar ou concluir os serviços fora dos prazos marcados, salvo motivos de força maior, plenamente justificados a Juízo da Prefeitura, ficará a contratante sujeita à multa de 200\$000 (duzentos mil réis) diários, até o início ou conclusão dos trabalhos.

Clausula 27ª.

A inobservância de qualquer cláusula contratual, acarretará, sem necessidade de interpelação judiciária, a anulação pura e simples do presente contrato não cabendo ao contratante direito a nenhuma indenização, seja pelos trabalhos executados, com infração do estipulado, seja pelos gastos em instalações feitas.

Clausula 28ª.

Para assinatura do presente contrato, a contratante deverá exigir o recibo o recibo da caução de 30:000\$000 (trinta contos) depositada no Tesouro Municipal, como garantia da execução dos serviços objeto do presente contrato.

Clausula 29.

A Prefeitura se obriga a devolver `a contratante a importância da caução referida na Clausula 28ª, quando terminado todo o serviço e entregue o material referido na Clausula 22ª do presente contrato.

Clausula 30ª.

A Prefeitura se obriga a fazer o pagamento dos serviços executados pelos preços estipulados no presente contrato, sessenta dias, após a entrega de todos os mapas e foto-cartas referidas na clausula 13ª, ficando subentendido que o pagamento acima só se refere as áreas levantadas dentro do município da capital e medidas nos mapas originais apresentados e aprovados, bem assim após o recebimento do material constante da cláusula 22.

**ANEXO B – Artigo de Agenor Machado “Le levé Aérophotogrammétrique de s.
Paulo et ses premiers resultats techniques.”**

INTERNATIONALES ARCHIV FÜR PHOTOGRAMMETRIE

ORGAN DER INTERNATIONALEN GESELLSCHAFT
FÜR PHOTOGRAMMETRIE

VII. BAND
ZWEITE HÄLFTE 1930—1931

ARCHIV INTERNATIONAL DE PHOTOGRAMMÉTRIE

ORGANE DE LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DE PHOTOGRAMMÉTRIE

TOME VII.
DEUXIÈME FASCICULE 1930—1931

REDIGIERT VON

DIPL. ING., DR. ING. e. h. C. F. BAESCHLIN
PROFESSOR DER EIDG. TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN ZÜRICH

1931

VERLAG VON RUDOLF M. ROHRER
BRÜNN, BADEN BEI WIEN, LEIPZIG

Inhaltsverzeichnis des 2. Halbbandes VII des Internationalen Archivs für Photogrammetrie.

	Seite
Vorwort	XI
Avant-propos	XII
Laemann, Prof. Dr. Carl Pulfrich zum Gedächtnis, mit Bild	2
Finsterwalder S., Höhenkarten aus weitwinkligen Luftaufnahmen, mit 4 Figuren . .	7
Wild H., Die Optik in der Photogrammetrie, mit 1 Figur	27
Finsterwalder S., Über die zweckmäßigste Verwendung der geographischen Ortsbestimmungen bei der Nadirtriangulation	37
Supplément au Rapport national français, avec 5 figures et 5 tableaux	46
Piatkiewicz, Entwicklung und Zustand der Photogrammetrie in Polen	72
Petric M., Le rapport de la Société tchécoslovaque de Photogrammétrie	79
Berichte über die Verhandlungen in den Kommissionen, gehalten am 3. Internationalen Kongreß für Photogrammetrie 1930, Zürich:	
Kommission Nr. 1: Terrestrische Photogrammetrie	81
mit den Abhandlungen:	
Finsterwalder R., Das photogrammetrische Ergebnis der Alai-Pamir-Expedition 1928	81
Schober, Die Anwendung der Raumbildmessung für die Bestimmung von Seilkurven an Rollföhren und Seilschwebbahnen	88
Schober, Die Anwendung der Erdbildmessung im österr. bundesstaatlichen Vermessungsdienst	90
Commission N° 1: Photogrammétrie terrestre. Traduction française du rapport	91
Kommission Nr. 2: Entzerrungsphotogrammetrie	92
mit dem Referat:	
Laemann, Über ein Entzerrungsgerät für hügeliges Gelände, mit 2 Figuren . .	93
Commission N° 2: Photogrammétrie par redressement. Traduction française du rapport	103
Kommission Nr. 3: Stereoskopische Luftbildmessung; Autographen	105
Commission N° 3: Mesure stéréoscopique des vues aériennes; autographes	115
avec le rapport:	
Machado, Le levé aérophotogrammétrique de S. Paulo et ses premiers résultats techniques	126
Kommission Nr. 4: Bildtriangulierung und Folgebildanschluß	129
mit den Referaten:	
Aschenbrenner, Bildtriangulierung eines 10.000 km ² umfassenden Gebietes mit der neuen Panoramenkammer der Photogrammetrie G. m. b. H., München .	129
Weigel, Eine Methode des Folgebildanschlusses durch Koordinatentransformation .	130
mit der Abhandlung:	
Koppmair, Die Orientierung von Flugzeugaufnahmen gegeneinander und gegen das Lot mittels stereographischer Projektion, mit 2 Figuren	134
Commission N° 4: Phototriangulation, raccordement de clichés contigus. Traduction française du rapport	142
Kommission Nr. 5: Röntgen- und Körpermessung	149
Commission N° 5: Mensuration radiographique et stéréométrie	152
Kommission Nr. 6a: Architektur- und Ingenieurphotogrammetrie	155
Commission N° 6a: Photogrammétrie appliquée à l'architecture et à l'art de l'ingénieur	156
Kommission Nr. 6b: Bestimmung von in der Luft befindlichen Körpern	157
mit dem Bericht:	
Rumpff: Die Anwendung der Photogrammetrie in der äußern Ballistik	158

Schneider: Je ne demande pas d'aboutir dans la présente séance de la Commission; on peut renvoyer mais, dans tous les cas, je maintiens ma proposition.

Eggert: v. Gruber et Koppmair sont chargés de rédiger un court rapport pendant la suspension de séance de midi.

Cassinis: Dépose un rapport en émettant le vœu d'être dispensé de la lecture, le temps manquant, mais de le faire publier dans les Archives.

Clôture 12:15 h.

Le levé Aérophotogrammétrique de S. Paulo et ses premiers résultats techniques.

Par Dr. Agenor Machado.

La Società Anonima Rilevamenti Aerofotogrammetrici, de Rome, chargée de l'exécution du levé topographique de la commune de S. Paulo (Brésil), après avoir fini la première feuille des travaux à l'échelle de 1:1000 et désireuse de savoir à quelle précision on arriverait avec la méthode employée, demanda aux opérateurs de S. Paulo d'effectuer plusieurs mesures de contrôle sur le terrain dans le but de pouvoir connaître les erreurs commises au cours du levé.

Le levé topographique en question se fait en employant la méthode due à l'ingénieur Umberto Nistri. Cette méthode, quoiqu'elle soit en principe, semblable aux procédés courants d'aérophotogrammétrie, a cependant une technique originale, surtout en ce qui concerne la restitution des plaques prises de l'avion. Elle est adoptée maintenant pour la première fois dans un travail de grand style et les erreurs qu'elle y donne servent à juger de son avantage pratique.

Pour la Municipalité de S. Paulo, il suffisait de vérifier si les écarts trouvés étaient dans les tolérances établies par contrat lesquelles, dans ce cas, permettaient, pour un point quelconque, une divergence de position planimétrique non supérieure à 0.50 m. Mais comme c'est la première fois en Amérique du Sud qu'on contrôle un levé de ce genre et la première fois dans le monde entier qu'un gouvernement municipal fait un levé aérophotogrammétrique vraiment complet de ses domaines*), on aura intérêt à connaître, non seulement les écarts trouvés par les mesures de contrôle et les erreurs moyennes qu'ils donnent, mais aussi ce que représentent ces erreurs dans la pratique aérophotogrammétrique moderne.

*) Le levé de S. Paulo comprend non seulement une triangulation parfaite de toute la commune, mais encore un réseau de plus de 280 km de nivellement de haute précision. Les cartes topographiques sont: à l'échelle de 1:1000, avec courbes de niveau équidistantes de 1 m, de la partie principale de la ville, couvrant une étendue de 36 km carrés; à l'échelle de 1:5000, avec courbes de niveau de 5 en 5 m, et à 1:20.000, planimétrique, de toute la commune, sur une étendue de 920 km carrés. La société contractante doit, en outre, fournir des stéréogrammes de toute la commune, et des photocartes à l'échelle de 1:5000 (partie principale de la ville) et à l'échelle de 1:10.000, pour toute la commune.

Les opérateurs de S. Paulo firent sur le terrain couvert par la feuille envoyée, 924 mesures linéaires, réparties en 53 séries d'alignements, et 24 déterminations de hauteur. On employa des instruments de mesure ordinaires et les points, identifiés au moyen de la carte, n'étaient pas définis avec une sûreté absolument parfaite. Le contrôle eut un sens tout pratique, et c'est justement là qu'est sa valeur, puisqu'on se proposa de voir à quelle précision on arrive dans la pratique courante et non le degré d'exactitude dont est capable la méthode de M. Nistri.

D'après les 924 mesures prises sur le terrain, on voit que:

- 679 présentent une erreur inférieure à 0.50 m,
- 147, une erreur comprise entre 0.50 m et 1.00 m,
- 86, une erreur comprise entre 1.00 m et 1.50 m,
- 6, une erreur comprise entre 1.50 m et 2.00 m,
- 6, une erreur comprise entre 2.00 m et 2.70 m.

Le tableau ci-dessus montre que le procédé donne en général un écart inférieur à 0.50 m, mais est encore susceptible de pousser ces erreurs jusqu'à 1.50 m.

Celles-ci sont dues, dans le cas présent, au fait que les opérateurs du photocartographe étaient encore peu exercés et n'ont jamais vu le terrain levé qui est à 12.000 km de distance. On peut aussi les attribuer à une concurrence d'erreurs des opérateurs de Rome et de S. Paulo, puisque comme on l'a dit, le contrôle a été effectué avec des instruments de mesure ordinaires. Quant aux 12 erreurs de grandeur supérieure à 1.50 m évidemment, vu leur rare fréquence, il s'agit de fautes, ou mieux d'erreurs grossières, inévitables dans les travaux de topographie.

Erreur moyenne. Les erreurs moyennes des 53 séries d'observation sont les suivantes, exprimées en mètres:

± 0.11	± 0.31	± 0.48	± 0.63
0.12	0.32	0.48	0.63
0.16	0.33	0.51	0.65
0.16	0.34	0.51	0.68
0.17	0.34	0.52	0.69
0.18	0.35	0.53	0.71
0.18	0.38	0.53	0.71
0.21	0.39	0.54	0.83
0.22	0.43	0.54	0.86
0.23	0.45	0.58	0.88
0.23	0.45	0.59	1.06
0.26	0.46	0.61	
0.29	0.47	0.61	
0.31	0.48	0.63	

Si l'on considère les 924 mesures comme une seule série, l'erreur moyenne de position planimétrique d'un point est égale à ± 0.53 . Si l'on laisse de côté les 12 observations qui accusent un écart trop exagéré, l'erreur moyenne devient alors de ± 0.48 m.

Les divergences trouvées dans les déterminations de hauteur établissent que l'erreur moyenne de l'altimétrie est de ± 0.20 m. Le levé en question présente, donc, les erreurs moyennes suivantes:

Planimétrie:

erreur moyenne minimum	± 0.11 m,
erreur moyenne maximum	± 1.06 m,
erreur moyenne de 924 mesures	± 0.53 m,
erreur moyenne de 912 mesures	± 0.48 m,

Altimétrie:

erreur moyenne de hauteur	± 0.20 m.
---------------------------	---------------

Pour comparer la méthode employée avec les autres similaires, disons que la hauteur de vol fut de 1000 m et que la distance focale de l'objectif de la chambre photographique est de 180 mm. M. Hegershoff, dans son livre „Photogrammetrie und Luftbildwesen“, donne le résultat technique d'un levé qui est sensiblement dans les mêmes conditions que l'exemple de S. Paulo. A la page 215 de l'ouvrage cité, on lit que, pour un levé fait au moyen d'une chambre aérienne de 180 mm de distance focale, à une hauteur de 900 à 1000 m, les erreurs moyennes trouvées pour la position de 80 points différents, parfaitement reconnus sur un terrain de 30 km carrés, furent les suivantes:

Appareil de restitution	Erreur moyenne planimétrique	Erreur moyenne altimétrique
Stéréoplanigraphe	± 0.56 m	± 0.16 m
Autocartographe	± 0.88 m	± 0.15 m

De l'exposé, on conclut que la méthode de l'ingénieur Umberto Nistri donne, dans la pratique ordinaire, une précision au moins égale aux autres procédés aérophotogrammétriques. L'exemple de S. Paulo permet aussi de prévoir que son exactitude théorique est plus grande, puisque les opérateurs sur le terrain n'étaient pas les mêmes que ceux de la restitution qui, comme il a été dit, n'ont jamais vu le terrain levé; les plaques photographiques utilisées étaient simplement commerciales et n'avaient rien de spécial et, finalement, l'échelle du dessin est près de 6 fois plus grande que l'échelle originale des photos, et dépasse donc de beaucoup le rapport 3 : 1 recommandé pour les travaux de ce genre.

ANEXO C – Discrepâncias entre as distâncias do mapeamento da SARA e a fonte de referência (levantamento topográfico da ERBE)

Med	SARA	ERBE	≠ med	Med	SARA	ERBE	≠ med	Med	SARA	ERBE	≠ med
1	3,00	2,43	0,57	95	18,28	18,46	-0,18	189	25,87	26,20	-0,33
2	87,42	88,04	-0,62	96	8,02	8,31	-0,29	190	18,37	18,32	0,05
3	108,43	108,62	-0,19	97	40,13	40,21	-0,08	191	105,40	105,57	-0,17
4	24,96	24,97	-0,01	98	8,09	7,65	0,44	192	62,76	62,75	0,01
5	44,68	44,98	-0,30	99	26,60	25,36	1,24	193	7,68	7,72	-0,04
6	89,05	89,53	-0,48	100	1,81	3,49	-1,68	194	10,30	10,38	-0,08
7	177,70	177,92	-0,22	101	14,63	12,45	2,18	195	7,48	6,78	0,70
8	25,51	25,50	0,01	102	25,80	27,18	-1,38	196	35,73	37,39	-1,66
9	34,19	33,20	0,99	103	13,70	13,02	0,68	197	64,86	65,12	-0,26
10	187,37	186,80	0,57	104	41,45	41,87	-0,42	198	13,76	12,98	0,78
11	85,09	85,64	-0,55	105	37,91	36,32	1,59	199	12,34	13,28	-0,94
12	50,69	50,89	-0,20	106	20,96	22,63	-1,67	200	69,90	70,63	-0,73
13	39,91	40,16	-0,25	107	22,03	22,28	-0,25	201	13,56	13,16	0,40
14	20,82	21,02	-0,20	108	49,40	50,23	-0,83	202	71,20	70,92	0,28
15	27,11	26,88	0,23	109	20,35	20,20	0,15	203	1,17	0,99	0,18
16	79,46	80,29	-0,83	110	29,89	29,71	0,18	204	7,02	6,94	0,08
17	117,08	116,72	0,36	111	27,40	28,42	-1,02	205	76,31	75,27	1,04
18	17,93	18,79	-0,86	112	16,59	16,47	0,12	206	14,82	15,25	-0,43
19	6,72	5,45	1,27	113	16,68	16,34	0,34	207	140,21	139,62	0,59
20	2,50	2,50	0,00	114	40,62	39,38	1,24	208	13,30	13,49	-0,19
21	7,70	9,08	-1,38	115	2,37	3,63	-1,26	209	25,47	25,48	-0,01
22	25,46	25,12	0,34	116	27,73	27,21	0,52	210	29,96	31,11	-1,15
23	3,17	3,78	-0,61	117	92,98	93,39	-0,41	211	20,60	20,48	0,12
24	173,57	173,32	0,25	118	41,12	41,07	0,05	212	27,04	27,08	-0,04
25	72,14	71,42	0,72	119	17,44	18,05	-0,61	213	27,83	27,85	-0,02
26	8,28	8,66	-0,38	120	2,64	3,67	-1,03	214	30,68	30,67	0,01
27	3,33	3,33	0,00	121	4,48	3,70	0,78	215	16,49	16,83	-0,34
28	30,33	31,00	-0,67	122	38,37	38,68	-0,31	216	39,08	39,48	-0,40
29	10,02	9,17	0,85	123	72,52	73,60	-1,08	217	21,41	21,27	0,14
30	2,84	2,39	0,45	124	7,90	6,73	1,17	218	27,29	27,66	-0,37
31	11,21	11,81	-0,60	125	2,25	3,69	-1,44	219	13,31	13,71	-0,40
32	3,67	3,54	0,13	126	7,36	6,59	0,77	220	13,91	13,97	-0,06
33	22,43	22,16	0,27	127	15,58	16,51	-0,93	221	44,15	44,15	0,00
34	36,15	36,28	-0,13	128	10,23	9,78	0,45	222	33,06	32,27	0,79
35	89,89	88,90	0,99	129	1,41	1,63	-0,22	223	23,74	25,05	-1,31
36	16,25	16,73	-0,48	130	57,25	57,15	0,10	224	46,73	46,05	0,68
37	71,52	70,88	0,64	131	27,95	26,38	1,57	225	4,20	3,42	0,78
38	154,72	154,26	0,46	132	62,27	62,16	0,11	226	17,82	19,61	-1,79
39	20,63	20,11	0,52	133	28,29	29,09	-0,80	227	31,03	30,78	0,25
40	2,59	3,54	-0,95	134	5,56	5,35	0,21	228	66,91	67,25	-0,34
41	17,29	17,61	-0,32	135	53,12	52,62	0,50	229	2,40	2,58	-0,18
42	68,67	68,20	0,47	136	88,09	88,48	-0,39	230	6,07	4,46	1,61

Med	SARA	ERBE	≠ med	Med	SARA	ERBE	≠ med	Med	SARA	ERBE	≠ med
43	82,92	83,26	-0,34	137	10,66	10,83	-0,17	231	1,67	2,64	-0,97
44	3,75	3,72	0,03	138	26,63	28,78	-2,15	232	77,28	77,60	-0,32
45	130,22	130,32	-0,10	139	4,84	3,91	0,93	233	33,66	33,48	0,18
46	10,63	10,11	0,52	140	27,73	29,10	-1,37	234	17,75	18,29	-0,54
47	10,07	10,08	-0,01	141	39,40	38,49	0,91	235	4,01	4,06	-0,05
48	31,80	31,55	0,25	142	6,23	6,32	-0,09	236	22,87	21,15	1,72
49	25,71	26,07	-0,36	143	23,38	23,48	-0,10	237	3,13	4,00	-0,87
50	3,56	3,57	-0,01	144	2,59	2,59	0,00	238	123,25	123,46	-0,21
51	14,19	13,58	0,61	145	5,27	5,56	-0,29	239	20,43	21,21	-0,78
52	6,23	6,14	0,09	146	13,40	13,34	0,06	240	34,71	34,79	-0,08
53	20,36	19,44	0,92	147	8,96	8,88	0,08	241	18,71	18,38	0,33
54	41,86	42,86	-1,00	148	55,56	55,55	0,01	242	41,83	42,95	-1,12
55	49,28	50,04	-0,76	149	8,96	8,98	-0,02	243	12,96	12,34	0,62
56	30,24	30,21	0,03	150	41,27	40,02	1,25	244	22,48	22,07	0,41
57	40,35	39,99	0,36	151	51,75	51,31	0,44	245	35,52	35,22	0,30
58	11,90	12,43	-0,53	152	2,90	3,67	-0,77	246	10,83	12,14	-1,31
59	43,40	43,40	0,00	153	18,99	18,54	0,45	247	4,28	3,85	0,43
60	29,60	29,60	0,00	154	55,91	56,07	-0,16	248	21,86	21,88	-0,02
61	29,15	29,16	-0,01	155	3,05	3,33	-0,28	249	22,37	22,37	0,00
62	29,54	29,79	-0,25	156	30,93	30,07	0,86	250	19,82	19,42	0,40
63	59,64	58,74	0,90	157	5,95	6,05	-0,10	251	29,34	29,40	-0,06
64	27,99	28,00	-0,01	158	52,94	54,16	-1,22	252	34,78	34,85	-0,07
65	125,53	124,68	0,85	159	46,72	46,81	-0,09	253	16,83	17,83	-1,00
66	30,75	31,37	-0,62	160	6,56	6,55	0,01	254	4,07	3,26	0,81
67	38,74	38,60	0,14	161	17,70	17,65	0,05	255	11,15	9,94	1,21
68	28,40	29,15	-0,75	162	21,11	21,39	-0,28	256	6,03	7,38	-1,35
69	17,73	17,04	0,69	163	3,48	3,76	-0,28	257	66,22	66,68	-0,46
70	14,06	13,88	0,18	164	22,82	23,21	-0,39	258	6,05	6,02	0,03
71	80,31	81,26	-0,95	165	41,21	41,01	0,20	259	2,00	1,97	0,03
72	17,62	17,40	0,22	166	40,17	41,00	-0,83	260	15,86	15,86	0,00
73	41,75	41,73	0,02	167	49,01	49,49	-0,48	261	13,36	12,72	0,64
74	12,51	11,06	1,45	168	8,64	8,45	0,19	262	6,83	7,90	-1,07
75	2,99	3,85	-0,86	169	8,67	8,61	0,06	263	12,68	12,26	0,42
76	31,64	31,80	-0,16	170	31,40	31,44	-0,04	264	20,92	20,35	0,57
77	42,65	41,80	0,85	171	22,24	22,82	-0,58	265	6,78	6,97	-0,19
78	16,58	17,60	-1,02	172	15,63	15,56	0,07	266	6,75	6,64	0,11
79	26,36	26,20	0,16	173	21,74	21,76	-0,02	267	11,50	10,85	0,65
80	2,94	2,50	0,44	174	8,14	8,64	-0,50	268	26,41	26,66	-0,25
81	86,07	86,29	-0,22	175	18,64	18,07	0,57	269	76,14	76,34	-0,20
82	38,59	39,52	-0,93	176	35,57	35,91	-0,34	270	24,64	24,62	0,02
83	3,24	3,42	-0,18	177	13,62	13,84	-0,22	271	12,54	13,03	-0,49
84	13,75	14,02	-0,27	178	49,68	49,80	-0,12	272	45,66	45,85	-0,19
85	13,28	13,09	0,19	179	49,08	49,32	-0,24	273	16,83	17,27	-0,44
86	36,28	35,72	0,56	180	19,42	19,64	-0,22	274	59,29	59,67	-0,38
87	21,79	21,22	0,57	181	30,63	30,88	-0,25	275	68,59	68,82	-0,23

Med	SARA	ERBE	≠ med	Med	SARA	ERBE	≠ med	Med	SARA	ERBE	≠ med
88	2,37	3,73	-1,36	182	19,93	19,71	0,22	276	3,23	4,08	-0,85
89	20,80	20,55	0,25	183	6,09	6,51	-0,42	277	70,19	71,12	-0,93
90	19,40	19,73	-0,33	184	47,18	47,00	0,18	278	87,42	87,47	-0,05
91	11,26	10,07	1,19	185	134,19	133,31	0,88	279	4,29	4,88	-0,59
92	5,56	5,54	0,02	186	39,93	41,20	-1,27	280	35,92	36,46	-0,54
93	10,76	10,90	-0,14	187	100,14	97,79	2,35	281	10,97	11,27	-0,30
94	11,10	10,99	0,11	188	13,63	13,32	0,31	282	22,88	22,80	0,08

Fonte: O Autor.

**ANEXO D – Discrepâncias entre as coordenadas do mapeamento da SARA e
a fonte de referência (levantamento topográfico da ERBE)**

PC	SARA		ERBE		Discrepâncias		
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	Δ Horiz.
1	-1645,335	1602,382	-1644,798	1601,272	-0,537	1,110	1,233
2	-1642,398	1601,759	-1642,408	1600,811	0,010	0,948	0,948
3	-1414,938	1608,338	-1414,386	1608,556	-0,551	-0,218	0,593
4	-1400,885	1587,709	-1400,278	1587,948	-0,608	-0,239	0,653
5	-1375,520	1550,927	-1374,826	1550,865	-0,694	0,062	0,696
6	-1275,082	1433,115	-1274,080	1432,498	-1,002	0,617	1,177
7	-1260,613	1412,106	-1259,424	1411,631	-1,190	0,475	1,281
8	-1241,132	1384,009	-1240,776	1384,166	-0,356	-0,157	0,389
9	-1257,554	1380,811	-1257,119	1380,429	-0,434	0,382	0,579
10	-1134,199	1230,144	-1134,849	1230,298	0,649	-0,154	0,667
11	-1086,481	1159,699	-1086,168	1159,841	-0,313	-0,141	0,343
12	-1057,676	1117,993	-1057,235	1117,973	-0,442	0,020	0,442
13	-1034,636	1085,401	-1034,375	1084,950	-0,261	0,450	0,520
14	-1020,974	1076,223	-1021,261	1076,645	0,287	-0,423	0,511
15	-1000,066	1075,466	-1000,294	1075,196	0,229	0,271	0,354
16	-1000,231	1074,372	-1000,160	1076,151	-0,071	-1,778	1,780
17	-973,243	1071,762	-973,601	1072,048	0,357	-0,286	0,458
18	-893,931	1066,998	-893,520	1066,265	-0,411	0,733	0,840
19	-1496,147	1541,333	-1496,352	1541,592	0,205	-0,259	0,330
20	-1485,992	1526,561	-1485,684	1526,125	-0,308	0,436	0,534
21	-1482,160	1521,045	-1482,623	1521,619	0,463	-0,574	0,737
22	-1480,690	1519,019	-1481,219	1519,550	0,529	-0,531	0,749
23	-1476,287	1512,706	-1476,030	1512,100	-0,257	0,605	0,657
24	-1454,613	1477,239	-1455,010	1477,092	0,397	0,147	0,423
25	-1451,505	1476,609	-1451,297	1476,359	-0,209	0,250	0,325
26	-1290,035	1270,584	-1289,937	1270,819	-0,099	-0,235	0,255
27	-1285,262	1263,814	-1284,946	1263,746	-0,316	0,068	0,323
28	-1283,237	1261,166	-1283,044	1261,013	-0,193	0,153	0,246
29	-1266,042	1236,177	-1265,431	1235,501	-0,611	0,676	0,912
30	-1260,241	1228,003	-1260,260	1227,925	0,019	0,079	0,081
31	-1257,401	1227,979	-1257,899	1227,557	0,498	0,422	0,653
32	-1248,224	1234,411	-1248,274	1234,397	0,051	0,014	0,052
33	-1273,437	1220,647	-1273,799	1219,827	0,361	0,821	0,897
34	-1273,988	1217,020	-1274,647	1216,388	0,659	0,632	0,913
35	-1238,166	1195,223	-1237,932	1195,547	-0,234	-0,325	0,400
36	-1217,699	1165,419	-1217,492	1165,576	-0,207	-0,156	0,259
37	-1596,825	1504,678	-1597,267	1504,728	0,442	-0,050	0,445
38	-1587,531	1491,352	-1587,675	1491,018	0,144	0,334	0,363
39	-1547,018	1460,581	-1547,600	1459,877	0,582	0,704	0,914
40	-1535,328	1443,585	-1536,066	1443,400	0,738	0,185	0,761
41	-1532,764	1443,197	-1532,580	1442,786	-0,184	0,411	0,450

PC	SARA		ERBE		Discrepâncias		
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	Δ Horiz.
42	-1518,514	1452,983	-1518,102	1452,819	-0,412	0,165	0,444
43	-1523,032	1430,385	-1523,638	1429,947	0,606	0,438	0,748
44	-1523,482	1426,667	-1524,282	1426,281	0,800	0,386	0,889
45	-1483,214	1341,465	-1483,749	1340,230	0,535	1,236	1,346
46	-1477,237	1332,679	-1477,998	1331,912	0,761	0,767	1,081
47	-1471,419	1324,455	-1472,265	1323,620	0,846	0,835	1,189
48	-1449,400	1319,568	-1449,920	1319,254	0,520	0,314	0,607
49	-1424,736	1283,857	-1425,412	1283,433	0,676	0,425	0,799
50	-1400,346	1300,630	-1401,065	1300,266	0,719	0,363	0,806
51	-1376,466	1317,351	-1377,128	1316,918	0,662	0,433	0,791
52	-1453,312	1298,317	-1454,286	1297,689	0,975	0,628	1,159
53	-1438,536	1277,279	-1439,379	1276,304	0,843	0,975	1,289
54	-1439,289	1273,798	-1440,167	1272,821	0,878	0,977	1,314
55	-1356,500	1236,186	-1356,492	1236,222	-0,009	-0,035	0,036
56	-1379,633	1220,425	-1379,467	1220,214	-0,166	0,211	0,269
57	-1358,046	1159,634	-1358,329	1158,664	0,283	0,970	1,011
58	-1676,121	1472,599	-1676,639	1472,660	0,519	-0,061	0,522
59	-1658,582	1447,346	-1658,901	1446,785	0,319	0,561	0,645
60	-1581,887	1335,799	-1582,765	1335,629	0,878	0,171	0,894
61	-1575,195	1325,957	-1575,739	1325,371	0,544	0,586	0,799
62	-1552,237	1292,772	-1553,220	1292,329	0,983	0,442	1,078
63	-1535,199	1267,787	-1536,293	1267,303	1,094	0,485	1,196
64	-1507,437	1227,075	-1507,682	1226,254	0,245	0,821	0,857
65	-1499,327	1214,220	-1498,928	1213,150	-0,400	1,070	1,142
66	-1467,326	1236,055	-1467,094	1234,988	-0,231	1,068	1,093
67	-1372,494	1030,341	-1372,661	1030,515	0,167	-0,174	0,241
68	-1364,520	1018,763	-1364,756	1019,109	0,236	-0,346	0,419
69	-1318,189	953,166	-1318,231	952,484	0,043	0,682	0,684
70	-1308,019	938,772	-1308,139	938,311	0,120	0,461	0,477
71	-1472,951	1250,795	-1472,375	1250,551	-0,576	0,244	0,626
72	-1456,197	1262,356	-1456,357	1261,566	0,160	0,791	0,807
73	-1451,096	1265,928	-1451,321	1265,077	0,225	0,851	0,880
74	-1444,064	1252,354	-1443,120	1251,574	-0,944	0,780	1,224
75	-1308,182	1193,063	-1308,937	1192,602	0,755	0,460	0,884
76	-993,032	474,628	-991,978	474,034	-1,054	0,595	1,210
77	-985,807	464,414	-985,614	464,984	-0,193	-0,571	0,602
78	-982,821	464,218	-981,802	464,412	-1,019	-0,194	1,037
79	-958,605	484,574	-957,421	484,834	-1,184	-0,260	1,212
80	-1109,822	862,620	-1109,069	863,120	-0,753	-0,500	0,904
81	-1106,656	861,921	-1105,683	862,630	-0,973	-0,708	1,204
82	-1098,911	850,554	-1097,843	851,011	-1,069	-0,457	1,162
83	-1091,453	839,569	-1090,414	840,233	-1,039	-0,664	1,233
84	-1071,216	809,459	-1070,677	810,462	-0,539	-1,003	1,139
85	-1069,041	829,800	-1068,630	830,135	-0,411	-0,335	0,530

PC	SARA		ERBE		Discrepâncias		
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	Δ Horiz.
86	-1065,947	825,184	-1065,510	825,560	-0,437	-0,375	0,576
87	-1060,010	816,215	-1059,524	816,456	-0,486	-0,241	0,543
88	-1059,122	791,329	-1058,896	792,809	-0,225	-1,481	1,498
89	-1059,354	788,967	-1059,611	789,153	0,258	-0,185	0,317
90	-1076,321	776,928	-1076,425	777,332	0,104	-0,404	0,417
91	-987,034	706,963	-986,573	707,760	-0,461	-0,797	0,921
92	-977,707	712,985	-977,347	713,741	-0,360	-0,756	0,837
93	-976,825	691,796	-976,404	692,353	-0,421	-0,557	0,698
94	-972,319	685,160	-971,801	685,428	-0,519	-0,268	0,584
95	-982,786	677,252	-981,701	677,197	-1,085	0,055	1,087
96	-973,557	663,466	-972,577	663,481	-0,980	-0,015	0,980
97	-964,298	649,594	-963,265	650,048	-1,033	-0,454	1,128
98	-949,953	651,842	-949,567	651,925	-0,386	-0,083	0,395
99	-945,458	645,117	-945,302	645,571	-0,156	-0,454	0,480
100	-930,724	622,976	-931,178	624,507	0,454	-1,532	1,598
101	-928,933	622,699	-927,737	623,899	-1,196	-1,200	1,694
102	-916,888	630,998	-917,611	631,149	0,723	-0,151	0,739
103	-941,599	615,911	-941,641	617,139	0,042	-1,227	1,228
104	-941,988	613,569	-942,323	613,568	0,335	0,001	0,335
105	-964,865	597,891	-964,558	597,881	-0,307	0,010	0,308
106	-899,828	576,990	-899,777	577,317	-0,051	-0,327	0,331
107	-890,115	562,505	-889,765	562,298	-0,350	0,208	0,407
108	-892,122	542,144	-891,233	542,069	-0,889	0,075	0,892
109	-892,784	539,280	-891,637	539,607	-1,147	-0,327	1,193
110	-913,065	522,446	-911,727	522,788	-1,338	-0,342	1,381
111	-1092,161	1035,057	-1091,368	1035,951	-0,793	-0,894	1,195
112	-1094,289	1033,487	-1094,313	1033,767	0,024	-0,280	0,281
113	-1094,909	1029,046	-1094,841	1030,104	-0,068	-1,058	1,060
114	-1072,462	997,925	-1071,808	999,024	-0,654	-1,099	1,279
115	-1039,732	915,709	-1038,186	916,384	-1,546	-0,675	1,687
116	-1033,484	920,542	-1032,774	920,385	-0,710	0,158	0,727
117	-1031,252	920,257	-1029,136	919,785	-2,116	0,472	2,168
118	-1017,113	923,080	-1016,566	924,254	-0,547	-1,174	1,295
119	-1007,824	910,567	-1006,673	911,042	-1,151	-0,475	1,245
120	-1001,697	902,379	-1000,914	903,132	-0,783	-0,754	1,087
121	-1000,863	901,246	-999,980	901,801	-0,883	-0,555	1,043
122	-1014,584	897,820	-1013,393	898,612	-1,191	-0,793	1,431
123	-953,120	814,762	-951,470	815,290	-1,650	-0,528	1,733
124	-949,706	810,379	-948,304	810,975	-1,402	-0,596	1,524
125	-889,906	770,204	-889,445	771,154	-0,461	-0,950	1,056
126	-898,791	764,313	-898,455	765,152	-0,336	-0,839	0,904
127	-880,547	717,611	-879,564	717,890	-0,982	-0,280	1,021
128	-868,387	701,297	-867,512	701,678	-0,875	-0,381	0,955
129	-967,562	1024,408	-966,569	1025,499	-0,993	-1,092	1,476

PC	SARA		ERBE		Discrepâncias		
	X	Y	X	Y	Δ X	Δ Y	Δ Horiz.
130	-951,734	1002,990	-949,485	1002,335	-2,249	0,655	2,342
131	-952,012	998,156	-950,129	998,478	-1,883	-0,322	1,910
132	-974,036	981,311	-973,409	981,023	-0,627	0,288	0,690
133	-943,551	988,039	-941,936	988,632	-1,615	-0,593	1,720
134	-941,029	987,471	-939,366	988,337	-1,663	-0,866	1,875
135	-937,719	983,000	-936,297	984,053	-1,422	-1,053	1,770
136	-929,738	972,238	-928,265	973,404	-1,473	-1,166	1,879
137	-924,318	965,109	-923,029	966,226	-1,289	-1,117	1,706
138	-907,440	963,931	-906,286	965,476	-1,154	-1,544	1,928
139	-891,445	920,313	-890,271	921,360	-1,174	-1,048	1,573
140	-876,714	922,294	-876,249	923,879	-0,465	-1,585	1,652
141	-873,853	921,849	-872,634	923,237	-1,219	-1,388	1,847
142	-866,037	911,434	-865,456	913,111	-0,581	-1,678	1,775
143	-866,359	908,398	-865,861	909,803	-0,498	-1,405	1,491
144	-847,930	883,559	-847,985	885,619	0,055	-2,060	2,061
145	-844,366	878,790	-844,400	880,741	0,034	-1,951	1,951
146	-850,996	865,550	-850,043	866,794	-0,953	-1,243	1,567
147	-847,040	860,319	-846,122	861,541	-0,918	-1,222	1,529
148	-836,482	846,114	-835,668	847,318	-0,814	-1,204	1,454
149	-732,717	728,980	-732,515	730,246	-0,202	-1,265	1,282
150	-734,567	726,032	-734,536	727,072	-0,031	-1,040	1,040
151	-725,347	705,161	-725,193	705,820	-0,154	-0,659	0,677
152	-1140,475	839,183	-1140,754	839,496	0,279	-0,313	0,419
153	-1071,666	907,539	-1070,927	907,582	-0,739	-0,043	0,740
154	-1010,511	953,751	-1009,092	953,920	-1,419	-0,169	1,429
155	-1005,536	957,492	-1004,040	957,718	-1,496	-0,226	1,513
156	-982,375	958,612	-980,722	959,511	-1,653	-0,898	1,882
157	-975,449	963,782	-973,973	964,600	-1,476	-0,817	1,687
158	-968,543	969,025	-967,147	969,853	-1,396	-0,827	1,623
159	-1101,301	759,161	-1101,504	759,459	0,202	-0,298	0,361
160	-1092,189	765,772	-1092,498	765,891	0,310	-0,119	0,332
161	-1029,382	810,378	-1028,721	811,186	-0,662	-0,807	1,044
162	-1016,683	819,487	-1016,001	820,147	-0,682	-0,659	0,949
163	-998,999	832,136	-998,333	832,855	-0,666	-0,719	0,980
164	-992,353	836,841	-991,262	837,823	-1,091	-0,982	1,468
165	-930,171	866,095	-929,525	867,337	-0,645	-1,243	1,400
166	-919,129	874,072	-918,349	875,494	-0,780	-1,423	1,623
167	-926,727	883,850	-926,112	884,707	-0,615	-0,857	1,055
168	-911,025	895,273	-910,084	896,057	-0,941	-0,784	1,225
169	-858,410	932,904	-857,548	934,010	-0,862	-1,106	1,402
170	-849,865	923,084	-849,427	924,582	-0,438	-1,498	1,560
171	-844,953	926,692	-844,165	928,420	-0,788	-1,728	1,899
172	-736,641	1046,407	-736,168	1046,319	-0,472	0,087	0,480
173	-737,294	1006,479	-737,094	1005,135	-0,200	1,345	1,359

PC	SARA		ERBE		Discrepâncias		
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	Δ Horiz.
174	-739,491	906,363	-739,499	907,372	0,008	-1,009	1,009
175	-739,783	892,732	-739,571	894,056	-0,213	-1,324	1,341
176	-740,745	848,506	-740,367	849,541	-0,379	-1,035	1,102
177	-740,419	866,872	-739,912	867,855	-0,507	-0,983	1,106
178	-1049,241	666,559	-1049,705	666,826	0,464	-0,267	0,535
179	-1042,837	670,806	-1043,190	670,967	0,353	-0,161	0,388
180	-1034,138	676,320	-1034,463	676,592	0,324	-0,272	0,423
181	-1027,843	680,369	-1028,787	680,295	0,943	0,074	0,946
182	-945,973	733,716	-946,949	733,619	0,977	0,096	0,982
183	-928,388	745,130	-928,020	746,016	-0,368	-0,885	0,959
184	-939,764	753,356	-939,322	754,147	-0,442	-0,791	0,906
185	-928,290	760,953	-928,415	761,190	0,125	-0,237	0,268
186	-895,748	645,783	-895,092	646,363	-0,655	-0,580	0,875
187	-884,554	653,676	-884,332	653,697	-0,222	-0,021	0,223
188	-865,433	650,957	-864,573	652,015	-0,860	-1,059	1,364
189	-854,325	658,741	-853,857	659,653	-0,468	-0,911	1,024
190	-925,709	511,727	-925,257	511,532	-0,453	0,195	0,493
191	-607,319	1010,605	-607,716	1010,658	0,397	-0,053	0,401
192	-572,500	999,939	-571,434	1000,447	-1,066	-0,509	1,181
193	-503,791	981,283	-503,110	981,429	-0,681	-0,145	0,697
194	-442,626	984,758	-442,592	984,817	-0,034	-0,059	0,068
195	-441,627	985,365	-441,830	985,447	0,203	-0,082	0,219
196	-439,576	992,074	-439,969	992,136	0,393	-0,062	0,398
197	-619,505	935,275	-618,870	936,217	-0,635	-0,942	1,137
198	-621,795	920,633	-620,980	921,119	-0,815	-0,486	0,948
199	-647,370	782,774	-646,501	783,854	-0,869	-1,080	1,386
200	-649,816	769,697	-649,129	770,782	-0,688	-1,085	1,285
201	-729,180	381,793	-727,840	381,649	-1,340	0,144	1,348
202	-751,236	355,894	-749,897	355,043	-1,339	0,851	1,586
203	-700,092	341,843	-700,232	341,987	0,140	-0,143	0,201
204	-704,011	296,294	-703,659	296,401	-0,353	-0,108	0,369
205	-699,248	299,027	-700,039	298,380	0,791	0,647	1,022
206	-699,320	266,706	-698,560	265,712	-0,760	0,994	1,252
207	-696,096	246,361	-695,072	245,529	-1,024	0,833	1,320
208	-691,656	219,686	-690,730	218,797	-0,926	0,888	1,283
209	-681,995	218,909	-680,100	217,965	-1,895	0,943	2,117
210	-672,627	245,117	-670,974	244,282	-1,653	0,835	1,852
211	-700,708	170,542	-700,286	169,904	-0,422	0,638	0,765
212	-731,178	166,953	-730,760	166,476	-0,418	0,477	0,635
213	-480,087	801,771	-479,878	801,846	-0,209	-0,075	0,222
214	-484,674	785,931	-484,450	785,645	-0,224	0,286	0,363
215	-506,295	545,697	-504,825	545,897	-1,469	-0,200	1,483
216	-504,251	524,382	-502,754	524,731	-1,497	-0,349	1,537
217	-501,588	497,218	-499,934	497,217	-1,654	0,002	1,654

PC	SARA		ERBE		Discrepâncias		
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	Δ Horiz.
218	-500,449	483,961	-498,662	483,565	-1,787	0,397	1,831
219	-499,071	470,116	-497,250	469,668	-1,821	0,448	1,875
220	-699,666	729,533	-700,246	730,801	0,580	-1,268	1,394
221	-675,936	730,237	-675,203	731,409	-0,733	-1,173	1,383
222	-1611,861	581,663	-1612,175	581,175	0,314	0,488	0,580
223	-1651,820	605,891	-1651,599	604,969	-0,221	0,921	0,948
224	-1652,032	610,082	-1652,417	608,293	0,385	1,789	1,830
225	-1637,771	620,769	-1636,805	620,160	-0,967	0,609	1,142
226	-1465,209	750,864	-1464,699	750,916	-0,510	-0,052	0,513
227	-1553,212	545,962	-1552,084	544,678	-1,128	1,284	1,709
228	-1550,816	546,157	-1549,507	544,847	-1,308	1,310	1,852
229	-1545,852	549,659	-1545,889	547,450	0,038	2,209	2,209
230	-1545,802	551,331	-1545,450	550,053	-0,352	1,277	1,325
231	-1592,739	612,724	-1592,067	612,087	-0,672	0,637	0,926
232	-1476,018	583,911	-1475,518	582,619	-0,500	1,292	1,385
233	-1461,543	594,190	-1460,623	593,241	-0,921	0,949	1,322
234	-1457,559	593,703	-1456,605	592,687	-0,954	1,016	1,394
235	-1443,713	575,504	-1443,858	575,807	0,145	-0,303	0,336
236	-1441,867	572,980	-1441,388	572,658	-0,479	0,322	0,577
237	-1289,576	731,798	-1289,579	731,945	0,002	-0,147	0,147
238	-1266,661	736,331	-1266,171	736,084	-0,489	0,246	0,548
239	-1263,676	754,908	-1263,852	755,365	0,176	-0,457	0,490
240	-1249,864	767,534	-1250,204	767,670	0,341	-0,136	0,367
241	-1334,353	466,652	-1333,831	466,835	-0,521	-0,183	0,553
242	-1342,291	476,890	-1341,438	476,558	-0,853	0,332	0,915
243	-1323,383	489,055	-1322,891	488,519	-0,492	0,536	0,728
244	-1337,912	494,073	-1337,395	493,648	-0,516	0,425	0,669
245	-1346,946	488,095	-1346,374	487,396	-0,572	0,698	0,903
246	-1351,158	488,868	-1350,146	488,175	-1,012	0,693	1,227
247	-1319,648	506,084	-1319,195	505,787	-0,454	0,297	0,543
248	-1293,539	508,319	-1293,319	507,649	-0,220	0,670	0,705
249	-1265,632	526,234	-1265,791	525,760	0,159	0,474	0,500
250	-1241,008	542,185	-1241,181	541,848	0,173	0,338	0,379
251	-1487,060	506,055	-1486,882	505,089	-0,178	0,966	0,982
252	-1472,652	497,350	-1471,568	495,962	-1,084	1,388	1,762
253	-1258,281	377,722	-1258,537	377,050	0,255	0,672	0,719
254	-1261,734	375,574	-1261,187	375,150	-0,547	0,425	0,692
255	-1256,593	365,679	-1257,569	365,888	0,976	-0,208	0,998
256	-1251,338	362,726	-1251,324	361,960	-0,013	0,766	0,766
257	-1337,569	765,175	-1337,507	764,339	-0,062	0,836	0,838
258	-1334,047	760,254	-1334,107	759,366	0,060	0,889	0,891
259	-1332,913	758,605	-1332,980	757,754	0,067	0,850	0,853
260	-1323,927	745,534	-1323,856	744,781	-0,072	0,753	0,756
261	-1316,275	734,586	-1316,688	734,272	0,413	0,313	0,519

PC	SARA		ERBE		Discrepâncias		
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	Δ Horiz.
262	-1312,399	728,959	-1312,265	727,727	-0,134	1,232	1,239
263	-1285,938	691,206	-1286,364	690,492	0,426	0,714	0,831
264	-1282,074	685,640	-1282,303	684,823	0,229	0,817	0,849
265	-1278,264	680,072	-1278,549	679,345	0,285	0,726	0,780
266	-1271,796	670,567	-1272,284	670,485	0,488	0,082	0,495
267	-1157,399	505,665	-1157,503	505,241	0,105	0,424	0,436
268	-1675,264	346,923	-1675,495	345,872	0,230	1,051	1,076
269	-1650,630	346,286	-1650,881	345,178	0,251	1,107	1,135
270	-1646,946	358,272	-1647,333	357,711	0,387	0,561	0,681
271	-1460,284	345,763	-1460,646	344,776	0,362	0,987	1,051
272	-1449,274	333,031	-1449,111	331,923	-0,163	1,108	1,120
273	-1549,906	341,320	-1549,787	340,863	-0,119	0,457	0,472
274	-1547,212	343,096	-1546,397	343,133	-0,815	-0,036	0,815
275	-1577,238	256,191	-1576,796	256,118	-0,441	0,073	0,447
276	-1544,607	242,902	-1544,476	242,410	-0,131	0,492	0,509
277	-1541,470	239,973	-1540,923	239,071	-0,547	0,901	1,054
278	-1554,750	187,750	-1553,481	186,547	-1,269	1,203	1,749
279	-1545,802	194,090	-1544,258	193,017	-1,544	1,074	1,881

Fonte: O Autor.

**ANEXO E – Discrepâncias entre as coordenadas do mapeamento da SARA e
a fonte de referência (levantamento topográfico da ERBE)**

PC	SMDU		ERBE		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz
1	332035.520	7396879.024	332035.638	7396878.935	-0.118	0.089	0.147
2	332038.092	7396878.732	332038.032	7396878.501	0.059	0.231	0.239
3	332265.559	7396888.414	332265.912	7396888.833	-0.353	-0.419	0.548
4	332279.995	7396868.182	332280.251	7396868.390	-0.257	-0.208	0.331
5	332306.040	7396831.370	332306.118	7396831.605	-0.078	-0.235	0.247
6	332407.954	7396715.001	332408.184	7396714.410	-0.230	0.591	0.634
7	332422.508	7396694.408	332423.074	7396693.714	-0.566	0.694	0.896
8	332442.550	7396666.050	332442.029	7396666.467	0.521	-0.417	0.667
9	332425.640	7396662.605	332425.732	7396662.545	-0.092	0.060	0.110
10	332549.930	7396513.680	332549.678	7396513.838	0.252	-0.158	0.298
11	332599.764	7396444.052	332599.147	7396443.950	0.617	0.102	0.626
12	332629.239	7396402.574	332628.549	7396402.421	0.690	0.153	0.706
13	332652.460	7396369.170	332651.778	7396369.666	0.682	-0.496	0.843
14	332663.990	7396360.800	332664.984	7396361.512	-0.993	-0.712	1.222
15	332685.930	7396359.460	332685.961	7396360.301	-0.031	-0.841	0.841
16	332686.110	7396360.940	332686.085	7396361.257	0.025	-0.317	0.318
17	332711.990	7396357.250	332712.685	7396357.456	-0.695	-0.206	0.725
18	332792.730	7396352.187	332792.811	7396352.585	-0.081	-0.398	0.406
19	332184.905	7396820.384	332184.726	7396820.954	0.179	-0.570	0.598
20	332195.108	7396805.929	332195.567	7396805.612	-0.459	0.316	0.558
21	332198.505	7396801.116	332198.678	7396801.142	-0.174	-0.025	0.175
22	332200.053	7396798.922	332200.106	7396799.090	-0.053	-0.168	0.176
23	332205.262	7396791.542	332205.378	7396791.700	-0.116	-0.159	0.196
24	332226.800	7396756.750	332226.791	7396756.939	0.009	-0.189	0.189
25	332230.190	7396756.350	332230.511	7396756.249	-0.321	0.101	0.337
26	332394.438	7396552.579	332394.167	7396552.588	0.271	-0.010	0.271
27	332399.455	7396545.527	332399.237	7396545.574	0.219	-0.048	0.224
28	332400.877	7396543.528	332401.169	7396542.863	-0.292	0.665	0.726
29	332419.123	7396517.883	332419.068	7396517.557	0.056	0.326	0.330
30	332424.440	7396510.410	332424.323	7396510.041	0.117	0.369	0.387
31	332426.740	7396510.160	332426.688	7396509.700	0.052	0.460	0.463
32	332436.376	7396516.981	332436.233	7396516.648	0.144	0.332	0.362
33	332410.280	7396501.970	332410.880	7396501.792	-0.600	0.178	0.626
34	332409.710	7396498.410	332410.071	7396498.344	-0.361	0.066	0.367
35	332447.026	7396478.047	332447.014	7396477.925	0.012	0.122	0.122
36	332467.897	7396448.148	332467.789	7396448.193	0.108	-0.045	0.117
37	332084.227	7396782.908	332084.254	7396782.953	-0.026	-0.045	0.052
38	332093.896	7396769.257	332093.999	7396769.356	-0.103	-0.098	0.142
39	332134.423	7396739.129	332134.418	7396738.677	0.005	0.453	0.453
40	332146.130	7396722.780	332146.136	7396722.335	-0.006	0.445	0.445
41	332149.350	7396722.120	332149.628	7396721.760	-0.278	0.360	0.455

PC	SMDU		ERBE		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	ΔE	ΔN	$\Delta Horiz$
42	332163.749	7396732.281	332163.989	7396731.955	-0.240	0.327	0.405
43	332158.860	7396708.720	332158.714	7396709.026	0.146	-0.306	0.339
44	332158.180	7396705.590	332158.112	7396705.353	0.068	0.237	0.247
45	332199.249	7396619.869	332199.612	7396619.783	-0.363	0.087	0.373
46	332205.260	7396611.430	332205.456	7396611.532	-0.196	-0.102	0.221
47	332211.271	7396602.991	332211.282	7396603.307	-0.011	-0.316	0.316
48	332233.462	7396598.771	332233.671	7396599.196	-0.209	-0.424	0.473
49	332258.460	7396563.300	332258.580	7396563.661	-0.120	-0.361	0.381
50	332283.009	7396580.691	332282.730	7396580.768	0.279	-0.077	0.290
51	332306.153	7396597.086	332306.473	7396597.687	-0.320	-0.601	0.681
52	332229.450	7396577.563	332229.551	7396577.586	-0.100	-0.023	0.103
53	332244.870	7396556.300	332244.698	7396556.376	0.172	-0.076	0.188
54	332244.380	7396553.000	332243.949	7396552.885	0.431	0.116	0.446
55	332328.121	7396516.948	332328.020	7396517.244	0.101	-0.295	0.312
56	332305.333	7396500.684	332305.232	7396500.979	0.100	-0.295	0.311
57	332326.640	7396439.540	332327.064	7396439.684	-0.424	-0.144	0.447
58	332005.280	7396750.770	332005.264	7396749.992	0.016	0.778	0.778
59	332023.511	7396724.451	332023.292	7396724.324	0.219	0.127	0.253
60	332100.827	7396613.598	332100.672	7396614.058	0.155	-0.461	0.486
61	332107.743	7396603.802	332107.813	7396603.883	-0.070	-0.082	0.108
62	332130.913	7396570.982	332130.701	7396571.105	0.211	-0.123	0.244
63	332148.091	7396546.551	332147.909	7396546.276	0.182	0.274	0.329
64	332176.702	7396505.457	332176.979	7396505.562	-0.277	-0.105	0.296
65	332186.470	7396492.460	332185.880	7396492.561	0.590	-0.101	0.599
66	332217.460	7396514.471	332217.458	7396514.754	0.002	-0.284	0.284
67	332314.663	7396310.812	332314.191	7396311.403	0.472	-0.591	0.756
68	332322.451	7396299.901	332322.223	7396300.089	0.228	-0.188	0.295
69	332369.642	7396233.792	332369.493	7396234.007	0.149	-0.215	0.262
70	332380.080	7396219.170	332379.744	7396219.953	0.336	-0.783	0.852
71	332211.207	7396530.104	332212.001	7396530.254	-0.794	-0.151	0.808
72	332227.749	7396541.521	332227.891	7396541.448	-0.142	0.073	0.159
73	332233.039	7396545.172	332232.886	7396545.016	0.153	0.156	0.218
74	332241.145	7396531.293	332241.238	7396531.609	-0.093	-0.316	0.329
75	332375.631	7396474.278	332376.059	7396474.175	-0.428	0.104	0.440
76	332701.050	7395759.740	332701.103	7395759.376	-0.053	0.364	0.368
77	332707.570	7395750.590	332707.567	7395750.401	0.003	0.189	0.189
78	332711.550	7395750.390	332711.385	7395749.872	0.165	0.518	0.543
79	332735.420	7395770.960	332735.528	7395770.566	-0.109	0.394	0.409
80	332579.630	7396146.970	332579.620	7396147.040	0.010	-0.070	0.071
81	332583.000	7396146.120	332583.012	7396146.588	-0.012	-0.468	0.468
82	332590.579	7396135.019	332590.982	7396135.062	-0.403	-0.043	0.406
83	332598.185	7396123.876	332598.531	7396124.370	-0.346	-0.494	0.603
84	332618.301	7396094.411	332618.602	7396094.830	-0.301	-0.419	0.516
85	332620.731	7396114.931	332620.424	7396114.522	0.307	0.408	0.511

PC	SMDU		ERBE		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz
86	332624.020	7396110.160	332623.596	7396109.983	0.424	0.177	0.459
87	332630.026	7396101.447	332629.684	7396100.950	0.343	0.498	0.604
88	332630.050	7396077.200	332630.580	7396077.316	-0.530	-0.116	0.542
89	332629.740	7396073.660	332629.907	7396073.652	-0.166	0.008	0.167
90	332613.231	7396061.643	332613.231	7396061.643	0.000	0.000	0.000
91	332704.266	7395992.913	332703.852	7395993.109	0.414	-0.196	0.458
92	332713.083	7395998.846	332713.008	7395999.193	0.075	-0.347	0.355
93	332714.530	7395977.850	332714.193	7395977.820	0.336	0.030	0.338
94	332719.040	7395971.230	332718.874	7395970.950	0.166	0.281	0.326
95	332708.813	7395962.712	332709.070	7395962.608	-0.257	0.104	0.277
96	332718.323	7395949.002	332718.348	7395948.998	-0.024	0.004	0.025
97	332727.764	7395935.393	332727.809	7395935.674	-0.045	-0.282	0.285
98	332741.832	7395937.781	332741.483	7395937.707	0.348	0.074	0.356
99	332746.164	7395931.423	332745.819	7395931.402	0.345	0.021	0.345
100	332760.250	7395910.750	332760.179	7395910.504	0.071	0.246	0.256
101	332763.580	7395910.050	332763.626	7395909.935	-0.046	0.115	0.124
102	332774.123	7395917.526	332773.667	7395917.299	0.456	0.227	0.509
103	332750.790	7395902.200	332749.802	7395903.019	0.988	-0.819	1.283
104	332750.180	7395899.800	332749.161	7395899.441	1.019	0.359	1.081
105	332727.181	7395883.679	332727.109	7395883.505	0.071	0.174	0.188
106	332792.401	7395863.911	332792.108	7395863.682	0.292	0.229	0.371
107	332802.571	7395849.021	332802.288	7395848.780	0.283	0.241	0.372
108	332800.310	7395828.480	332801.051	7395828.540	-0.741	-0.060	0.743
109	332800.030	7395826.640	332800.675	7395826.073	-0.645	0.567	0.859
110	332780.253	7395809.596	332780.781	7395809.031	-0.528	0.566	0.774
111	332594.490	7396319.610	332595.355	7396320.031	-0.865	-0.421	0.962
112	332591.660	7396317.420	332592.435	7396317.814	-0.775	-0.394	0.870
113	332591.460	7396314.210	332591.949	7396314.146	-0.489	0.064	0.493
114	332615.133	7396283.152	332615.329	7396283.335	-0.196	-0.183	0.269
115	332649.849	7396200.871	332649.882	7396201.096	-0.033	-0.225	0.227
116	332655.210	7396205.000	332655.248	7396205.157	-0.038	-0.157	0.162
117	332658.7	7396204.64	332658.8911	7396204.6	-0.191	0.041	0.195
118	332671.567	7396209.867	332671.407	7396209.210	0.159	0.658	0.677
119	332681.669	7396196.459	332681.448	7396196.114	0.222	0.346	0.411
120	332687.579	7396188.617	332687.295	7396188.271	0.283	0.346	0.447
121	332688.557	7396187.318	332688.244	7396186.951	0.313	0.367	0.483
122	332674.500	7396183.810	332674.871	7396183.611	-0.371	0.199	0.421
123	332737.239	7396100.919	332737.726	7396101.011	-0.487	-0.092	0.496
124	332740.587	7396096.488	332740.939	7396096.734	-0.352	-0.245	0.429
125	332800.070	7396057.150	332800.236	7396057.590	-0.166	-0.440	0.471
126	332791.736	7396051.568	332791.297	7396051.487	0.439	0.081	0.446
127	332810.370	7396004.309	332810.720	7396004.451	-0.350	-0.142	0.378
128	332822.497	7395988.308	332822.954	7395988.379	-0.457	-0.071	0.462
129	332719.840	7396310.680	332720.243	7396310.999	-0.403	-0.319	0.514

PC	SMDU		ERBE		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz
130	332737.51	7396286.78	332737.5857	7396288.034	-0.076	-1.254	1.256
131	332737.060	7396284.880	332736.986	7396284.171	0.074	0.709	0.713
132	332714.850	7396267.590	332713.909	7396266.456	0.941	1.134	1.474
133	332745.030	7396273.650	332745.289	7396274.420	-0.259	-0.770	0.812
134	332747.020	7396273.340	332747.861	7396274.155	-0.841	-0.815	1.171
135	332750.143	7396269.252	332750.979	7396269.907	-0.836	-0.655	1.062
136	332758.045	7396258.906	332759.129	7396259.351	-1.084	-0.445	1.172
137	332763.459	7396251.819	332764.445	7396252.234	-0.987	-0.415	1.070
138	332780.948	7396251.539	332781.193	7396251.674	-0.245	-0.135	0.280
139	332797.258	7396207.559	332797.705	7396207.751	-0.447	-0.192	0.487
140	332811.830	7396210.500	332811.696	7396210.429	0.134	0.071	0.152
141	332814.910	7396209.670	332815.316	7396209.828	-0.406	-0.157	0.436
142	332823.705	7396199.230	332822.608	7396199.786	1.097	-0.556	1.230
143	332822.630	7396196.620	332822.240	7396196.474	0.390	0.146	0.416
144	332840.591	7396172.520	332840.387	7396172.499	0.203	0.022	0.204
145	332844.027	7396167.938	332844.026	7396167.662	0.001	0.276	0.276
146	332837.899	7396153.600	332838.544	7396153.654	-0.644	-0.055	0.647
147	332841.916	7396148.267	332842.523	7396148.448	-0.608	-0.181	0.634
148	332852.729	7396133.910	332853.136	7396134.347	-0.406	-0.437	0.597
149	332957.490	7396018.070	332957.594	7396018.473	-0.104	-0.403	0.416
150	332956.000	7396014.780	332955.609	7396015.277	0.391	-0.497	0.633
151	332965.451	7395994.231	332965.191	7395994.137	0.260	0.093	0.276
152	332548.639	7396123.202	332548.211	7396123.061	0.428	0.140	0.450
153	332616.900	7396192.410	332617.248	7396191.925	-0.348	0.485	0.597
154	332678.100	7396239.010	332678.543	7396238.954	-0.443	0.056	0.446
155	332683.274	7396243.008	332683.551	7396242.808	-0.277	0.200	0.342
156	332706.909	7396244.431	332706.843	7396244.865	0.066	-0.434	0.439
157	332713.697	7396249.634	332713.532	7396250.030	0.165	-0.396	0.429
158	332720.523	7396254.866	332720.297	7396255.359	0.226	-0.493	0.543
159	332587.884	7396043.344	332588.362	7396043.490	-0.477	-0.146	0.499
160	332597.123	7396050.036	332597.291	7396050.022	-0.168	0.014	0.169
161	332660.322	7396096.277	332660.540	7396096.031	-0.217	0.246	0.328
162	332673.193	7396105.757	332673.154	7396105.134	0.038	0.623	0.624
163	332690.370	7396118.409	332690.674	7396118.040	-0.303	0.369	0.478
164	332697.500	7396123.661	332697.687	7396123.087	-0.188	0.574	0.604
165	332759.381	7396153.229	332759.074	7396153.295	0.307	-0.066	0.314
166	332770.369	7396161.281	332770.155	7396161.577	0.214	-0.296	0.366
167	332762.530	7396171.170	332762.289	7396170.700	0.241	0.471	0.529
168	332777.773	7396182.446	332778.184	7396182.229	-0.411	0.217	0.464
169	332829.628	7396220.453	332830.277	7396220.769	-0.649	-0.317	0.722
170	332838.712	7396210.687	332838.503	7396211.436	0.209	-0.749	0.777
171	332844.321	7396214.839	332843.721	7396215.332	0.600	-0.493	0.777
172	332950.150	7396334.710	332950.352	7396334.430	-0.202	0.280	0.345
173	332949.795	7396293.110	332949.895	7396293.245	-0.099	-0.134	0.167

PC	SMDU		ERBE		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz
174	332948.962	7396195.480	332948.600	7396195.478	0.362	0.002	0.362
175	332948.848	7396182.100	332948.680	7396182.165	0.168	-0.065	0.180
176	332948.470	7396137.740	332948.389	7396137.651	0.080	0.089	0.120
177	332948.630	7396156.490	332948.636	7396155.966	-0.006	0.524	0.524
178	332641.617	7395951.344	332641.200	7395951.466	0.417	-0.122	0.434
179	332647.929	7395955.572	332647.666	7395955.681	0.262	-0.109	0.284
180	332656.469	7395961.292	332656.328	7395961.403	0.141	-0.111	0.180
181	332662.488	7395965.323	332661.960	7395965.170	0.528	0.153	0.549
182	332743.128	7396019.063	332743.172	7396019.411	-0.044	-0.348	0.351
183	332761.939	7396031.721	332761.956	7396032.020	-0.017	-0.299	0.299
184	332750.452	7396040.138	332750.565	7396040.021	-0.113	0.117	0.163
185	332761.159	7396047.271	332761.389	7396047.186	-0.230	0.085	0.245
186	332795.772	7395932.877	332796.008	7395932.765	-0.236	0.112	0.261
187	332806.480	7395940.470	332806.682	7395940.219	-0.202	0.252	0.323
188	332826.439	7395938.422	332826.456	7395938.762	-0.017	-0.340	0.340
189	332837.238	7395946.163	332837.082	7395946.519	0.156	-0.356	0.389
190	332767.148	7395798.303	332767.382	7395797.623	-0.234	0.680	0.719
191	333078.362	7396300.209	333079.179	7396300.236	-0.817	-0.027	0.817
192	333115.480	7396290.530	333115.568	7396290.439	-0.088	0.091	0.126
193	333183.509	7396272.548	333184.092	7396272.201	-0.583	0.347	0.678
194	333242.983	7396276.811	333244.557	7396276.276	-1.573	0.535	1.662
195	333244.177	7396277.101	333245.311	7396276.914	-1.134	0.187	1.150
196	333245.948	7396283.813	333247.096	7396283.623	-1.148	0.191	1.164
197	333068.323	7396226.689	333068.873	7396225.686	-0.550	1.003	1.144
198	333065.921	7396210.950	333066.935	7396210.568	-1.014	0.382	1.084
199	333042.641	7396073.460	333042.979	7396073.045	-0.337	0.415	0.535
200	333040.242	7396060.100	333040.500	7396059.947	-0.258	0.153	0.300
201	332966.429	7395669.789	332966.227	7395670.014	0.203	-0.224	0.302
202	332945.107	7395644.377	332944.477	7395643.163	0.629	1.214	1.368
203	332994.310	7395630.850	332994.279	7395630.674	0.031	0.176	0.179
204	332990.400	7395584.920	332991.370	7395585.060	-0.970	-0.140	0.980
205	332994.800	7395588.500	332994.967	7395587.080	-0.166	1.420	1.430
206	332995.982	7395555.020	332996.817	7395554.436	-0.835	0.584	1.019
207	332999.742	7395534.880	333000.533	7395534.298	-0.791	0.583	0.983
208	333004.950	7395506.980	333005.177	7395507.622	-0.227	-0.642	0.681
209	333015.010	7395506.420	333015.814	7395506.911	-0.804	-0.491	0.942
210	333024.163	7395533.709	333024.639	7395533.325	-0.476	0.384	0.612
211	332996.570	7395458.890	332996.179	7395458.632	0.391	0.258	0.469
212	332965.280	7395455.050	332965.752	7395454.858	-0.472	0.192	0.509
213	333209.602	7396093.679	333209.357	7396092.926	0.245	0.753	0.792
214	333205.052	7396077.080	333204.970	7396076.677	0.082	0.403	0.412
215	333187.677	7395836.701	333187.323	7395836.755	0.355	-0.054	0.359
216	333189.822	7395816.060	333189.634	7395815.618	0.188	0.442	0.481
217	333192.704	7395788.330	333192.765	7395788.142	-0.061	0.189	0.198

PC	SMDU		ERBE		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	ΔE	ΔN	$\Delta Horiz$
218	333194.089	7395775.000	333194.193	7395774.507	-0.104	0.493	0.504
219	333195.575	7395760.699	333195.762	7395760.630	-0.187	0.069	0.199
220	332989.828	7396019.091	332989.849	7396019.395	-0.021	-0.304	0.305
221	333015.309	7396019.896	333014.879	7396020.287	0.431	-0.391	0.582
222	332079.909	7395859.588	332079.835	7395859.448	0.074	0.139	0.158
223	332040.550	7395882.960	332040.151	7395882.790	0.399	0.170	0.434
224	332040.330	7395886.410	332039.295	7395886.103	1.035	0.307	1.079
225	332054.940	7395897.740	332054.769	7395898.144	0.171	-0.404	0.439
226	332225.335	7396030.532	332225.349	7396030.824	-0.014	-0.292	0.293
227	332140.260	7395823.750	332140.327	7395823.643	-0.067	0.107	0.126
228	332142.200	7395823.520	332142.901	7395823.841	-0.701	-0.321	0.771
229	332146.240	7395826.470	332146.489	7395826.484	-0.249	-0.014	0.249
230	332146.660	7395828.610	332146.898	7395829.092	-0.238	-0.482	0.538
231	332099.377	7395890.295	332099.587	7395890.582	-0.210	-0.287	0.355
232	332216.819	7395862.121	332216.444	7395862.445	0.375	-0.323	0.495
233	332231.440	7395872.430	332231.215	7395873.233	0.225	-0.803	0.834
234	332235.370	7395871.790	332235.238	7395872.724	0.132	-0.934	0.943
235	332248.354	7395855.136	332248.174	7395855.994	0.180	-0.857	0.876
236	332250.659	7395852.179	332250.679	7395852.873	-0.020	-0.694	0.694
237	332400.643	7396013.937	332400.643	7396013.847	-0.001	0.091	0.091
238	332424.332	7396018.367	332423.998	7396018.251	0.334	0.117	0.353
239	332426.121	7396037.859	332426.098	7396037.553	0.023	0.306	0.307
240	332439.330	7396050.260	332439.603	7396050.010	-0.273	0.250	0.370
241	332359.088	7395749.239	332359.412	7395748.297	-0.324	0.942	0.996
242	332352.340	7395758.312	332351.697	7395757.931	0.643	0.382	0.748
243	332370.238	7395770.273	332370.104	7395770.099	0.134	0.173	0.219
244	332355.544	7395775.345	332355.544	7395775.063	0.000	0.282	0.282
245	332345.280	7395768.380	332346.639	7395768.711	-1.359	-0.331	1.398
246	332343.860	7395768.580	332342.859	7395769.446	1.001	-0.866	1.324
247	332373.179	7395787.312	332373.603	7395787.406	-0.424	-0.094	0.434
248	332399.554	7395789.864	332399.451	7395789.561	0.103	0.303	0.320
249	332427.198	7395807.883	332426.767	7395807.981	0.431	-0.098	0.442
250	332451.572	7395824.168	332451.188	7395824.344	0.383	-0.176	0.422
251	332206.351	7395784.811	332205.963	7395784.804	0.388	0.007	0.388
252	332221.393	7395775.733	332221.377	7395775.852	0.016	-0.120	0.121
253	332435.950	7395659.420	332435.709	7395659.388	0.241	0.032	0.243
254	332432.600	7395657.430	332433.080	7395657.458	-0.480	-0.028	0.481
255	332436.610	7395648.300	332436.802	7395648.239	-0.192	0.061	0.202
256	332443.200	7395644.700	332443.091	7395644.383	0.109	0.317	0.335
257	332352.368	7396045.898	332352.359	7396045.688	0.009	0.210	0.210
258	332355.877	7396040.927	332355.814	7396040.755	0.063	0.172	0.183
259	332357.011	7396039.321	332356.959	7396039.157	0.052	0.164	0.172
260	332366.161	7396026.361	332366.229	7396026.290	-0.068	0.070	0.098
261	332373.622	7396015.792	332373.514	7396015.866	0.108	-0.074	0.131

PC	SMDU		ERBE		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	ΔE	ΔN	$\Delta Horiz$
262	332377.996	7396009.596	332378.010	7396009.372	-0.015	0.224	0.225
263	332404.179	7395972.669	332404.328	7395972.440	-0.149	0.230	0.274
264	332408.363	7395966.792	332408.452	7395966.818	-0.090	-0.025	0.093
265	332412.114	7395961.523	332412.268	7395961.385	-0.154	0.139	0.207
266	332418.522	7395952.522	332418.632	7395952.598	-0.111	-0.076	0.134
267	332535.705	7395789.222	332535.262	7395788.696	0.442	0.525	0.687
268	332019.650	7395623.095	332019.203	7395623.482	0.447	-0.387	0.591
269	332044.248	7395622.399	332043.819	7395623.068	0.429	-0.669	0.794
270	332047.544	7395635.551	332047.224	7395635.638	0.320	-0.087	0.331
271	332233.966	7395625.817	332234.013	7395624.826	-0.048	0.991	0.992
272	332245.938	7395612.529	332245.692	7395612.107	0.247	0.422	0.488
273	332145.000	7395619.860	332144.938	7395619.901	0.062	-0.042	0.075
274	332148.387	7395622.135	332148.301	7395622.210	0.085	-0.075	0.114
275	332118.624	7395534.944	332118.898	7395534.870	-0.274	0.074	0.284
276	332151.485	7395522.085	332151.366	7395521.533	0.119	0.552	0.565
277	332155.143	7395518.653	332154.956	7395518.235	0.187	0.418	0.457
278	332142.830	7395466.030	332142.998	7395465.580	-0.168	0.450	0.481
279	332151.639	7395472.361	332152.145	7395472.153	-0.506	0.208	0.547

Fonte: O Autor.

**ANEXO F – Discrepâncias entre as coordenadas do mapeamento da SARA e
a fonte de referência (mapeamento da SMDU)**

PC	SARA		SMDU		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz.
1	332035,088	7396880,039	332035,520	7396879,024	-0,432	1,015	1,103
2	332038,031	7396879,449	332038,092	7396878,732	-0,060	0,717	0,719
3	332265,363	7396888,609	332265,559	7396888,414	-0,196	0,195	0,276
4	332279,647	7396868,144	332279,995	7396868,182	-0,348	-0,037	0,350
5	332305,424	7396831,659	332306,040	7396831,370	-0,616	0,289	0,681
6	332407,175	7396715,015	332407,954	7396715,001	-0,779	0,015	0,779
7	332421,879	7396694,175	332422,508	7396694,408	-0,629	-0,233	0,670
8	332441,675	7396666,306	332442,550	7396666,050	-0,875	0,256	0,912
9	332425,293	7396662,922	332425,640	7396662,605	-0,347	0,317	0,470
10	332550,329	7396513,692	332549,930	7396513,680	0,399	0,012	0,399
11	332598,836	7396443,805	332599,764	7396444,052	-0,928	-0,247	0,960
12	332628,107	7396402,436	332629,239	7396402,574	-1,132	-0,138	1,140
13	332651,512	7396370,113	332652,460	7396369,170	-0,948	0,943	1,337
14	332665,275	7396361,093	332663,990	7396360,800	1,285	0,293	1,318
15	332686,187	7396360,574	332685,930	7396359,460	0,257	1,114	1,143
16	332686,034	7396359,478	332686,110	7396360,940	-0,076	-1,462	1,464
17	332713,045	7396357,174	332711,990	7396357,250	1,055	-0,076	1,058
18	332792,393	7396353,313	332792,730	7396352,187	-0,338	1,126	1,176
19	332184,934	7396820,698	332184,905	7396820,384	0,029	0,314	0,315
20	332195,254	7396806,045	332195,108	7396805,929	0,146	0,116	0,187
21	332199,148	7396800,573	332198,505	7396801,116	0,643	-0,543	0,842
22	332200,640	7396798,565	332200,053	7396798,922	0,587	-0,357	0,688
23	332205,115	7396792,302	332205,262	7396791,542	-0,148	0,761	0,775
24	332227,186	7396757,090	332226,800	7396756,750	0,386	0,340	0,515
25	332230,300	7396756,496	332230,190	7396756,350	0,110	0,146	0,183
26	332394,071	7396552,352	332394,438	7396552,579	-0,367	-0,226	0,431
27	332398,920	7396545,638	332399,455	7396545,527	-0,535	0,112	0,547
28	332400,975	7396543,014	332400,877	7396543,528	0,098	-0,514	0,523
29	332418,449	7396518,226	332419,123	7396517,883	-0,674	0,344	0,757
30	332424,342	7396510,120	332424,440	7396510,410	-0,098	-0,290	0,306
31	332427,181	7396510,128	332426,740	7396510,160	0,441	-0,032	0,442
32	332436,283	7396516,663	332436,376	7396516,981	-0,093	-0,318	0,331
33	332411,232	7396502,616	332410,280	7396501,970	0,952	0,646	1,150
34	332410,722	7396498,984	332409,710	7396498,410	1,012	0,574	1,163
35	332446,784	7396477,598	332447,026	7396478,047	-0,242	-0,449	0,510
36	332467,584	7396448,034	332467,897	7396448,148	-0,313	-0,114	0,333
37	332084,696	7396782,908	332084,227	7396782,908	0,469	0,000	0,469
38	332094,139	7396769,691	332093,896	7396769,257	0,243	0,433	0,497
39	332134,992	7396739,387	332134,423	7396739,129	0,569	0,258	0,625
40	332146,872	7396722,528	332146,130	7396722,780	0,742	-0,252	0,784
41	332149,440	7396722,169	332149,350	7396722,120	0,090	0,049	0,102

PC	SARA		SMDU		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz.
42	332163,575	7396732,115	332163,749	7396732,281	-0,174	-0,166	0,241
43	332159,315	7396709,471	332158,860	7396708,720	0,455	0,751	0,878
44	332158,907	7396705,748	332158,180	7396705,590	0,727	0,158	0,744
45	332200,133	7396621,024	332199,249	7396619,869	0,884	1,154	1,454
46	332206,209	7396612,308	332205,260	7396611,430	0,948	0,878	1,292
47	332212,119	7396604,152	332211,271	7396602,991	0,847	1,161	1,437
48	332234,187	7396599,515	332233,462	7396598,771	0,726	0,744	1,040
49	332259,251	7396564,094	332258,460	7396563,300	0,791	0,794	1,121
50	332283,445	7396581,139	332283,009	7396580,691	0,436	0,448	0,625
51	332307,130	7396598,127	332306,153	7396597,086	0,977	1,041	1,427
52	332230,518	7396578,225	332229,450	7396577,563	1,068	0,662	1,256
53	332245,530	7396557,360	332244,870	7396556,300	0,660	1,060	1,249
54	332244,816	7396553,872	332244,380	7396553,000	0,436	0,872	0,974
55	332328,012	7396517,208	332328,121	7396516,948	-0,109	0,260	0,282
56	332305,064	7396501,189	332305,333	7396500,684	-0,269	0,504	0,571
57	332327,336	7396440,657	332326,640	7396439,540	0,696	1,117	1,316
58	332005,783	7396749,937	332005,280	7396750,770	0,503	-0,833	0,973
59	332023,604	7396724,889	332023,511	7396724,451	0,093	0,438	0,448
60	332101,548	7396614,239	332100,827	7396613,598	0,721	0,641	0,964
61	332108,350	7396604,475	332107,743	7396603,802	0,607	0,673	0,907
62	332131,679	7396571,558	332130,913	7396570,982	0,767	0,577	0,959
63	332148,997	7396546,773	332148,091	7396546,551	0,906	0,223	0,933
64	332177,215	7396506,386	332176,702	7396505,457	0,513	0,929	1,061
65	332185,468	7396493,626	332186,470	7396492,460	-1,002	1,166	1,537
66	332217,214	7396515,819	332217,460	7396514,471	-0,245	1,349	1,371
67	332314,359	7396311,230	332314,663	7396310,812	-0,303	0,418	0,517
68	332322,463	7396299,745	332322,451	7396299,901	0,011	-0,155	0,156
69	332369,528	7396234,690	332369,642	7396233,792	-0,114	0,898	0,905
70	332379,859	7396220,415	332380,080	7396219,170	-0,221	1,245	1,265
71	332211,423	7396530,492	332211,207	7396530,104	0,215	0,388	0,444
72	332228,042	7396542,240	332227,749	7396541,521	0,292	0,719	0,776
73	332233,101	7396545,869	332233,039	7396545,172	0,062	0,697	0,700
74	332240,285	7396532,378	332241,145	7396531,293	-0,859	1,085	1,384
75	332376,809	7396474,644	332375,631	7396474,278	1,178	0,365	1,233
76	332700,042	7395759,959	332701,050	7395759,740	-1,008	0,219	1,031
77	332707,381	7395749,829	332707,570	7395750,590	-0,189	-0,761	0,785
78	332710,369	7395749,666	332711,550	7395750,390	-1,182	-0,724	1,385
79	332734,348	7395770,293	332735,420	7395770,960	-1,072	-0,667	1,263
80	332578,874	7396146,532	332579,630	7396146,970	-0,756	-0,439	0,874
81	332582,047	7396145,869	332583,000	7396146,120	-0,953	-0,251	0,986
82	332589,919	7396134,593	332590,579	7396135,019	-0,660	-0,426	0,786
83	332597,500	7396123,695	332598,185	7396123,876	-0,686	-0,181	0,709
84	332618,074	7396093,821	332618,301	7396094,411	-0,227	-0,589	0,631
85	332620,018	7396114,183	332620,731	7396114,931	-0,713	-0,748	1,034

PC	SARA		SMDU		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz.
86	332623,164	7396109,603	332624,020	7396110,160	-0,856	-0,557	1,022
87	332629,200	7396100,704	332630,026	7396101,447	-0,826	-0,744	1,111
88	332630,371	7396075,833	332630,050	7396077,200	0,321	-1,367	1,404
89	332630,166	7396073,470	332629,740	7396073,660	0,426	-0,190	0,467
90	332613,340	7396061,241	332613,231	7396061,643	0,109	-0,403	0,417
91	332703,400	7395992,306	332704,266	7395992,913	-0,865	-0,607	1,057
92	332712,657	7395998,433	332713,083	7395998,846	-0,426	-0,413	0,593
93	332713,779	7395977,259	332714,530	7395977,850	-0,751	-0,591	0,956
94	332718,359	7395970,676	332719,040	7395971,230	-0,682	-0,554	0,878
95	332707,984	7395962,650	332708,813	7395962,712	-0,829	-0,062	0,831
96	332717,368	7395948,973	332718,323	7395949,002	-0,956	-0,030	0,956
97	332726,782	7395935,209	332727,764	7395935,393	-0,982	-0,184	1,000
98	332741,098	7395937,620	332741,832	7395937,781	-0,733	-0,162	0,751
99	332745,668	7395930,947	332746,164	7395931,423	-0,496	-0,476	0,688
100	332760,650	7395908,978	332760,250	7395910,750	0,400	-1,772	1,816
101	332762,445	7395908,722	332763,580	7395910,050	-1,136	-1,328	1,747
102	332774,392	7395917,156	332774,123	7395917,526	0,269	-0,370	0,458
103	332749,858	7395901,792	332750,790	7395902,200	-0,932	-0,408	1,017
104	332749,496	7395899,446	332750,180	7395899,800	-0,684	-0,354	0,770
105	332726,802	7395883,512	332727,181	7395883,679	-0,379	-0,167	0,414
106	332792,062	7395863,354	332792,401	7395863,911	-0,339	-0,557	0,652
107	332801,936	7395848,984	332802,571	7395849,021	-0,635	-0,037	0,636
108	332800,161	7395828,604	332800,310	7395828,480	-0,149	0,124	0,194
109	332799,532	7395825,733	332800,030	7395826,640	-0,498	-0,907	1,035
110	332779,447	7395808,673	332780,253	7395809,596	-0,806	-0,923	1,225
111	332594,573	7396319,128	332594,490	7396319,610	0,083	-0,482	0,489
112	332592,463	7396317,535	332591,660	7396317,420	0,803	0,115	0,811
113	332591,893	7396313,087	332591,460	7396314,210	0,433	-1,123	1,204
114	332614,688	7396282,229	332615,133	7396283,152	-0,445	-0,923	1,025
115	332648,344	7396200,404	332649,849	7396200,871	-1,505	-0,467	1,576
116	332654,536	7396205,307	332655,210	7396205,000	-0,674	0,307	0,741
117	332656,770	7396205,047	332658,700	7396204,640	-1,930	0,407	1,972
118	332670,874	7396208,030	332671,567	7396209,867	-0,692	-1,838	1,964
119	332680,303	7396195,626	332681,669	7396196,459	-1,367	-0,834	1,601
120	332686,521	7396187,509	332687,579	7396188,617	-1,057	-1,108	1,532
121	332687,368	7396186,386	332688,557	7396187,318	-1,189	-0,932	1,511
122	332673,689	7396182,805	332674,500	7396183,810	-0,811	-1,005	1,292
123	332736,082	7396100,465	332737,239	7396100,919	-1,157	-0,454	1,243
124	332739,544	7396096,121	332740,587	7396096,488	-1,043	-0,367	1,106
125	332799,787	7396056,635	332800,070	7396057,150	-0,283	-0,515	0,588
126	332790,970	7396050,644	332791,736	7396051,568	-0,766	-0,923	1,199
127	332809,741	7396004,161	332810,370	7396004,309	-0,628	-0,149	0,646
128	332822,083	7395987,989	332822,497	7395988,308	-0,414	-0,319	0,523
129	332719,262	7396309,896	332719,840	7396310,680	-0,577	-0,784	0,973

PC	SARA		SMDU		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz.
130	332735,330	7396288,663	332737,510	7396286,780	-2,180	1,883	2,881
131	332735,107	7396283,828	332737,060	7396284,880	-1,953	-1,053	2,219
132	332713,280	7396266,736	332714,850	7396267,590	-1,570	-0,854	1,788
133	332743,681	7396273,809	332745,030	7396273,650	-1,349	0,159	1,358
134	332746,209	7396273,269	332747,020	7396273,340	-0,811	-0,071	0,814
135	332749,569	7396268,837	332750,143	7396269,252	-0,574	-0,415	0,708
136	332757,670	7396258,168	332758,045	7396258,906	-0,376	-0,738	0,828
137	332763,170	7396251,102	332763,459	7396251,819	-0,289	-0,717	0,773
138	332780,057	7396250,117	332780,948	7396251,539	-0,891	-1,422	1,678
139	332796,544	7396206,690	332797,258	7396207,559	-0,715	-0,868	1,125
140	332811,249	7396208,839	332811,830	7396210,500	-0,581	-1,661	1,760
141	332814,114	7396208,426	332814,910	7396209,670	-0,796	-1,244	1,477
142	332822,046	7396198,102	332823,705	7396199,230	-1,659	-1,128	2,006
143	332821,758	7396195,064	332822,630	7396196,620	-0,872	-1,556	1,784
144	332840,466	7396170,440	332840,591	7396172,520	-0,125	-2,081	2,084
145	332844,083	7396165,712	332844,027	7396167,938	0,055	-2,226	2,227
146	332837,605	7396152,400	332837,899	7396153,600	-0,294	-1,199	1,235
147	332841,619	7396147,215	332841,916	7396148,267	-0,296	-1,052	1,093
148	332852,336	7396133,133	332852,729	7396133,910	-0,394	-0,776	0,870
149	332957,406	7396017,206	332957,490	7396018,070	-0,084	-0,864	0,868
150	332955,590	7396014,238	332956,000	7396014,780	-0,410	-0,543	0,680
151	332965,045	7395993,476	332965,451	7395994,231	-0,407	-0,754	0,857
152	332548,494	7396122,752	332548,639	7396123,202	-0,145	-0,449	0,472
153	332616,510	7396191,873	332616,900	7396192,410	-0,390	-0,536	0,663
154	332677,126	7396238,769	332678,100	7396239,010	-0,974	-0,241	1,003
155	332682,058	7396242,565	332683,274	7396243,008	-1,216	-0,443	1,294
156	332705,200	7396243,948	332706,909	7396244,431	-1,709	-0,483	1,776
157	332712,066	7396249,196	332713,697	7396249,634	-1,631	-0,438	1,689
158	332718,910	7396254,516	332720,523	7396254,866	-1,613	-0,350	1,650
159	332588,567	7396043,194	332587,884	7396043,344	0,683	-0,150	0,699
160	332597,602	7396049,907	332597,123	7396050,036	0,479	-0,129	0,496
161	332659,887	7396095,216	332660,322	7396096,277	-0,435	-1,061	1,147
162	332672,480	7396104,467	332673,193	7396105,757	-0,713	-1,290	1,473
163	332690,016	7396117,314	332690,370	7396118,409	-0,354	-1,096	1,152
164	332696,607	7396122,092	332697,500	7396123,661	-0,892	-1,568	1,804
165	332758,443	7396152,045	332759,381	7396153,229	-0,938	-1,184	1,510
166	332769,392	7396160,146	332770,369	7396161,281	-0,978	-1,135	1,498
167	332761,684	7396169,835	332762,530	7396171,170	-0,846	-1,335	1,581
168	332777,252	7396181,435	332777,773	7396182,446	-0,521	-1,011	1,137
169	332829,427	7396219,654	332829,628	7396220,453	-0,201	-0,798	0,823
170	332838,082	7396209,933	332838,712	7396210,687	-0,630	-0,754	0,982
171	332842,952	7396213,596	332844,321	7396214,839	-1,369	-1,243	1,849
172	332949,879	7396334,512	332950,150	7396334,710	-0,271	-0,198	0,336
173	332949,679	7396294,587	332949,795	7396293,110	-0,116	1,476	1,481

PC	SARA		SMDU		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz.
174	332948,620	7396194,470	332948,962	7396195,480	-0,342	-1,010	1,067
175	332948,482	7396180,839	332948,848	7396182,100	-0,366	-1,262	1,313
176	332948,022	7396136,612	332948,470	7396137,740	-0,447	-1,128	1,214
177	332948,140	7396154,978	332948,630	7396156,490	-0,490	-1,513	1,590
178	332641,667	7395951,205	332641,617	7395951,344	0,050	-0,139	0,148
179	332648,021	7395955,524	332647,929	7395955,572	0,092	-0,048	0,104
180	332656,655	7395961,135	332656,469	7395961,292	0,186	-0,157	0,244
181	332662,902	7395965,255	332662,488	7395965,323	0,415	-0,068	0,420
182	332744,148	7396019,519	332743,128	7396019,063	1,020	0,456	1,117
183	332761,598	7396031,130	332761,939	7396031,721	-0,341	-0,591	0,682
184	332750,132	7396039,225	332750,452	7396040,138	-0,319	-0,913	0,967
185	332761,517	7396046,950	332761,159	7396047,271	0,357	-0,321	0,480
186	332795,359	7395932,177	332795,772	7395932,877	-0,413	-0,700	0,813
187	332806,461	7395940,195	332806,480	7395940,470	-0,019	-0,275	0,276
188	332825,608	7395937,694	332826,439	7395938,422	-0,831	-0,728	1,105
189	332836,625	7395945,603	332837,238	7395946,163	-0,613	-0,560	0,830
190	332766,927	7395797,813	332767,148	7395798,303	-0,221	-0,490	0,537
191	333079,577	7396300,187	333078,362	7396300,209	1,215	-0,022	1,215
192	333114,508	7396289,919	333115,480	7396290,530	-0,972	-0,611	1,148
193	333183,412	7396272,048	333183,509	7396272,548	-0,097	-0,500	0,509
194	333244,524	7396276,216	333242,983	7396276,811	1,540	-0,595	1,651
195	333245,515	7396276,834	333244,177	7396277,101	1,338	-0,267	1,364
196	333247,489	7396283,565	333245,948	7396283,813	1,542	-0,248	1,562
197	333068,249	7396224,737	333068,323	7396226,689	-0,074	-1,952	1,953
198	333066,126	7396210,073	333065,921	7396210,950	0,205	-0,877	0,901
199	333042,122	7396071,956	333042,641	7396073,460	-0,519	-1,504	1,591
200	333039,825	7396058,854	333040,242	7396060,100	-0,418	-1,246	1,314
201	332964,885	7395670,142	332966,429	7395669,789	-1,544	0,353	1,584
202	332943,129	7395643,998	332945,107	7395644,377	-1,978	-0,379	2,014
203	332994,420	7395630,532	332994,310	7395630,850	0,110	-0,318	0,336
204	332991,019	7395584,949	332990,400	7395584,920	0,619	0,029	0,619
205	332995,750	7395587,736	332994,800	7395588,500	0,950	-0,764	1,219
206	332996,045	7395555,422	332995,982	7395555,020	0,063	0,401	0,406
207	332999,499	7395535,118	332999,742	7395534,880	-0,242	0,238	0,340
208	333004,241	7395508,500	333004,950	7395506,980	-0,709	1,520	1,677
209	333013,908	7395507,833	333015,010	7395506,420	-1,102	1,413	1,791
210	333022,977	7395534,141	333024,163	7395533,709	-1,186	0,432	1,262
211	332995,750	7395459,265	332996,570	7395458,890	-0,820	0,375	0,902
212	332965,328	7395455,331	332965,280	7395455,050	0,048	0,281	0,285
213	333209,149	7396092,848	333209,602	7396093,679	-0,453	-0,831	0,946
214	333204,743	7396076,960	333205,052	7396077,080	-0,309	-0,120	0,332
215	333185,856	7395836,538	333187,677	7395836,701	-1,821	-0,163	1,829
216	333188,141	7395815,252	333189,822	7395816,060	-1,681	-0,808	1,865
217	333191,112	7395788,124	333192,704	7395788,330	-1,592	-0,206	1,606

PC	SARA		SMDU		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	Δ E	Δ N	Δ Horiz.
218	333192,401	7395774,884	333194,089	7395775,000	-1,688	-0,116	1,692
219	333193,936	7395761,057	333195,575	7395760,699	-1,639	0,358	1,677
220	332990,443	7396018,134	332989,828	7396019,091	0,615	-0,957	1,138
221	333014,159	7396019,107	333015,309	7396019,896	-1,150	-0,789	1,395
222	332080,143	7395859,940	332079,909	7395859,588	0,235	0,352	0,423
223	332039,919	7395883,708	332040,550	7395882,960	-0,631	0,748	0,979
224	332039,660	7395887,896	332040,330	7395886,410	-0,670	1,486	1,631
225	332053,796	7395898,742	332054,940	7395897,740	-1,144	1,002	1,521
226	332224,839	7396030,767	332225,335	7396030,532	-0,496	0,235	0,549
227	332139,184	7395824,913	332140,260	7395823,750	-1,076	1,163	1,585
228	332141,578	7395825,135	332142,200	7395823,520	-0,622	1,615	1,731
229	332146,501	7395828,693	332146,240	7395826,470	0,261	2,223	2,238
230	332146,531	7395830,365	332146,660	7395828,610	-0,129	1,755	1,760
231	332098,908	7395891,211	332099,377	7395890,295	-0,469	0,916	1,028
232	332215,929	7395863,730	332216,819	7395862,121	-0,889	1,609	1,839
233	332230,284	7395874,172	332231,440	7395872,430	-1,156	1,742	2,090
234	332234,273	7395873,729	332235,370	7395871,790	-1,097	1,939	2,228
235	332248,322	7395855,692	332248,354	7395855,136	-0,031	0,556	0,557
236	332250,196	7395853,190	332250,659	7395852,179	-0,463	1,010	1,111
237	332400,647	7396013,700	332400,643	7396013,937	0,005	-0,238	0,238
238	332423,506	7396018,491	332424,332	7396018,367	-0,826	0,124	0,835
239	332426,280	7396037,098	332426,121	7396037,859	0,158	-0,760	0,777
240	332439,945	7396049,878	332439,330	7396050,260	0,615	-0,382	0,724
241	332358,893	7395748,107	332359,088	7395749,239	-0,195	-1,132	1,148
242	332350,840	7395758,253	332352,340	7395758,312	-1,500	-0,059	1,501
243	332369,606	7395770,630	332370,238	7395770,273	-0,633	0,357	0,727
244	332355,023	7395775,482	332355,544	7395775,345	-0,521	0,137	0,539
245	332346,059	7395769,403	332345,280	7395768,380	0,779	1,023	1,286
246	332341,839	7395770,127	332343,860	7395768,580	-2,021	1,547	2,546
247	332373,146	7395787,698	332373,179	7395787,312	-0,033	0,386	0,387
248	332399,224	7395790,228	332399,554	7395789,864	-0,331	0,365	0,492
249	332426,920	7395808,456	332427,198	7395807,883	-0,278	0,573	0,637
250	332451,358	7395824,683	332451,572	7395824,168	-0,214	0,515	0,558
251	332205,774	7395785,768	332206,351	7395784,811	-0,577	0,956	1,117
252	332220,277	7395777,228	332221,393	7395775,733	-1,116	1,496	1,866
253	332435,956	7395660,063	332435,950	7395659,420	0,006	0,643	0,643
254	332432,529	7395657,876	332432,600	7395657,430	-0,071	0,446	0,452
255	332437,781	7395648,042	332436,610	7395648,300	1,171	-0,258	1,199
256	332443,069	7395645,149	332443,200	7395644,700	-0,131	0,449	0,468
257	332352,287	7396046,523	332352,368	7396045,898	-0,081	0,625	0,630
258	332355,864	7396041,644	332355,877	7396040,927	-0,014	0,718	0,718
259	332357,017	7396040,008	332357,011	7396039,321	0,006	0,687	0,687
260	332366,149	7396027,042	332366,161	7396026,361	-0,012	0,682	0,682
261	332373,923	7396016,183	332373,622	7396015,792	0,301	0,391	0,494

PC	SARA		SMDU		Discrepâncias		
	Este	Norte	Este	Norte	ΔE	ΔN	$\Delta Horiz.$
262	332377,862	7396010,602	332377,996	7396009,596	-0,133	1,006	1,015
263	332404,746	7395973,158	332404,179	7395972,669	0,567	0,489	0,749
264	332408,672	7395967,638	332408,363	7395966,792	0,310	0,845	0,900
265	332412,544	7395962,114	332412,114	7395961,523	0,431	0,591	0,731
266	332419,119	7395952,685	332418,522	7395952,522	0,597	0,164	0,619
267	332535,362	7395789,121	332535,705	7395789,222	-0,343	-0,100	0,357
268	332019,421	7395624,535	332019,650	7395623,095	-0,229	1,440	1,458
269	332044,057	7395624,178	332044,248	7395622,399	-0,191	1,779	1,789
270	332047,604	7395636,203	332047,544	7395635,551	0,060	0,652	0,654
271	332234,364	7395625,817	332233,966	7395625,817	0,398	0,000	0,398
272	332245,516	7395613,213	332245,938	7395612,529	-0,422	0,684	0,804
273	332144,814	7395620,357	332145,000	7395619,860	-0,186	0,497	0,531
274	332147,487	7395622,164	332148,387	7395622,135	-0,899	0,029	0,900
275	332118,455	7395534,938	332118,624	7395534,944	-0,168	-0,006	0,168
276	332151,230	7395522,023	332151,485	7395522,085	-0,255	-0,062	0,263
277	332154,399	7395519,130	332155,143	7395518,653	-0,744	0,477	0,884
278	332141,715	7395466,768	332142,830	7395466,030	-1,115	0,738	1,337
279	332150,589	7395473,209	332151,639	7395472,361	-1,050	0,848	1,349

Fonte: O Autor.

**ANEXO G – Discrepâncias entre as altitudes do mapeamento da SARA e a
fonte de referência (mapeamento da SMDU)**

PC	SARA	SMDU	Difer.	PC	SARA	SMDU	Difer.	PC	SARA	SMDU	Difer.
1	741,500	741,217	0,283	38	748,100	746,876	1,224	75	734,400	734,381	0,019
2	743,000	742,870	0,130	39	748,750	747,358	1,392	76	736,300	736,018	0,282
3	741,700	741,751	-0,051	40	740,400	739,080	1,320	77	738,000	737,885	0,115
4	743,900	743,407	0,493	41	735,300	734,140	1,160	78	740,200	739,945	0,255
5	744,700	743,927	0,773	42	736,000	735,357	0,643	79	730,800	730,434	0,366
6	742,300	742,425	-0,125	43	735,800	735,000	0,800	80	728,700	729,638	-0,938
7	743,000	743,000	0,000	44	731,300	730,531	0,769	81	731,100	731,111	-0,011
8	742,900	742,637	0,263	45	733,800	732,848	0,952	82	731,280	731,440	-0,160
9	746,400	745,210	1,190	46	744,300	743,622	0,678	83	725,900	725,908	-0,008
10	746,300	745,851	0,449	47	740,300	739,076	1,224	84	731,300	731,916	-0,616
11	745,800	745,630	0,170	48	737,500	736,533	0,967	85	730,800	729,664	1,136
12	743,800	743,600	0,200	49	745,300	744,970	0,330	86	733,900	733,515	0,385
13	741,800	742,141	-0,341	50	747,100	746,452	0,648	87	735,200	734,930	0,270
14	741,900	741,806	0,094	51	743,700	743,226	0,474	88	736,040	735,089	0,951
15	741,000	741,313	-0,313	52	737,700	737,525	0,175	89	736,000	735,860	0,140
16	740,000	740,647	-0,647	53	737,800	737,561	0,239	90	728,300	728,555	-0,255
17	740,800	741,493	-0,693	54	740,300	739,461	0,839	91	731,500	730,393	1,107
18	744,800	743,294	1,506	55	741,500	740,767	0,733	92	733,000	732,449	0,551
19	741,700	741,579	0,121	56	741,500	740,850	0,650	93	739,000	738,842	0,158
20	741,300	741,597	-0,297	57	743,800	743,115	0,685	94	739,000	738,109	0,891
21	740,200	740,421	-0,221	58	743,400	742,750	0,650	95	739,000	738,478	0,522
22	739,000	739,317	-0,317	59	729,900	729,655	0,245	96	738,500	739,032	-0,532
23	740,700	740,789	-0,089	60	727,900	728,290	-0,390	97	735,100	734,562	0,538
24	741,600	740,944	0,656	61	728,600	729,071	-0,471	98	731,400	731,194	0,206
25	742,500	742,359	0,141	62	729,300	728,758	0,542	99	726,800	726,144	0,656
26	737,000	737,042	-0,042	63	724,800	725,107	-0,307	100	730,800	730,586	0,214
27	742,500	742,143	0,357	64	730,000	729,844	0,156	101	733,700	733,766	-0,066
28	744,300	743,886	0,414	65	730,200	730,832	-0,632	102	728,700	728,323	0,377
29	743,500	743,507	-0,007	66	731,000	730,927	0,073	103	724,100	724,652	-0,552
30	745,300	744,662	0,638	67	731,600	731,585	0,015	104	726,800	726,848	-0,048
31	745,300	745,149	0,151	68	730,700	731,367	-0,667	105	732,700	731,596	1,104
32	746,600	746,035	0,565	69	731,200	731,654	-0,454	106	727,600	728,860	-1,260
33	746,700	745,940	0,760	70	732,300	732,273	0,027	107	725,000	724,459	0,541
34	747,200	746,397	0,803	71	732,900	732,508	0,392	108	724,500	724,201	0,299
35	743,800	742,956	0,844	72	733,300	732,818	0,482	109	725,000	724,813	0,187
36	747,500	746,345	1,155	73	739,100	739,057	0,043	110	728,300	728,350	-0,050
37	742,600	742,239	0,361	74	733,600	733,889	-0,289				

Fonte: O Autor.

ANEXO H – CÓPIA DA FOLHA 51/8 DO MAPEAMENTO DA SARA