

## MAPEAMENTO TOPOGRÁFICO USANDO IMAGENS IKONOS

ANTONIO JOSÉ FERREIRA MACHADO E SILVA  
MARCUS VINÍCIUS DUARTE DA SILVA  
DAPHNE SANTINI

GISPLAN Tecnologia da Geoinformação  
Av. Armando Lombardi 800 sala 311 - 22640-020 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
(antonio, marcus, daphne)@gisplan.com.br

**Abstract.** This paper shows some important results regarding the use of Ikonos imageries for 1:25,000 topographic mapping. These results include the geometric accuracy as well as the usability. Some results are important for 1:10,000 topographic mapping

**Keywords:** Ikonos imageries, topographic mapping.

### 1. Introdução

O principal objetivo deste projeto foi estudar a possibilidade do emprego de imagens do satélite IKONOS II para a produção de mapas topográficos. Essencialmente, o que se buscou foi avaliar esta alternativa de dois pontos de vista: viabilidade de uso e precisão. Por viabilidade de uso entende-se o processo de extração de informação de interesse (hidrografia, sistema viário, etc.) através de técnicas de restituição fotogramétrica. Já a questão da precisão é vista sob a ótica do padrão de exatidão cartográfica (PEC) adotado no mapeamento sistemático nacional.

Para implementar o projeto foi escolhida uma folha na escala de 1:25.000 situada em uma área ao norte da Cidade de São Paulo (folha Mairiporã, SF-23-Y-C-III-4-NE, latitude: S23:15:00 a S23:22:30 e longitude W46:30:00 a W46:37:30).

É importante destacar que esta é uma iniciativa pioneira no Brasil. Pela primeira vez dados orbitais foram utilizados para a construção de uma carta topográfica. É importante destacar que este projeto difere em muito do conceito de carta-imagem. Ele encerra a construção de um produto cartográfico que atende a todos os requisitos definidos pelos órgãos responsáveis pelo mapeamento sistemático no Brasil, produto este, que teve todos os elementos plani-altimétricos extraídos diretamente dos modelos estereoscópicos IKONOS.

Esta iniciativa abre uma importante alternativa para suprir as necessidades da cobertura cartográfica nacional. As imagens orbitais surgem como uma das possíveis fontes de dados para o mapeamento e a atualização do mapeamento sistemático brasileiro.

### 2. Imageamento da Área do Projeto

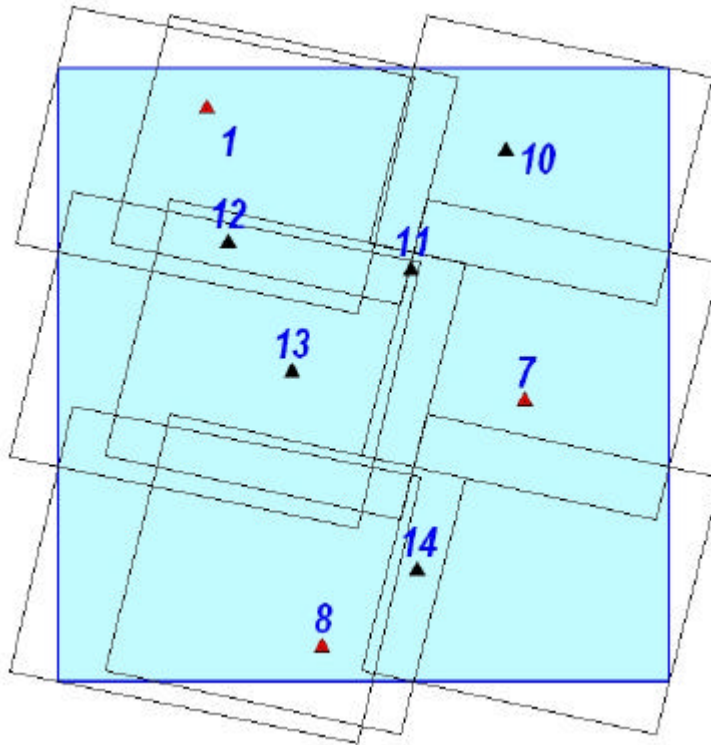
A faixa de recobrimento do satélite Ikonos é de 11 km de largura, em órbitas com inclinação de aproximadamente 9 (nove) graus em relação ao norte.

Logo o recobrimento de uma área de uma carta topográfica na escala de 1:25.000 (7'30"x7'30") pode ser feito sempre com apenas duas órbitas (faixas), o que facilita em muito os tratamentos radiométrico e geométrico.

Para construir os modelos, o satélite Ikonos utiliza a possibilidade do imageamento avanço-reverso, que permite a obtenção de pares estereoscópicos numa única passagem. Este tipo de construção de modelos estereoscópicos apresenta diversas vantagens em relação aos modelos construídos em passagens diferentes.

Além da possibilidade de visada inclinada avanço-reverso, o satélite Ikonos apresenta a faculdade de obter imagens em visada lateral. Isto permite a aquisição de dados em faixas adjacentes num curto intervalo de tempo.

Dessa forma, a partir de duas passagens (faixas) do satélite sobre a região a ser mapeada, é possível obter-se todos os dados de imagem necessários aos processos de restituição planimétrica.



**Figura 1: Distribuição dos pontos de controle ao longo das faixas e modelos**

Estas características, visada inclinada avanço-reverso e visada lateral, são muito importantes para a qualidade dos processos de restituição. Pares estereoscópicos construídos em visada avanço-reverso, numa mesma passagem asseguram uma similaridade radiométrica elevada, fundamental quando da execução da correlação automática entre imagens de um par.

Além disso, o recobrimento da área a ser mapeada num curto período de tempo assegura a estabilidade da paisagem a ser retratada.

Para otimizar o processo de correlação, as imagens obtidas pelo satélite são reamostradas segundo as linhas epipolares, garantindo que o deslocamento devido ao relevo concentre-se em apenas uma direção. Num imageamento avanço-reverso, as linhas epipolares têm a direção aproximada da órbita do satélite.

Para testar a veracidade e a qualidade desta reamostragem, centenas de pontos foram identificados simultaneamente nas imagens esquerda e direita de um par. Acima de 95% destes apresentaram-se exatamente na mesma linha, e os demais nas linhas imediatamente posterior ou anterior. Dessa forma, pode-se partir da premissa que pontos homólogos estão alinhados, e o deslocamento devido ao relevo está concentrado na direção das linhas epipolares.

Para mapear uma área referente a uma folha na escala de 1:25.000 trabalha-se com um bloco composto por 2 faixas, com 4 a 6 modelos (**figura 1**). Na escala de 1:50.000 (15'x15'), estes valores sobem para 3 faixas, com 6 a 9 modelos.

### 3. Apoio e Ajustamento do Bloco

O satélite Ikonos é muito estável, e consegue calcular os dados de atitude e efemérides (posição e velocidade) de forma muito precisa.

O processo de refinamento da correção geométrica necessita de 1 a 2 pontos por faixa, pois o principal erro no georreferenciamento das imagens pode ser corrigido com uma simples translação na imagem.

No caso particular deste bloco, foram levantados 8 pontos de controle no terreno, pontos estes que foram previamente identificados na imagem e que, posteriormente, tiveram suas coordenadas geográficas medidas por GPS diretamente no terreno. As características da área não eram favoráveis à identificação de pontos de controle. A região é bastante montanhosa, apresentando poucos pontos de referência.

A **figura 1** apresenta a distribuição destes pontos no bloco, enquanto que a **tabela 1** apresenta as coordenadas geográficas medidas no terreno.

Id do Ponto de Controle	Coordenadas Geográficas		Altitude Elipsoidal (m)
	Latitude	Longitude	
1	S 23° 15' 27,480''	W 46° 35' 40,251''	925,365
7	S 23° 19' 02,608''	W 46° 31' 45,758''	820,486
8	S 23° 22' 02,661''	W 46° 34' 15,343''	975,717
10	S 23° 15' 59,268''	W 46° 31' 59,343''	887,489
11	S 23° 17' 26,801''	W 46° 33' 09,652''	752,551
12	S 23° 17' 06,480''	W 46° 35' 24,266''	991,420
13	S 23° 18' 41,480''	W 46° 34' 37,798''	756,516
14	S 23° 21' 07,236''	W 46° 33' 04,905''	925,673

**Tabela 1: coordenadas geográficas dos pontos de controle – levantamento GPS**

Estes pontos foram utilizados tanto no ajuste do bloco, quanto na avaliação da qualidade dos produtos gerados. Para ajustar o bloco, foram utilizados 3 pontos de controle (1, 7 e 8), que permitiram refinar o processo de tratamento geométrico. Este processo de ajuste elimina, principalmente, erros residuais de posicionamento da imagem (translação e rotação).

As **tabelas 2 e 3** apresentam as coordenadas geográficas medidas diretamente nos modelos sem ajuste, e nos modelos ajustados, respectivamente.

Id do Ponto de Controle	Coordenadas Geográficas		Altitude Elipsoidal (m)
	Latitude	Longitude	
1	S 23° 15' 27,497''	W 46° 35' 40,254''	925,573
7	S 23° 19' 02,627''	W 46° 31' 45,827''	818,300
8	S 23° 22' 02,642''	W 46° 34' 15,392''	973,875
10	S 23° 15' 59,379''	W 46° 31' 59,231''	885,694
11	S 23° 17' 26,877''	W 46° 33' 09,672''	749,623
12	S 23° 17' 05,952''	W 46° 35' 24,180''	989,198
13	S 23° 18' 41,657''	W 46° 34' 37,935''	754,279
14	S 23° 21' 06,959''	W 46° 33' 05,088''	923,333

**Tabela 2: coordenadas geográficas dos pontos de controle – modelos sem ajuste**

Id do Ponto de Controle	Coordenadas Geográficas		Altitude Elipsoidal (m)
	Latitude	Longitude	
1	S 23° 15' 27,520"	W 46° 35' 40,261"	923,363
7	S 23° 19' 02,643"	W 46° 31' 45,794"	818,390
8	S 23° 22' 02,669"	W 46° 34' 15,367"	975,754
10	S 23° 15' 59,346"	W 46° 31' 59,293"	885,324
11	S 23° 17' 26,869"	W 46° 33' 09,645"	750,566
12	S 23° 17' 06,041"	W 46° 35' 24,201"	988,499
13	S 23° 18' 41,479"	W 46° 34' 37,927"	753,963
14	S 23° 21' 07,056"	W 46° 33' 05,074"	923,914

**Tabela 3: coordenadas geográficas dos pontos de controle – modelos ajustados**

#### 4. Análise sob a Perspectiva da Viabilidade de Uso

As imagens de satélite apresentaram um excelente comportamento frente aos processos de extração de informação de elementos plani-altimétricos de interesse: sistemas de transporte (rodovias, ferrovias, ruas, etc.), hidrografia (rios, rede de drenagem, massas d'água, etc.), localidades (perímetros urbanos, cidades, vilas, povoados, etc.), hipsografia (curvas de nível), entre outros.

As imagens IKONOS, graças à sua quantização em 11 bits (2048 níveis de cinza), apresentam excelente nitidez, permitindo a extração de todos os elementos que devem ser representados numa folha na escala de 1:25.000.

Não houve dificuldade na identificação de nenhum elemento, nem tão pouco na extração destes a partir dos modelos estereoscópicos IKONOS.

Os modelos estereoscópicos apresentam paralaxe apenas numa direção (linha epipolar). A paralaxe residual na direção transversal à das linhas epipolares é totalmente desprezível.

Técnicos habituados a trabalhar em ambientes de restituição digital, independente da estação fotogramétrica, não encontrarão nenhuma dificuldade em trabalhar também com imagens de satélite. Isto foi comprovado por experientes operadores do IBGE e da DSG.

#### 5. Análise sob a Perspectiva da Precisão

A avaliação geométrica foi realizada por comparação direta entre coordenadas medidas no terreno e coordenadas medidas nos modelos (com e sem ajuste).

Na escala de 1:25.000, o PEC esperado é de 12,5m, enquanto que a precisão altimétrica é de 5m (metade da equidistância). A **tabela 4** apresenta o erro encontrado nos pontos de controle referente aos modelos sem ajuste, enquanto que a **tabela 5** apresenta o erro referente aos modelos ajustados.

As tabelas 4 e 5 mostram que os resultados encontrados tanto para os modelos com ajuste, quanto para os modelos sem ajuste, são muito parecidos e atendem às especificações referentes ao mapeamento topográfico na escala de 1:25.000.

Os erros planimétricos médios encontrados foram de 5,58m e 3,53m para os modelos sem e com ajuste respectivamente. Os erros planimétricos máximos encontrados foram de 10,06m e 7,47m para os modelos sem e com ajuste respectivamente.

Os erros altimétricos médios encontrados foram de 2,12m e 2,08m para os modelos sem e com ajuste respectivamente. Os erros altimétricos máximos encontrados foram de 2,93m e 2,92m para os modelos sem e com ajuste respectivamente.

Id do Ponto de Controle	Coordenadas UTM			D Altitude Elipsoidal (m)
	D E_UTM (m)	D N_UTM (m)	D R_UTM (m)	
1	-0,38	-0,64	0,74	1,79
7	-1,94	-0,65	2,05	2,19
8	-1,17	0,41	1,24	1,84
10	3,16	-3,35	4,60	1,80
11	-0,37	-2,33	2,36	2,93
12	2,28	5,52	5,97	2,22
13	-3,81	-8,07	9,92	2,24
14	-5,55	8,39	10,06	2,34
RMSE	2,87	4,79	5,58	2,12
Mínimo	0,37	0,41	0,74	1,79
Máximo	5,55	8,38	10,06	2,93

Tabela 4: precisão dos modelos sem ajuste

Id do Ponto de Controle	Coordenadas UTM			D Altitude Elipsoidal (m)
	D E_UTM (m)	D N_UTM (m)	D R_UTM (m)	
1	-0,38	-1,27	1,33	2,00
7	-1,16	-1,07	1,58	2,10
8	-0,39	-0,43	0,57	0,96
10	1,20	-2,31	2,60	2,17
11	0,02	-1,90	1,90	1,99
12	1,53	2,76	3,16	2,92
13	-3,48	-2,57	4,33	2,55
14	-5,13	5,44	7,47	1,76
RMSE	2,34	2,64	3,53	2,08
Mínimo	0,02	0,43	0,57	0,96
Máximo	5,13	5,44	7,47	2,92

Tabela 5: precisão dos modelos com ajuste

Todos estes valores estão abaixo dos limites impostos para o mapeamento topográfico na escala de 1:25.000 (90% dos pontos de controle com erro planimétrico abaixo de 12,5m – 0,5mm na escala – e erro altimétrico abaixo de 5m – metade da equidistância). Isto comprova que as imagens Ikonos e os processos empregados para a geração das cartas topográficas são plenamente aderentes aos requisitos de qualidade geométrica na escala em questão

## 6. Conclusão

Sem pecar pelo otimismo, os resultados alcançados neste projeto, pioneiro no Brasil, permitem afirmar que as imagens do satélite IKONOS podem ser utilizadas em estações fotogramétricas digitais visando a construção de cartas topográficas nas escalas de 1:25.000 ou menores.

Instituições habituadas a produzir cartas topográficas a partir de fotografias aéreas podem, com extrema facilidade, se adequar para operar também com imagens de satélite.

Todos os técnicos envolvidos (GISPLAN, IBGE e DSG) puderam comprovar a total viabilidade do uso de modelos estereoscópicos IKONOS no ambiente de restituição digital de fotos aéreas.

As imagens IKONOS podem ser vistas como uma alternativa para solucionar os problemas de vazios cartográficos e de atualização do mapeamento sistemático.

Os resultados apresentados na tabela 5 (erro planimétrico médio de 3,53m e altimétrico de 2,08m) encorajam o prosseguimento do projeto, não só aperfeiçoando o processo de construção de cartas topográficas na escala de 1:25.000, mas também investigando a possibilidade de chegarmos à escala de 1:10.000.

Sob o prisma da precisão geométrica, os resultados hoje alcançados indicam que alcançar esta escala é viável com o mesmo nível de apoio. No entanto não podemos afirmar ainda que esta escala também pode ser atendida pelas imagens IKONOS antes da realização de um estudo que envolva a perspectiva da viabilidade de uso.

## **7. Agradecimentos**

A implementação deste estudo deu-se através de uma cooperação entre a GISPLAN a SPACE IMAGING e a SISGRAPH . A SPACE IMAGING forneceu os pares estereoscópicos IKONOS, as ortoimagens, o modelo digital de elevação, o apoio de campo e ainda ofereceu assessoria técnica na utilização dos produtos IKONOS. A SISGRAPH forneceu a estação fotogramétrica digital utilizada no processo de restituição dos dados IKONOS, a SSK Image Station, da Zeiss-Intergraph.

Além dessas, o trabalho contou com a colaboração das instituições responsáveis pelo mapeamento topográfico sistemático do país, Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que alocaram profissionais de seus quadros para acompanharem este projeto, que envolveu a utilização efetiva dos pares estereoscópicos para fins de restituição.