

FISCALIZAÇÃO DE SERVIÇOS DE MAPEAMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS DIGITAIS

DANIEL CARNEIRO DA SILVA¹
CARLOS HENRIQUE CAVALCANTE²
IGO HENRIQUE NASCIMENTO DE SOUZA LINS³

- 1.. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geo-Infomação. UFPE. danielcs@ufpe.br
- 2.. Prefeitura da Cidade de Recife. carloshenrique@recife.pe.gov.br
3. Departamento de Engenharia Cartográfica-UFPE. igo@ufpe.br

RESUMO – Existe uma quantidade razoável de especificações padronizadas para contratos de serviços fotogramétricos, porém sempre serão necessárias adaptações para as características de cada projeto e aos recursos e tecnologias disponíveis nas empresas do mercado. Ao mesmo tempo em que as especificações são preparadas é necessário também prever como serão analisados os serviços e produtos, mas para esta finalidade existem poucas instruções sobre procedimentos simples ou sofisticados de fiscalização, principalmente quando se trata de produtos digitais. Tanto do ponto de vista acadêmico, quanto do profissional, é importante a discussão sobre especificações e fiscalização de produtos da aerofotogrametria digital para abalizar se os avanços recentes e novos métodos desenvolvidos, com aplicações nas várias fases desde a aquisição aos produtos finais, estão em nível operacional ou ainda necessitam de aperfeiçoamentos. Este trabalho discute várias dessas questões usando dados de recente mapeamento com aerofotogrametria digital realizado para a Prefeitura da Cidade de Recife, que foram fiscalizados por equipe da UFPE. Também se discute os procedimentos adotados para contornar a falta de normas oficiais específicas no Brasil para aerofotogrametria digital

ABSTRACT - There is a reasonable amount of standardized specifications for contracts photogrammetric serviceS but will always be necessary adaptations to the characteristics of each project and resources and available technology companies in the market. At the same time that the specifications are prepared is also necessary to provide how will be the analysis of the products and services, but for this purpose there are a few simple instructions about procedures for monitoring, especially when it are digital products. Both the academic point of view, as the professional, it is important the discussion on the specifications and supervision of products for the digital aerial photogrammetry to confirm if the recent advances and new methods developed, with applications in various stages since the acquisition to final products are in level operational or still need improvements. This article discusses several of these issues using data from recent mapping with digital aerial photogrammetry conducted for the city of Recife, which were monitored by team of UFPE. It also discusses the procedures adopted to circumvent the lack of specific standards in Brazil to digital aerial photogrammetry.

1. INTRODUÇÃO

São relativamente fáceis de serem encontradas especificações padronizadas para contratos de serviços fotogramétricos, ou com a simples compilação de alguma especificação usada em serviço similar ou baseada em especificações de entidades internacionais, como: ASPRS (1990); ISPRS (Kure, 1988); United States Geological Survey-USGS (USGS, 1999); RISC (Leatherdanle,1980), USGS(2007), e outros mais específicos para fototriangulação BMGS (2008), para ortofotos FGDC-STD-008 (1999); mas sempre são necessárias adaptações para as características de cada projeto e que sejam compatíveis com os recursos e tecnologias disponíveis nas empresas. Ao mesmo tempo em as especificações são preparadas é necessário também prever como serão

analisadas os serviços durante a execução e testados os produtos, mas existem poucas instruções sobre procedimentos de fiscalização, principalmente quando se trata de produtos digitais.

Tanto do ponto de vista acadêmico, quanto do profissional é importante a discussão sobre fiscalização de produtos da fotogrametria digital para abalizar os avanços recentes, e se os novos métodos desenvolvidos para aplicações: desde o planejamento para aquisição da imagem; tipo de câmera; métodos de medições e processamentos para a fototriangulação; restituições planimétricas e altimétricas; até a geração do MDT e de ortofotocartas, estão mesmo em nível operacional ou ainda necessitam de aperfeiçoamentos.

Este trabalho discute várias dessas questões usando dados de serviço recente do mapeamento com

aerofotogrametria digital realizado para a PCR (Prefeitura da Cidade de Recife), que foram fiscalizados por equipe da UFPE, com a finalidade de mostrar a necessidade de compatibilização entre normas existentes e suas adequações aos recursos disponíveis de modo a facilitar o acompanhamento posterior. Também se discute os procedimentos adotados tanto para contornar falta de normas oficiais no Brasil do voo.

2. ANÁLISE DE TÓPICOS DE ESPECIFICAÇÕES

A grande quantidade de itens e as variações das especificações de acordo com cada aplicação fazem com que sejam discutidos e analisados aqui apenas alguns tópicos, que foram julgados mais importantes com relação aos procedimentos posteriores de fiscalização e garantia de qualidade final dos produtos gerados. É fundamental que para cada item de uma especificação exista a previsão de como o mesmo será avaliado, levando em conta as características principais do serviço e as condições particulares da região do levantamento.

2.1 Qualidade das imagens e do material fotográfico

Atualmente já estão disponíveis no mercado mundial as câmeras aerofotogramétricas digitais, mas ainda por algum tempo a aquisição de imagens ainda será feita pelo uso de câmeras analógicas e posterior digitalização, como foi neste trabalho.

Seja com câmera analógica ou digital, as restrições quanto a altura do sol, existência de nuvens e respectivas sombras permanecem válidas, mas algumas alterações e tolerâncias que podem ser admitidas referentes a qualidade das imagens digitais em função das condições de tomada e registro:

- Altura do sol. A altura do sol na maioria das especificações deve ser superior a 30° a partir do horizonte. Ora este valor é comum nas especificações internacionais de países temperados, onde a altura do sol na maior parte do ano é baixa. Aqui, na região tropical, com este ângulo as sombras são muito fortes e têm extensão de 1,7 da altura do objeto, e as sombras de prédios altos encobrem as edificações vizinhas. Para o Recife foi especificado o mínimo de 50° que se mostrou adequado. A fiscalização pode ser feita facilmente usando o relatório das fotografias para verificar os horários de tomada. Com esse dados, mais a latitude e longitude do local, podem ser usados programas que calculam azimute e altura do sol para qualquer horário.
- Existência de nuvens e/ou sombras de nuvens. A existência de nuvens quase sempre é objeto de restrições severas e não são aceitas. Mas em certas regiões do mundo, inclusive várias no Brasil, são reconhecidas como de permanente e alta nebulosidade todo o ano (Silva, 2000) e nestes casos podem ser aceitáveis percentuais como 5 ou

10%, desde que estejam fora da área a ser restituída. No caso deste projeto a especificação previu uma tolerância para fotografias que não obedecessem rigorosamente as especificações, mais ficando a empresa executante totalmente responsável pela qualidade dos produtos finais. Foram realizados vôos abaixo de nuvens altas e ainda assim o período total para completar o vôo demorou mais de cinco meses para uma área de 220km² que poderia ser levantada em alguns dias.

- As sombras também aparecem com restrições idênticas às das nuvens. Porém as técnicas de processamento de imagens já conseguem corrigir as sombras mais suaves de nuvens. Este processo é ainda bastante manual e consome muito tempo, mas em regiões problemáticas como citadas acima, é uma alternativa a ser usada.

A fotografia aérea é o material básico de trabalho para o qual se exige sempre o melhor. O “ótimo” esperado é um diapositivo copiado de um negativo perfeito. Uma boa fotografia deve ser obtida dentro da faixa ideal da curva característica do filme e para isto são definidas as densidades mínimas e máximas na maioria das especificações. Porém, para este tipo de especificação é necessário que a fiscalização disponha de com microdensitômetro e possa elaborar cálculos sofisticados. Em Welch e Halliday (1975) e especificações da ASPRS (1995) são dadas indicações de como proceder nas medições de densidade dos negativos.

A forma de contornar essa dificuldade é usando especificações do tipo: “Os negativos deverão ser processados de tal forma que as entidades discerníveis no terreno, das sombras aos tons vivos, sejam claramente identificáveis. A densidade do negativo não deve ultrapassar os valores médios recomendados pelo fabricante”. Embora vaga ela pode ser verificada pela fiscalização, visto que fotografias com pouca nitidez, ou muito claras ou muito escuras, são fáceis de serem notadas, e podem também ser comparadas com exemplares de outros vôos. Também é importante uma confiança mútua entre contratante e contratado, que deve ter responsabilidade técnica e controles próprios, como os certificados de qualidade ISO.

Existem ainda outras exigências como: “ Todos os negativos revelados devem estar livres de manchas, impressões digitais, bolhas, listras, marcas estáticas, riscos, manchas de natureza química e ondulações”; que são fáceis de serem percebidas pela fiscalização.

As exigências de qualidade das fotografias são ainda mais rigorosas quando elas se destinam a geração de ortofotocartas, o que atualmente é bem comum, devido ao seu baixo custo de produção quando comparado com a restituição. Mas agora os programas gráficos e de processamento de imagens digitais podem corrigir muitos dos problemas de iluminação das fotografias (Silva e Zhang, 2007), mesmo para uso em ortofotocartas, e as especificações podem ser mais tolerantes. A Figura 1 mostra exemplo de reflexão especular do sol na água corrido e a Figura 2 exemplo de correção de sombra.

É bom salientar que reflexos fortes podem encobrir feições vizinhas e sombras fortes não são bem eliminadas.



Figura 1. Exemplo de correção de reflexo do sol em corpos d'água na fotografia da direita (Fotografia: Engefoto S/A)



Figura 2. Exemplo de correção de sombra na fotografia da direita. (Fotografia: Engefoto S/A)

Os serviços de verificação visual das fotografias são facilitados com ajuda do fotoíndice, em que são observados os desvios das faixas de vôo e os revôos. Também podem ser verificados de forma geral os percentuais das superposições longitudinais e laterais, e apenas onde houver dúvidas serem efetuadas medições diretas nas fotografias. Na verificação em cópias em papel das fotografias é recomendável usar gabaritos em papel transparente para os ângulos e superposições.

2.2 Resolução Geométrica mínima

O termo resolução, relativo a geometria, é usado indiscriminadamente com vários sentidos. A resolução de uma imagem, é entendida como a capacidade de se separar os menores elementos da mesma, e é resultado do poder de resolução do filme, da FTM, da granulometria e contrastes do terreno.

Em sentido prático as especificações prevêm a resolução em termos tradicionais do tipo: "Para o sistema objetiva- filme deverá ser observado um poder resolutivo

mínimo de 100 pares linhas por milímetro...". Esta especificação não é rigorosa, pois a melhor necessitaria fazer uso da FTM (Função de Transferência de Modulação) e a fiscalização só pode ser feita adequadamente em laboratórios com medições em microscópios e outros procedimentos complexos. Mas ela pode ser aceitável se a fiscalização solicitar comprovação do tipo de filme usado e comparar com as especificações do fabricante e com os vários tipos de filmes existentes no mercado. É importante analisar que deve ser verificado a resolução para contraste 1,6:1 que é o mais aproximado para as condições reais médias de tomada das fotografias.

O uso de estabilizadores e plataformas com compensadores de movimento longitudinal FMC (*Forward Motion Compensation*) para as câmeras, melhoram muito a resolução, principalmente para as grandes escalas, quando o efeito do arrastamento pode ser significativo.

Após revelação das fotografias e verificação de sua qualidade se passa para a fase de digitalização, em que é importante a definição da resolução geométrica em relação à imagem e ao terreno.

2.2.1 Digitalização

A definição da resolução na digitalização tem implicações nos custos e no rol de empresas que podem executar os serviços.

A unidade comum de digitalização é a taxa de amostragem de pontos por polegada, ou n/dpi , em que n é a taxa e dpi é abreviatura de *dots per inch*, ou a quantidade de pontos amostrados por 25,3 mm. A partir dessa taxa é feita a conversão para o tamanho de cada ponto em micrômetro, que multiplicado pelo fator de escala dá o tamanho do pixel no terreno ou o GSD (ou *Ground Sample Distance*). Por exemplo, com amostragem de 1600 dpi o tamanho do pixel na imagem é de 0,0158mm e para uma fotografia de escala 1/6000 o pixel no terreno vale 94,8mm ou 9,5cm. Mais detalhes sobre os vários significados de resolução são encontrados em SLATER (1983) e Silva e Dalmolin (1998).

Na definição da taxa de amostragem da digitalização existem vários fatores de importância prática a considerar:

- Tamanho do arquivo. Os arquivos crescem com potência 2 com a taxa de amostragem. Por exemplo, para amostragem de 840 dpi, ou 30 μm , o tamanho do arquivo para imagem colorida é 172Mb, para 1680 dpi, ou 15 μm , é 668 Mb. Essas imagens exigem computadores com alta performance, para serem manipuladas, e dispositivos para grande massa de dados e é ainda um fator limitante para algumas empresas.
- Nitidez dos detalhes. Avaliações feitas sobre a taxa de amostragem ideal, de modo a ser mantida a resolução da fotografia original, indicam variações para o tamanho do pixel de 9 a 13 μm (Silva e Dalmolin, 1998).

Na prática muitas empresas preferem trabalhar, e até recomendam para os clientes, a taxa de 1000 dpi, ou 25 μm , cujo arquivo com 86 Mb é fácil de ser processado, mas existem ainda outras questões referentes a precisão, discutidos a seguir.

2.2.2 Relação de Precisão com Resolução

As dimensões dos pixels têm implicações diretas na precisão da fototriangulação e restituição. A precisão teórica pode ser dada pela relação proposta Schiewe (1995). Sendo S_h , o desvio padrão de medição planimétrica:

$$S_h = (h / f) \cdot S_{xy} = p \cdot Pt \quad (1)$$

Em que : h, altura do voo
f, distância focal
 S_{xy} , precisão da leitura na imagem;
Pt, tamanho do pixel no terreno;
p, valor empírico entre 0,5 a 0,9 do valor de Pt

Tomando como exemplo o tamanho do pixel no terreno de 10,0cm a precisão planimétrica varia de 5,0 a 9,0cm.

A precisão altimétrica S_v é dada pela fórmula :

$$S_v = (h / b) \cdot P_v \cdot Pt \quad (2)$$

Em que : b, comprimento da base;
 P_v , corresponde em ambiente estereoscópico a valores de 0,3 a 0,8 do pixel.

Por exemplo, para uma fotografia digitalizada com $Pt = 20,0\text{cm}$, escala 1:8.000, distância focal 153mm, base de 736,0m, e altura do voo 1224,0m; a precisão altimétrica S_v varia de 15,0 a 40,0cm.

Conforme as equações 1 e 2 o aumento de precisão é proporcional a taxa de amostragem e pode até haver ganho na adoção de uma escala de fotografia menor. O trabalho de Preosck (2006) mostra que a digitalização de fotografias na escala 1:10.000 com 16 μm é equivalente a fotografias 1:8000 com 24 μm e assim se pode obter uma economia de cerca de 28,6% com uso de escala menor para o voo.

De modo geral o uso fotografias digitalizadas na aerofotogrametria digital têm trazido ganhos significativos na qualidade geométrica a nível dos serviços realizados pelas empresas que estão sendo obtidos resultados mais precisos com relativa facilidade. A empresa Topocart apresenta dados de voo escala 1:6000 que obteve precisão de 0,141m para planimetria compatível com escala 1/500 segundo as normas da cartografia nacional (Topocart, 2002).

2.3 Fototriangulação

Uma possível especificação que pode encarecer os trabalhos de campo é exigir apoio em cada modelo, em detrimento das técnicas da fototriangulação.

A medição de pontos no campo para apoio à fototriangulação atualmente pode ser feita com vantagens com GPS. Mesmo os métodos de levantamentos rápidos já dão precisão de alguns centímetros, dependendo da distância à base, suficientes para a fotogrametria. Os pontos altimétricos medidos com GPS necessitam de correção da ondulação geoidal local para terem a precisão necessária, mas os valores fornecidos pelo programa MAPGEO do IBGE ainda não tem precisão suficiente para as escalas grandes e médias. Nesses casos, a alternativa considerada satisfatória é calcular um geóide local aproximado, com medições GPS das alturas elipsoidais em várias referências de níveis (RN) no entorno e interior da área do projeto. As cotas dos demais pontos são obtidas por interpolação.

Algumas empresas de aerolevantamentos do Brasil já dispõem de câmaras acopladas à GPS que podem reduzir as medições de campo a alguns pontos distribuídos na periferia e cantos do bloco. O cuidado ao se exigir o voo seja apoiado com GPS é se isto não reduz o número de empresas que podem participar do processo de licitação.

As precisões e acurácias das coordenadas dos pontos necessários para as operações de orientações absolutas devem ser avaliadas a partir dos relatórios dos programas de ajustamento da fototriangulação. Para isto é conveniente a previsão nas especificações para que sejam disponibilizados relatórios completos e resumos. O melhor método, com resultados mais confiáveis e precisos, é o ajustamento analítico simultâneo de feixes de raios em bloco (*analytical bundle block adjustment*), com ou sem o uso de parâmetros adicionais, mas este recurso só é usado por algumas as empresas do setor, sendo que as demais usam o ajustamento por modelos independentes.

Como no Brasil não existe instrução oficial sobre o nível de acurácia da fototriangulação foram usados como referência os índices recomendados pelas instruções do USA Army (2002) e adotadas pelas empresas americanas (Hussain e Bethel, 2004) constantes da Tabela 1, em EMQ (Erro Médio Quadrático) proporcional a altura de voo para planimetria e altimetria e segundo o método de ajustamento.

O EMQ é estatística de medida linear, segundo os eixos X ou Y, ou E e N. Por exemplo, para a direção X é avaliado por:

$$EMQ_x = \sqrt{(\sum (di)^2 / n)} \quad (3)$$

Em que di = discrepância na direção da coordenada X igual a $(X_{map} - X_{chec})$;
 X_{map} é a coordenada medida no mapa ou sistema referência 1
 X_{chec} é a coordenada medida no campo ou sistema referência 2

No caso de verificação da aerotriangulação di é o resíduo de cada ponto de apoio no final do ajustamento.

Tabela 1 . Critério de Acurácia para Aerotriangulação (para distância focal de 152mm) . (USA Army, 2002)

Clas se	Método de Aerotriangulação	EMQ ²	
		Horizont.	Vertical
1	Totalmente Analítico	H/10,000	H/9,000
2	Totalmente Analítico	H/8,000	H/6,000
3	Totalmente Analítico ou Semi-analítico	H/6,000	H/4,500

Notas:

1 O erro máximo permitido é 3 EMQ.

2 Nível de confiança de um-sigma.

Como base na classe 1 da Tabela 1 foi especificado a exatidão da aerotriangulação para escala 1/6000 e altura de vôo de 900,0m: EMQ horizontal de 0,090 m e máximo permitido de 0,270m.

Não são discutidas as precisões verticais porque o projeto não previu o fornecimento de cartas com curvas de níveis ou pontos cotados. A altimetria do projeto consta da geração do MDT essencial para os serviços de ortoretificação e que foi obtido de pontos cotados adequadamente distribuídos em posições e espaçamentos de modo a garantir uma boa representação do terreno.

A verificação da fototriangulação foi feita sobre os relatórios de saída do programa de ajustamento. As análises foram realizadas segundo a classificando dos pontos da aerotriangulação em três tipos:

- Pontos de apoio. A quantidade e distribuição de pontos de apoio planialtimétricos e altimétricos deve igual ou inferior ao espaçamento máximo entre bases de modelos estereoscópicos (quatro para classe 1) segundo padrões da USA Army (2002). Os pontos de apoio foram levantados com GPS, do tipo com L1/L2, ligados à rede de 1ª ordem do IBGE. É conveniente que seja planejada e implantada uma rede de 1ª ordem dentro da área. Deve ser exigido que as precisões dos pontos de apoio satisfaçam a rede de 2ª ordem, ou melhor, para planimetria. Após a aerotriangulação devem ser analisados os resíduos destes pontos segundo discussão com base na equação 1 e Tabela 1. É conveniente também fazer um mapa temático com desenho proporcional ao resíduo e analisar se estão agrupados. Caso ocorra um agrupamento de resíduos fora ou próximos do limite é necessário uma análise mais rigorosa nestas regiões e medições complementares.
- Pontos de checagem. São os pontos medidos em campo, mas que entram na aerotriangulação como pontos fotogramétricos comuns, cujas coordenadas

calculadas são comparadas com as anteriores. Devem ser bem distribuídos em toda área do projeto. Eles são indicadores mais rigorosos da qualidade da aerotriangulação que os resíduos dos pontos de apoio; e devem ser previstos nas especificações no caso da futura fiscalização não ter meios de efetuar medições em campo. No projeto a empresa usou 24 pontos de checagem que apresentaram discrepância máxima de 0,286m; EMQ de 0,127m para E; 0,064m para N e 0,081m para Z. A avaliação deve ser feita agora não como ponto de apoio mas como ponto de teste da carta final usando o PEC para a escala prevista. O valor do EMQ para E é maior que o exigido para os pontos de apoio, mas é menor o PEC de 0,50m da escala 1/1000.

- Pontos fotogramétricos. Esses são os pontos com coordenadas no terreno obtidas como resultado da fototriangulação. O indicador de precisão desses pontos pode ser o desvio padrão do mesmo (raiz quadrada da diagonal da MVC dos parâmetros ajustados), se o programa o fornecer, ou o resíduo. Como a quantidade de pontos é muito grande é impossível analisar todos visualmente. O ideal é que o programa de fototriangulação tenha rotinas de detecção de erros de modo que os maiores já estejam eliminados no ajustamento final. Também se pode preparar uma planilha eletrônica com todos os pontos a partir do relatório completo e criar uma célula onde se lança um símbolo em destaque se ocorrer um resíduo 3 vezes superior ao esperado.

Também é possível analisar a precisão pelo desvio padrão dos parâmetros de posição (E, N e Z) e orientação (ϖ, φ, κ) de cada fotografia.

2.4 Detalhes topográficos

A definição da escala de vôo é o principal fator na capacidade de identificação e reconhecimento de detalhes. Porém é necessário um balanço entre o que é possível identificar e o que é necessário para a finalidade do produto final. Esta questão influencia diretamente os custos, tanto pela quantidade de fotografias (que cresce potencialmente com o aumento da escala), como pelo tempo gasto na restituição. Por exemplo, enquanto um modelo estereoscópico de área urbana típica que gasta de 60 a 80 horas para ser restituído, em uma área de habitações sub-normais muito densa pode gastar até 240 horas.

Neste projeto, por questões de limitações financeiras, foi previsto para a maior parte da área apenas a restituição de alinhamento de quadras. Apenas em algumas áreas onde ocorreu expansão da cidade, e não existia alguma base cartográfica, foram também restituídos os lotes e edificações.

2.5 Exatidão e precisão planimétricas

As normas brasileiras sobre exatidão de mapas se referem apenas a cartas de escalas menores que 1:25000 (Decreto 89817 de 20 de julho de 1984), e estabelece as exatidões planimétricas e altimétricas segundo as classes A, B e C, mas é usada também para escalas médias e grandes. Os níveis de exatidão/precisão lá definidos são iguais à maioria das normas de outros países. A norma é incompleta porque mistura termos estatísticos, não define número mínimo de pontos a serem testados, nem sua distribuição na folha do mapa, nem o nível de precisão do processo de medição a ser usado para os testes; e está desatualizada porque se baseia ainda no erro gráfico de medição em carta impressa e não em mapas digitais.

Mais modernas são as especificações da ASPRS (1990) recomendam precisões relativas ao real do terreno, apropriadas para cartas digitais que têm escalas naturais, e para cada valor relaciona a correspondente escala típica de representação mostradas na Tabela 2. Os valores correspondem a 0,25mm de uma carta impressa e são os valores máximos permitidos, ou seja, correspondem a três sigmas, portanto são bem mais rigorosos que a norma brasileira. Por exemplo, para escala de 1/1000 o EMQ máximo seria 0,25m pela ASPRS, enquanto pelas outras normas 90% dos pontos devem ter discrepância menor que 0,50m, que é estatisticamente equivalente a um sigma para 0,30m e três sigmas para 0,90m.

Tabela 2. Exigências de exatidão para coordenadas planimétricas – Mapas Classe 1 (Baseada em ASPRS, 1990)

EXATIDÃO PLANIMÉTRICA EMQ (m)	ESCALA TÍPICA DO MAPA
0,25	1:1 000
0,50	1:2 000
1,00	1:4 000
1,25	1: 5 000
2,5	1: 10 000
5,00	1: 20 000

2.6 MDT e Ortofotocartas

Os MDT constituem um produto básico para a cartografia digital, sistemas de SIG e processamento de imagens de satélites de alta resolução. Por isso é conveniente que o usuário solicite o MDT para uso futuro. São úteis para geração de vários produtos, como plantas de declividades, vistas em perspectiva e essenciais para orto-retificação e retificação monocópica de fotografias. Muitos programas de SIG e processamento de imagens de satélites incorporam módulos para trabalhos com MDT.

A precisão da representação do relevo depende da densidade de pontos e da marcação de linhas importantes do terreno como talvegues e quebras bruscas de declividades. A restituição da altimetria do projeto da PCR mediu pontos em interseções de ruas, em terrenos baldios e outros adequadamente distribuídos, em posições suficientes para geração do MDT. O MDT foi interpolado

para gerar uma malha regular de 5,0mx5,0m e usado para a ortoretificação das fotografias destinadas as ortofotocartas.

Ocorreram os problemas previstos com o rebatimento dos prédios altos, comuns nas grandes cidades, que encobrem as ruas e outros prédios menores. Para contornar parte do problema em área com grande concentração de prédios muito altos a empresa executou, mesmo sem estar previsto no contrato, algumas faixas adicionais a fim de ter mais opções de seleção de fotografias. As soluções existentes para este problema são de alto custo: a) uso de câmera com grande distância focal; b) Vôos com maiores superposições longitudinal e transversal; c) Geração de ortofoto verdadeira. Este último exige medições de alturas de todos os prédios e mesmo assim os programas existentes ainda estão em nível experimental.

A recomendação antiga para ortofotocartas exigia que as folhas dos mapas fossem preparadas de uma única fotografia. Porém atualmente os programas para aerofotogrametria e mapeamento fazem mosaicos de várias fotografias, com técnicas sofisticadas de definição das linhas de emendas e balanceamento radiométrico para correção das diferenças de tonalidades entre imagens vizinhas.

Os tamanhos dos pixels no terreno para satisfazer aos padrões de exatidão americanos para escalas grandes de ortofotocartas (Manzer,1995), são apresentados na Tabela 3. No projeto da PCR as fotografias foram digitalizadas com 0,016mm e pela escala da ortofotocarta de 1/6000 o tamanho do pixel no terreno ficou em 9,60cm e assim está menor que os 12,0cm da Tabela 3.

Tabela 3. Tamanho dos pixels no terreno para atender à exatidão de 0,5mm na escala do mapa (Manzer, 1995)

ESCALA FINAL DA ORTOFOTO	TAM DO PIXEL
1:1000	12 cm
1:2000	25 cm
1:2500	30 cm
1:4000	50 cm
1:5000	60 cm
1:10000	125 cm
1:20000	250 cm

3. TESTES DE PRECISÃO.

Como as instruções do Decreto 89817 não são completas para os testes de mapas e geram interpretações diferentes é conveniente para fins de fiscalização que a especificação do serviço defina bem quais critérios usará para comparar as coordenadas do mapa e com as medidas em campo. No projeto da PCR foi definido o seguinte: “Os testes de precisão planimétricos serão realizados por amostragem, medindo-se 10 pontos bem identificados e distribuídos nas folhas a serem testadas e comparando-se com a posição medida em campo, por GPS a partir dos

vértices da Rede de Referência, com tempo de rastreamento médio igual ao usado para medição dos pontos de apoio, sendo que será avaliado o erro posicional considerando o vetor entre os pontos definidos pelas coordenadas da medição em campo e a medição na carta. 90% dos pontos devem atender ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC que classifique a carta como classe A e não deverão ter sua representação deslocada mais de 0,5 mm, na escala da carta. Pontos que apresentem erro posicional igual ou superior a 1,0mm serão considerados erros grosseiros e toda carta deverá ser refeita”.

Essa especificação simplifica a avaliação de exatidão dos pontos medidos, mas existem métodos estatísticos mais complexos que analisam também precisão e a confiabilidade para rejeitar ou aceitar uma carta, como por exemplo os testados por Leal (1998).

Os testes de campo foram planejados para obedecer ao previsto nas instruções acima. Cada folha do projeto cobre área de 0,50km² e após uma primeira medição de teste, verificou-se que os dez pontos previstos ficavam muito próximos entre si e que uma distribuição melhor era conseguida considerando duas folhas contíguas, ou seja em áreas de 1,0km². As folhas foram escolhidas com espaçamento relativamente homogêneo e cobrindo toda a área do projeto, principalmente na parte de 150km² com restituição das quadras. Em algumas folhas havia muita vegetação e poucos pontos bem identificados e assim foram medidos apenas três ou quatro. Nesta escolha também foram consideradas questões de segurança para as equipes e equipamentos e certas áreas da cidade foram evitadas. Os pontos eram escolhidos previamente, em número de 10 a 12, em feições bem identificadas, como cantos de muros ou calçadas, sobre as ortofotocartas. Em seguida eram feitos recortes da imagem com os pontos, copiados e impressos para uso no campo.

As medições com GPS L1/L2 usaram um receptor numa base integrante da rede de 1ª ordem implantada e o outro móvel sobre o ponto planejado, com tempo de rastreamento mínimo de 20 minutos, de forma similar aos procedimentos usados pela empresa contratada para coletar os pontos de apoio para a fototriangulação. Quando em campo se verificava situações de obstrução por árvores ou prédios e ponto era alterado. O processamento tentava obter a solução de fixação de ambigüidades, mas algumas vezes houve perda de sinal e não foi possível obtê-la. Após o processamento as coordenadas eram conferidas com as coordenadas medidas nas ortofotos em ambiente CAD.

A medição em ambiente CAD é totalmente diferente da medição gráfica numa folha impressa, cujo erro médio é o fundamento do Erro Padrão do Decreto 89817. Agora é possível aumentar a escala com o zoom e a precisão da medição vai depender do tamanho do pixel em imagens *raster* ou exclusivamente da precisão da restituição vetorial, sem acréscimo dos erros gravação, impressão e capacidade visual da pessoa. Este é um dos motivos da maior qualidade posicional obtida com as tecnologias digitais.

Os valores especificados de 0,5mm e 1,0mm na escala de 1/1000 correspondem a 0,50m e 1,0m. A verificação é feita simplesmente conferindo se 90% dos pontos têm o vetor formado pelas discrepâncias em E e N menores que 0,50m e rejeitando os superiores a 1,0m. Durante a conferência foram identificadas discrepâncias maiores que as especificadas em alguns pontos, mas todos eles ocorreram ou por não se ter obtido a solução fixa, ou quando houve alteração em campo e engano na sua localização na ortofotocarta. Esses pontos foram remediados em campo ou nas ortofotos e assim passaram nos testes.

Foram medidos 125 pontos, cobrindo 24 folhas. A Tabela 4 mostra um resumo dos testes de exatidão. As discrepâncias isoladas máximas em vetor variaram de 0,096 a 0,348m e o EMQ por conjunto de 2 folhas de 0,072 a 0,306. Também foram calculados os EMQ segundo as direções E e N (colunas E e N) os desvios padrões (coluna DP) dos vetores, que resultaram menores que os EMQ e variaram de 0,037 a 0,136m. As diferenças significativas de valores entre os EMQ e desvios padrões indicam que é fundamental que existam normas bem claras para a avaliação da precisão e acurácia de um mapa.

Esses testes mostram que a exatidão encontrada é compatível com mapas impressos de escala 1/1000, segundo as normas brasileiras. Também foi realizada uma análise segundo as normas da ASPRS e foram identificados 14 pontos que tiveram uma das coordenadas, E ou N, maiores que o limite máximo de 0,25m para escala 1/1000, mas a maioria deles coincidiam com pontos situados em locais desfavoráveis para rastreamento GPS. Se o padrão a ser obedecido fosse o da ASPRS as medições deveriam ser refeitas antes de refazer as estatísticas de controle e também se verificar se a medição em imagem raster não interfere nos resultados.

Tabela 4. Estatísticas da verificação de precisão com testes em campo de pontos bem identificados no terreno.

DATA	EMQ			DP
	E	N	Vetor	Vetor
0801	0,088	0,050	0,101	0,071
1701	0,052	0,102	0,115	0,053
1901	0,105	0,179	0,208	0,106
2001	0,142	0,130	0,193	0,069
2201	0,099	0,058	0,115	0,069
2501	0,057	0,126	0,139	0,109
2601	0,061	0,038	0,072	0,037
0103	0,113	0,077	0,137	0,061
1503	0,098	0,070	0,120	0,063
2903	0,089	0,168	0,190	0,108
3003	0,175	0,196	0,263	0,113
0404	0,110	0,242	0,266	0,136
0504	0,205	0,227	0,306	0,103

4. CONCLUSÕES

Foram discutidas várias questões referentes a pontos importantes de especificações para mapeamento com aerofotogrametria digital, visando principalmente as implicações nos custos, número de empresas capacitadas a executarem os serviços previstos, e nas formas adequadas de fiscalização quando da execução.

A análise desses itens sobre serviços recentemente executados para a Prefeitura da Cidade de Recife, mostraram que as especificações de precisão baseadas nas normas da cartografia nacional são facilmente atingidas com a aerofotogrametria digital. Também é possível adotar padrões para a aerotriangulação adotados internacionalmente.

Para evitar problemas entre contratantes e contratados de mapeamentos, e facilitar a fiscalização dos serviços, é fundamental que as normas da cartografia nacional sejam atualizadas para a tecnologia digital e que os procedimentos de verificação e checagem sejam bem definidos nas especificações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Diretoria de Informações da Secretaria de Planejamento da Prefeitura da Cidade de Recife e à empresa Engefoto, pela disponibilização do material usado neste artigo.

REFERÊNCIAS

ASPRS. **Asprs accuracy standards for large-scale maps**. ASPRS Professional Practice Division. PE&RS. v. 56 n.7. p. 1068-1070. 1990.

ASPRS. **Draft aerial photography standard**. ASPRS Professional Practice Division. PE&RS. v. 61 n. 9. p. 1097-1103. sep 1995.

BMGS. **Specifications for Aerial Triangulation Edition Version 1.0**. Victoria, BC, Canada. Ministry of Agriculture and Lands, Integrated Land Management Bureau (ILMB) Base Mapping and Geomatic Services Branch .2008

FGDC-STD-008-1999. **Content Standards for Digital Orthoimagery**. Subcommittee on Base. Cartographic Data. Federal Geographic Data Committee. February 1999.

FLEMING, E. A. **ICAS Specifications for aerial photography**. The Canadian Surveyor. v. 37 n.3. p. 145-155. 1983.

HUSSAIN, MUSHTAQ; BETHEL, JAMES. **Project and Mission Planning**. In: Manual of Photogrammetry 5th edition. ASPRS. 2004.

LEAL, E. M. **Análise da Qualidade Posicional em bases Cartográficas Geradas em Cad**. Dissertação de Mestrado. CPGCG, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1998.

MANZER, G.: **Practical considerations for avoiding problems in the production of digital orthophotos**. Geomática. v. 49 n. 4. p. 455-462. 1995.

PREOSCK, ROBERTO ELIZEU. **Otimização da Restituição Fotogramétrica Digital Urbana: Relação Escala da Fotografia e a Resolução Geométrica da Imagem**. Dissertação de Mestrado. CPGCG, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2006.

RICS. **Specifications for vertical air photography**. 3th ed. The Royal Institution of Chatered Surveyors. 15 p. 1989.

SCHIEWE, J. **Cartographical Potential of MOMS-02/D2 Image Data**. In: Photogrammetric Week'95. Heidelberg: Ed. Fritsch/Hobbie, Wichmann. P 99-105. 1995.

SILVA, D. C., DALMOLIN, Q. **Avaliação da resolução de imagens digitais para cadastro**. In: CDROM Anais 3º COBRAC- Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis. 1998.

SILVA, D. C.; ZHANG, YUN. **Análise de Métodos para Eliminação de Sombras em Imagens Aéreas Digitais**. In: CDROM Anais V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Presidente Prudente: UNESP. 2007

SLATER, PHILIP N. (Ed). **Manual of Remote Sensing** 2nd edition. V.I. American Society of Photogrammetry. 1983.

TOPOCART. **Mapeamento da Usina Trapiche com tecnologia digital- Aplicações no Geoprocessamento**. Apresentação em slides no 9º Seminário Regional em Cana de Açúcar. Recife. 2005.

U.S. ARMY. **Manual No 1110-1-1000 Engineering and Design Photogrammetric Mapping**. Washigton, DC: Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineer. 2002.

USGS. **Federal Digital Imagery General Contract Guideline**. Version 1.0 Date:5-3-2007. Disponível em: http://calval.cr.usgs.gov/documents/Fed_Dig_Img_Guideline.pdf