# CADASTRO FOTOGRAMÉTRICO DE MONUMENTOS HISTÓRICOS

Simone da Silva Soria Medina[1]
Quintino Dalmolin[2]

MEDINA, S. da S. S.; DALMOLIN, Q. Cadastro fotogramétrico de monumentos históricos. **Revista Educação Gráfica**, Bauru, n.8, p.107-117, 2004.

**Resumo**

Muitos trabalhos relacionados à conservação e restauração de monumentos históricos têm mostrado a importância e a aplicabilidade da Fotogrametria na elaboração de sua documentação gráfica. Cada monumento possui características próprias de sua construção e seu cadastramento deve ser particularizado, levando em consideração suas características e à finalidade a que se destina o cadastro. Devido a precisão e rapidez com que um objeto pode ser levantado através de métodos fotogramétricos, o *Conselho Internacional de Monumentos e Sítios - ICOMOS* recomenda que estes sejam utilizados no cadastramento de monumentos históricos. O presente

[1] Doutora em Ciências Geodésicas / Fotogrametria - moni@ufpr.br - Departamento de Desenho – UFPR Centro Politécnico, s/n – 3º andar – 80531-990 – Curitiba – PR
[2] Doutor em Ciências Geodésicas / Fotogrametria - dalmolin@ufpr.br - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR

trabalho tem por objetivo mostrar o estado da arte da Fotogrametria Arquitetônica, enfatizando os métodos fotogramétricos utilizados no cadastro de monumentos históricos e especificando-os. Faz-se também uma comparação dos métodos quanto à precisão do produto resultante e facilidades operacionais.

**Palavras-chave:** Fotogrametria, Cadastro, Arquitetura

Abstract

Many projects related to the conservation and restoration of historical monuments have attested the importance and the applicability of Photogrammetry in the elaboration of its graphic documentation. Each monument has its own construction features and its registration must be specified, considering its features and the purpose of the registration. Due to precision and rapidity which an object can be surveyed through photogrammetric methods, the International Council of Monuments and Sites – ICOMOS recommends that these methods be used on historical monument registrations. The present work shows the art of Architectonic Photogrammetry, emphasising the photogrammetric methods used in historical monument registrations, specifying and comparing them as to accuracy of the resulted product and operational facilities.

**Keywords**: Photogrammetry, Cadastre, Architecture

## Introdução

Muitos países têm revelado suas preocupações com respeito à preservação de sua cultura, o que implica, entre outros fatores, na conservação, restauração e conseqüente tombamento de monumentos históricos e sítios arqueológicos. A conciliação entre preservação do patrimônio com o desenvolvimento regional tem sido, e continua sendo, objeto de estudos, redirecionando e revitalizando as atividades de uso das edificações que representam marcos históricos da cidade ou da cultura imigratória.

Os monumentos históricos possuem valor econômico e podem ser considerados instrumentos de progresso, além de serem testemunhos das tradições de um povo. Após a 2ª Guerra Mundial, a demanda por trabalhos de preservação e restauração de monumentos foi motivada gerando interesse de pesquisadores em aperfeiçoar as técnicas de cadastramento destas obras.

O cadastramento de monumentos é efetuado, tradicionalmente, com levantamento a trena, sendo medidos, *in loco*, todos os elementos necessários à sua representação. Esta técnica tradicional, utilizada na maioria dos trabalhos realizados no Brasil, baseia-se em medições diretas sobre o monumento, o que além de torná-lo mais moroso, dependendo do estado de conservação, pode ainda danificá-lo. O desenho é normalmente efetuado pela mesma pessoa que fez o croqui do levantamento, não sendo raro o retorno ao campo para complementar ou verificar medidas imprescindíveis à conclusão da representação gráfica.

Uma das dificuldades encontrada no levantamento a trena é com relação a representação dos elementos curvos que requerem a medição em vários pontos ao longo de sua superfície. O tamanho do monumento também pode dificultar o levantamento. Quanto maior, mais demorado se torna, chegando até ser impossível a utilização de trenas. A Topografia passa então a auxiliar

na medição de alguns elementos através do uso de teodolitos ou estações totais.

Com o advento da fotografia, esta passa a ser bastante utilizada na Arquitetura, inclusive em trabalhos de cadastramento de monumentos. Com o desenvolvimento da Fotogrametria, surge uma nova opção para levantamentos de obras arquitetônicas. Os métodos fotogramétricos existentes pressupõe a solução nas formas matricial ou vetorial, diferindo significativamente em relação à facilidade operacional e precisão.

Para verificar a precisão alcançada, assim como avaliar a facilidade operacional dos métodos fotogramétricos, escolheu-se um exemplar arquitetônico, localizado no centro histórico de Curitiba, conhecido por Solar do Rosário. Após a execução de cada etapa necessária ao levantamento fotogramétrico obteve-se produtos distintos, oriundos de estereorestituição, monorestituição, retificação e ortoprojeção.

## Levantamento de monumentos históricos

A noção de monumentos históricos compreende a uma criação arquitetônica isolada como também a um sítio urbano ou rural, que dão testemunho de uma civilização particular, de uma evolução significativa ou de um acontecimento histórico. Entende-se não só as grandes criações, mas também as obras modestas que adquiriram com o tempo significância cultural (Carta de Veneza, 1964).

Para trabalhos de preservação ou restauração, é imprescindível a execução de um levantamento gráfico, que constitui um inventário ou uma base documental. Este levantamento consiste de uma descrição gráfica minuciosa do edifício, obtido a partir da tomada de medidas de largura, comprimento e altura dos ambientes assim como do registro dos detalhes construtivos, com o objetivo de torná-lo um instrumento a ser utilizado nas análises e investigações (Almeida & Santana, 2000).

O registro gráfico proporciona a leitura do espaço e de sua arquitetura assim como de suas tipologias, morfologia e estado de conservação, além de ganhar importância no processo de avaliação da integração da nova arquitetura projetada com seu entorno, como um ato de tecer o novo e o antigo juntos (Sampaio, 2000).

O levantamento gráfico de monumentos é efetuado, tradicionalmente, com técnicas simples como o levantamento a trena, onde todos os elementos necessários para sua representação são cuidadosamente medidos. Algumas dificuldades são encontradas neste tipo de levantamento: representação dos elementos curvos, que requerem sua medição em vários pontos ao longo da superfície; tamanho do monumento, pois quanto maior sua extensão, mais demorado se torna o levantamento, chegando a inviabilizar a utilização de trenas; representação dos ângulos entre as arestas, que nem sempre são retos.

A Topografia é também utilizada para auxiliar a medição de algumas feições, através do uso de equipamentos que permitem medições indiretas tais como teodolitos ou estações totais, cuja representação se efetua através de coordenadas calculadas analiticamente.

## Fotogrametria arquitetônica

Fotogrametria é a ciência e tecnologia usada para a obtenção de informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens. Desde sua concepção, a Fotogrametria é principalmente aplicada na elaboração de mapas em colaboração de outras ciências como a Geodésia e a Cartografia. (Andrade, 1998)

A idéia de utilizar as propriedades geométricas de fotografias em levantamentos arquitetônicos surgiu por volta de 1840. As primeiras experiências baseadas na perspectiva fotográfica começaram a aparecer dez anos mais tarde, sendo o primeiro levantamento desenvolvido por Albrecht Meydenbauer no ano de 1867, quando foi introduzido o termo "Fotogrametria Arquitetônica". (Carbonell, 1989)

O método utilizado por Meydenbauer foi o de interseção gráfica sendo utilizado por cerca de 60 anos pelo "*Messbildanstalt*" (organização fotogramétrica alemã para levantamentos de monumentos históricos). No início do século XX, a utilização de métodos de restituição fotogramétrica e de retificação de fotografias começam a se intensificar, porém ainda não em aplicações arquitetônicas. Em 1910 a Sociedade Internacional de Fotogrametria incentiva o uso da estereofotogrametria para levantamentos de monumentos.

Após a 2ª Guerra Mundial a conservação de monumentos foi motivada, conduzindo, em 1964, a elaboração da Carta internacional sobre conservação e restauração de monumentos e sítios históricos, conhecida como Carta de Veneza, que considera as obras monumentais como testemunho vivo das tradições de um povo. A manutenção de um monumento passa a ter interesse estético, técnico e histórico.

## Classificação de levantamentos de monumentos históricos

Em 1968, o ICOMOS promoveu um evento científico internacional onde se efetuou um estudo de agrupamento de necessidades e exigências para levantamentos e representações de monumentos. Este estudo conduziu a formação de três grupos de levantamentos fotogramétricos para monumentos: a) levantamentos simples; b) levantamentos precisos; e c) levantamentos de alta precisão.

### Levantamentos simples

Este grupo de levantamento engloba os estudos preliminares, inventários, estudo da história da arte, entre outros. A precisão requerida no posicionamento de um ponto é de 5 cm e a representação gráfica é efetuada na escala de 1:100 ou 1:200. A representação envolve as linhas principais, em elevações e seções verticais.

O método de retificação fotogramétrica é normalmente preferido devido a sua simplicidade, rapidez e baixo custo. As fotografias retificadas dos monumentos são utilizadas diretamente para a obtenção do desenho, através da seleção das linhas arquitetônicas desejadas.

### Levantamentos precisos

As exigências mais gerais dos arquitetos e historiadores da arte pertencem a este segundo grupo, que engloba os levantamentos de conservação do patrimônio, administrado por organizações oficiais. A escala da representação gráfica é normalmente de 1:50, com precisão posicional de 1 a 2 cm. Para edifícios grandes a escala preferida é de 1:100, porém para os detalhes utiliza-se as escalas 1:20 ou 1:10.

Com relação a informação a ser detalhada depende das exigências do usuário, freqüentemente a representação do monumento é efetuada através de suas linhas arquitetônicas, incluindo as curvas de nível dos elementos curvos, materiais de construção, murais (pintados ou esculpidos) ou decoração, e elementos das condições do monumento, tais como rachaduras e deformações.

A variedade de aplicações de levantamentos precisos para monumentos é grande, sendo dividida em seis diferentes grupos. O primeiro destes grupos corresponde a análise de monumentos, onde as linhas arquitetônicas são levantadas para a compreensão do monumento, colaborando para o entendimento da sua estrutura e sua concepção global. Além dos detalhes, materiais de construção e decoração são freqüentemente detalhados em mapas para aumentar a compreensão de particularidades técnicas e estilísticas.

O segundo grupo corresponde as operações de conservação e restauração, que ocupam o primeiro lugar nos programas de levantamentos fotogramétricos. Nestes levantamentos são registrados todas as linhas arquitetônicas e materiais de construção, sendo freqüentemente indicadas as rachaduras e deformações. A restituição se mostra muito eficiente dando à representação alta precisão, permitindo a determinação da inclinação de paredes e pilares, falta de paralelismo, perfis de arcos e formas das abóbadas, assim como o estudo de outros elementos que conduzem a uma análise das estruturas.

O levantamento de monumentos históricos corresponde ao terceiro grupo de aplicação, sendo muito incentivado pelas campanhas da UNESCO para salvaguardar o patrimônio arquitetônico. O levantamento consiste em gerar uma documentação de caráter geral para atender as necessidades de centros de manutenção, sendo utilizado em estudos históricos ou em restauração, do todo ou parte do monumento.

Um exemplo deste tipo de levantamento foi realizado nos trabalhos de valorização dos Remanescentes da Igreja de São Miguel Arcanjo, no Rio Grande do Sul. Tal levantamento teve como objetivo representar e analisar graficamente as características físicas do monumento, os processos de degradação assim como documentar as diversas intervenções que o mesmo sofreu ao longo de sua história.

A maior parte do levantamento foi efetuado por métodos topográficos. A Fotogrametria restringiu-se ao levantamento da frontaria e da torre. A representação gráfica identificou além dos elementos componentes das superfícies dos maciços, suas fraturas, lacunas e desníveis. A figura 1 representa o levantamento fotogramétrico de uma das fachadas da torre da Igreja de São Miguel Arcanjo, no Rio Grande do Sul.

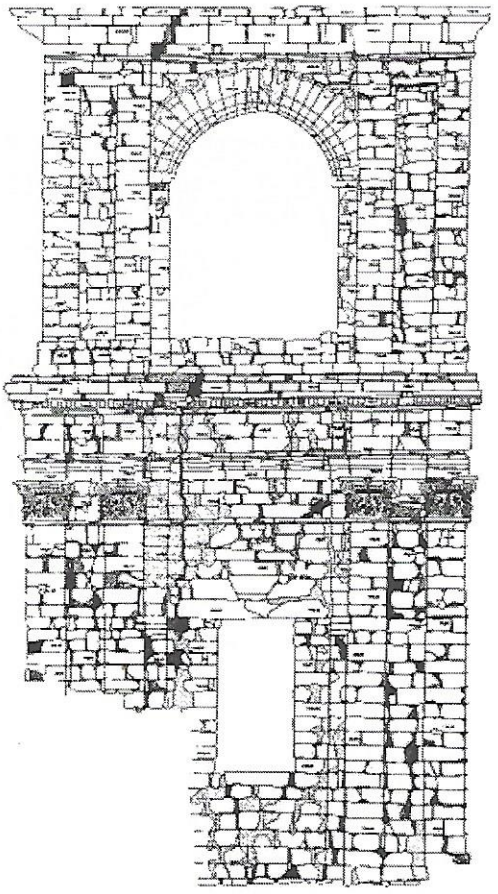


*Figura 1 – Representação Gráfica da Torre da Igreja de São Miguel Arcanjo – RS*
*Fonte: Leal, 1984.*

O quarto grupo envolve o desenvolvimento de fachadas, sendo caracterizado por levantamentos sistemáticos de fachadas das edificações de uma rua, quadra ou centro histórico. Estes levantamentos são obtidos por estereofotogrametria ou por retificação de fotografias. A figura 2 mostra o desenvolvimento de fachadas, obtido por restituição fotogramétrica e a figura 3 corresponde ao desenvolvimento de fachadas através de fotografias retificadas.

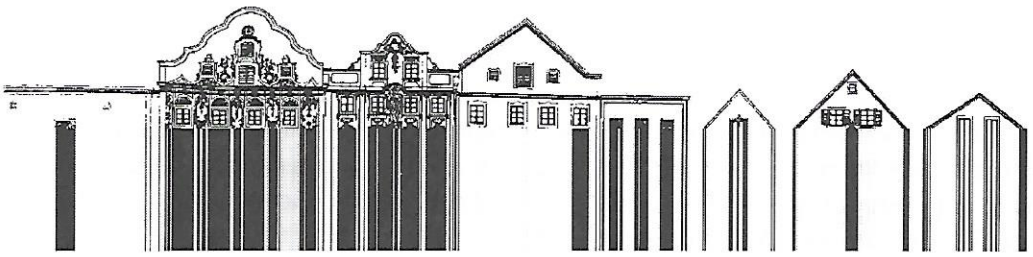


*Figura 2 – Desenvolvimento de Fachadas – Restituição Fotogramétrica*
*Fonte: Carbonell, 1989.*

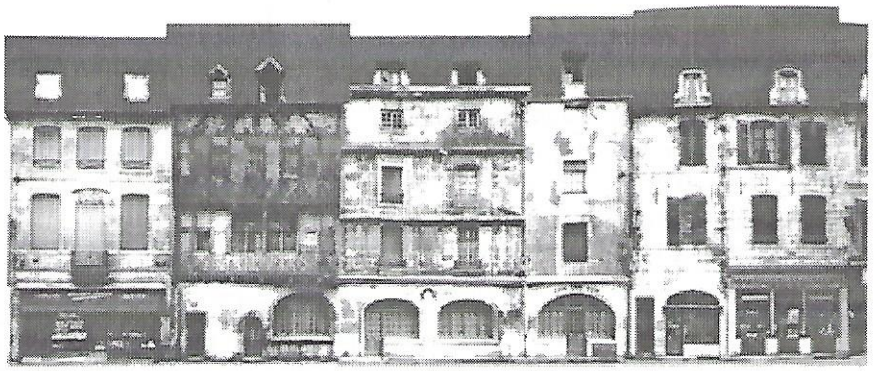


*Figura 3 – Desenvolvimento de Fachadas – Fotografia Retificada*
*Fonte: Carbonell, 1989.*

A decoração de monumentos caracteriza o quinto grupo de aplicações. O levantamento para este grupo consiste na representação gráfica em casos excepcionais, motivados pela estrutura ou por análise histórica. Geralmente utiliza-se fotografias retificadas ou ortofotos. O sexto grupo corresponde aos levantamentos arqueológicos, nos quais as fotografias retificadas ou as ortofotos se mostram de grande valor.

## Levantamentos de alta precisão

Os projetos que pertencem a este grupo são em menor número que os projetos envolvidos nos levantamentos precisos ou mesmo nos levantamentos rápidos. A precisão requerida para levantamentos muito precisos fica em torno de 1 mm, chegando em alguns casos a 0,1 mm. A aplicação destes levantamentos está na representação de elementos esculpidos (estátuas ou decoração) ou ainda em objetos arqueológicos ou de arte. Um dos objetivos dos levantamentos precisos em monumentos

é o monitoramento periódico, devido a "doença da pedra", que degrada progressivamente o monumento.

## Métodos fotogramétricos

A representação de fachadas arquitetônicas, através de métodos fotogramétricos, pode ser obtida nas formas vetorial (restituição fotogramétrica) e matricial (retificação de imagens). A representação vetorial apresenta um determinado grau de abstração e representação matricial apresenta todos os detalhes da superfície (Pallaske, Marten & Mauelshagen, 1992).

A restituição fotogramétrica é definida como o processo de reconstrução de uma superfície ou objeto a partir de mensurações em fotografias, com o objetivo de representá-lo gráfica ou numericamente. O processo é efetuado através de fotografias devidamente orientadas (orientação interior e exterior), das quais se extrai as feições desejadas. O produto da restituição é denominado de original fotogramétrico e este pode ser obtido através de métodos estereoscópicos ou monoscópicos.

O método de estereorestituição é baseado na utilização simultânea de duas fotografias de um mesmo objeto, porém, obtidas com centros de perspectiva diferentes. Estas fotografias devidamente combinadas produzem a sensação da visão tridimensional, permitindo assim a extração dos elementos de interesse.

O método de monorestituição pressupõe a solução do problema em uma única fotografia, na qual são extraídas as feições desejadas para representar o objeto considerado. O conceito reside na interseção da reta definida pelo centro de projeção, ponto objeto e ponto imagem (reta da colinearidade) com a superfície do objeto fotografado.

A retificação consiste em transformar fotografias inclinadas em verticais, porém conserva o sistema de projeção central. A necessidade de retificação de fotografias vem pelo fato da superfície fotografada não se apresentar plana, o eixo principal da câmara não se encontrar exatamente vertical e por ser desconhecida a exata distância ao objeto fotografado.

Quando, ao retificar uma fotografia, o centro de projeção é deslocado para o infinito (projeção cilíndrica ortogonal) e as distorções causadas pelo relevo da superfície imageada são corrigidas, o produto resultante é denominado de ortofoto.

A produção de ortofotos é amplamente utilizada na representação da superfície topográfica, porém seu uso em Arquitetura ainda é limitado. Sua principal aplicação está na representação de cúpulas ou de superfícies geometricamente definidas. O seu uso limitado se deve às descontinuidades características das superfícies arquitetônicas, não sendo possível extrair um modelo tridimensional adequado para a solução do problema.

## Análise da precisão e operacionalidade dos métodos fotogramétricos

Com o objetivo de avaliar e comparar os métodos fotogramétricos, foram elaborados quatro diferentes produtos referentes a um monumento arquitetônico localizado no centro histórico da Cidade de Curitiba (conhecido por Solar do Rosário), através dos métodos de estereorestituição, monorestituição, retificação e ortoprojeção.

O produto da estereorestituição, mostrado na figura 4, foi elaborado em um sistema restituidor digital, por um profissional experiente em Fotogrametria. Este método requer além de um operador com experiência, que este seja dotado de acuidade visual, necessária para a visualização tridimensional.

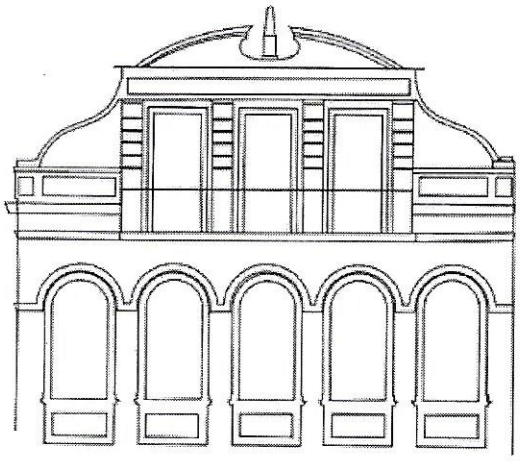


*Figura 4 – Representação Gráfica da Fachada Principal do Solar do Rosário - Estereorestituição*
*Fonte: Medina, 2002.*

A representação proveniente da monorestituição foi obtida através de um programa computacional específico denominado de *Monorestituidor Digital*, associado ao sistema de computação gráfica *MicroStation PC*, não necessitando de profissional especializado (ver Mitishita, 1997). O programa é de uso relativamente simples, podendo ser executado em computadores pelo próprio usuário. O produto resultante deste método é semelhante ao da estereorestituição (mostrado na figura 4), visto que os dois são oriundos de extração de feições sobre fotografias.

Assim como na monorestituição, a fotografia retificada foi obtida através de programa computacional elaborado para este fim e não necessita operador especializado. O resultado é mostrado na figura 5 (b) e a foto original utilizada na elaboração do produto é mostrada em 5 (a). A ortofoto não produziu resultados satisfatórios devido a deficiências na elaboração do MDS - modelo digital da superfície. Estas deficiências foram causadas principalmente por sombras e pela descontinuidade característica das superfícies arquitetônicas. A figura 6 representa partes da ortofoto, mostrando algumas das distorções encontradas.

(a) Parte da Fotografia Original (b) Parte da Fotografia Retificada

*Figura 5 – Representação Gráfica da Fachada Principal do Solar do Rosário – Retificação*
*Fonte: Medina, 2002.*

*Figura 6 – Distorções encontradas na Ortofoto Fonte: Medina, 2002.*

Para verificar a precisão encontrada nos produtos foram escolhidos 28 pontos de comparação, cujas coordenadas no espaço objeto foram determinadas topograficamente, sendo consideradas no trabalho como isentas de erros. Na estereorestituição, o desvio médio encontrado no posicionamento dos pontos de comparação ficou em 5 mm, podendo afirmar que a precisão encontrada atende às especificações do ICOMOS tanto para levantamentos simples como para levantamentos precisos. Os desvios encontrados são mostrados graficamente na figura 7(a).

Assim como na ortoprojeção, a solução da monorestituição necessita do conhecimento do modelo digital da superfície. Como sua solução é vetorial, foi possível obter a representação utilizando como artifício "fatiar" a superfície do monumento em diferentes planos, paralelos entre si, cada um correspondendo a uma determinada profundidade. Após a extração das feições em diferentes planos gráficos, estes foram agrupados em um único arquivo digital.

Com este "fatiamento", o erro médio encontrado no posicionamento dos pontos utilizados na comparação ficou em 7 mm. Os desvios encontrados para os pontos de comparação são mostrados graficamente na figura 7(b). Assim como na estereorestituição, podemos afirmar que a monorestituição atende as especificações do ICOMOS para levantamentos simples e precisos. Sem o artifício do "fatiamento" o produto resultante apresentou diversas distorções, não podendo ser utilizado para este fim.

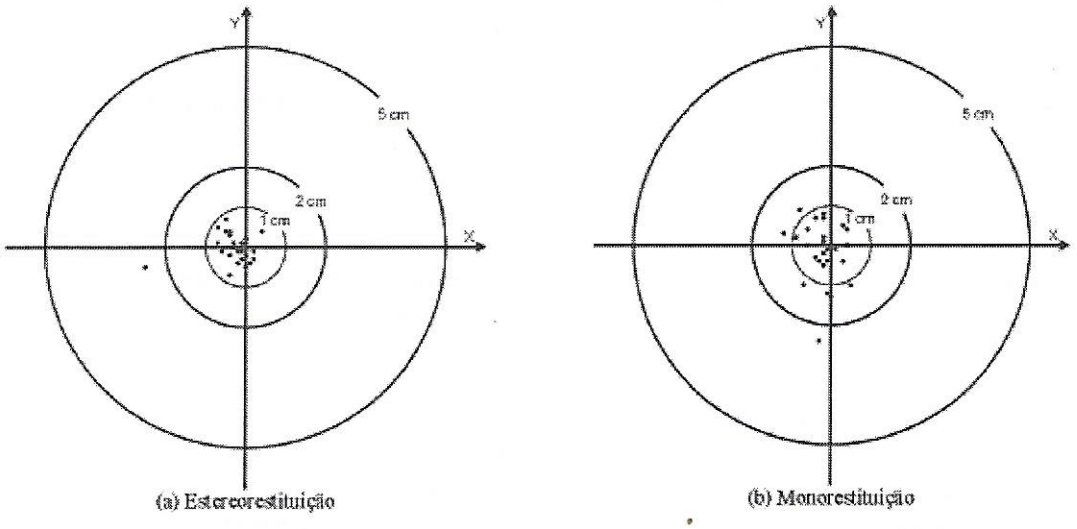
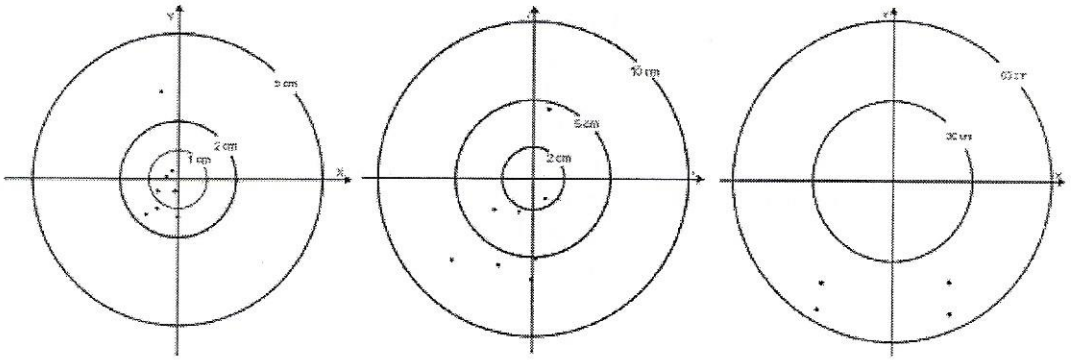



*Figura 7 – Desvios dos pontos de comparação*

A fotografia retificada, como era de se esperar, obteve resultados piores (ver desvios mostrados na figura 8) do que os encontrados nos produtos obtidos na forma vetorial (estereorestituição e monorestituição). A fotografia retificada constitui um sistema de projeção central, portanto a medida que o ponto se afasta do plano projetivo, sofre desvios que aumentam gradativamente, dependendo da distância que este se encontra em relação ao plano em que a imagem foi retificada.



(a) Desvios dos pontos do Plano Principal (b) Desvios dos pontos distantes 10 cm do Plano Principal (c) Desvios dos pontos mais distantes do Plano Principal (60 cm)

*Figura 8 – Desvios dos Pontos de Comparação encontrados na Fotografia Retificada*

Pode-se observar na figura 8 (a), que os pontos do plano principal do monumento sofreram desvios semelhantes aos encontrados nos produtos obtidos por restituição fotogramétrica (9 mm), atendendo aos levantamentos simples e aos precisos. A medida que os pontos se afastam do plano principal os desvios aumentam conforme pode ser observado nas figuras 8 (b) e 8 (c), com desvios médios de 42 e 498 mm, respectivamente.

## Considerações finais

A recomendação do produto fotogramétrico deve considerar o grau de precisão exigido no levantamento, assim como as características da superfície dos monumentos. Se a superfície do monumento for praticamente plana, com detalhes em baixo relevo a fotografia retificada pode ser a escolhida, pois além de sua simplicidade, as feições são representadas sem as "abstrações" existentes na restituição fotogramétrica.

Para levantamentos precisos, a recomendação é pela utilização da restituição fotogramétrica. Para superfícies que possam ser "fatiadas", a monorestituição deverá ser preferida pela sua simplicidade e rapidez, enquanto que, se a superfície apresentar detalhamentos a estereorestituição deverá ser a escolhida.

## Referências bibliográficas


ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 242p.

CARBONELL, M. Arquitectural Photogrammetry. In: KARARA, H. M. **Non-topographic photogrammetry**. Falls Church, Virginia: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1989. p.321-347.

CARTA de Veneza. Carta internacional sobre conservação e restauração de monumentos e sítios. In: II CÒNGRESSO INTERNACIONAL DE ARQUITETOS E TÉCNICOS DOS MONUMENTOS HISTÓRICOS. **Anais**. Veneza: maio, 1964.

KARARA, H. M. (Ed.) **Non-topographic photogrammetry**. 2. ed. Falls Church, Virgínia: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1989. 445p.

LEAL, F. M. São Miguel das Missões – estudo de estabilização e conservação das ruínas da Igreja. **Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**. Rio de Janeiro: SPHAN, 1984. n.19.

MEDINA, S. S. S. **Análise de produtos fotogramétricos para cadastramento de monumentos arquitetônicos**. 131 f. Tese (Doutorado em Fotogrametria). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

MITISHITA, E. A. **Monorestituição digital de aerofotos, associada com sistema de computação gráfica C.A.D., para fins de mapeamento na área florestal**. 253 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1997.

PALLASKE, R.; MARTEN, W.; MAUELSHAGEN, L.. Digital ortophoto-system for architecture representation. In: XVII CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 17., 1992, Washington. **Proceedings.** Whashington: ISPRS, 1992. p. 67-73.

SAMPAIO, S. Aspectos urbanos, históricos e legais da preservação do Brasil. **Revista do ICOMOS-Brasil**. São Paulo, 1998. p. 8-17.