

## Técnicas de restituição fotogramétricas digitais aplicadas à Arquitetura: um estudo de caso

Ms. Natalie Johanna Groetelaars <sup>1</sup>  
Prof. Dr. Arivaldo Leão de Amorim <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> UFBA – Faculdade de Arquitetura  
LCAD - Laboratório de Computação Gráfica Aplicada à Arquitetura e ao Desenho  
Rua Caetano Moura , 121 – Federação  
40210-350 Salvador BA

<sup>1</sup> natgroet@ufba.br

<sup>2</sup> alamorim@ufba.br

**Resumo:** Este artigo aborda as técnicas fotogramétricas digitais usadas no levantamento arquitetônico: monorestituição, estereorestituição e restituição a partir de várias fotografias, fazendo um paralelo entre as técnicas mais adequadas para determinadas situações de levantamento, como forma dos objetos, disponibilidade de fotografias, precisão e tipos de produtos requeridos. Descreve também um experimento prático realizado pelo programa de fotogrametria digital PhotoModeler, para o cadastramento das fachadas, das esquadrias e detalhes de uma edificação. Finalmente, é feita uma análise dos produtos obtidos no cadastramento e uma avaliação das técnicas fotogramétricas existentes.

**Palavras chaves:** Técnicas de restituição fotogramétricas, Arquitetura, Fotogrametria Digital

**Abstract:** This paper presents the digital photogrammetric techniques for architectural surveyings: monorestitution, stereorestitution and restitution from several photographs, making a parallel between the most adequate techniques for specific survey situations, like object forms, availability of photographs, precision and types of required products. It also describes a practical experience realized in the digital photogrammetric software PhotoModeler for the cadaster of facades, doors, windows and details of a building. Finally, an analysis of the achieved surveying results and an evaluation of photogrammetric techniques is made.

**Keywords:** Photogrammetric restitution techniques, Architecture, Digital Photogrammetry

### 1 Introdução

A Fotogrametria é uma técnica de levantamento que permite obter as formas e as dimensões dos objetos a partir de fotografias. Seus conceitos teóricos foram desenvolvidos mesmo antes da invenção da fotografia, com o desenvolvimento da geometria projetiva, em especial a perspectiva. Desde seu início formal, em 1850, ela tem se mostrado uma interessante técnica para o levantamento de formas arquitetônicas, principalmente em se tratando de edificações complexas e de grandes dimensões, quando é difícil ou inviável a utilização de técnicas de medição direta.

A Fotogrametria apresenta muitas vantagens com relação às técnicas tradicionais de levantamento, como, por exemplo, a realização de grande quantidade de medições de forma indireta (sem contato físico com o objeto), tempo reduzido de trabalho em campo, facilidade na execução de desenhos e precisão dos resultados. Apesar disso, a Fotogrametria passou muito tempo sendo usada para uma gama limitada de aplicações, principalmente para a criação de mapas plani-altimétricos a partir de fotografias aéreas. Um dos principais fatores que dificultaram ou impediram a difusão desta técnica para diversos setores, deve-se ao elevado custo dos equipamentos e à complexidade das operações de restituição utilizados pelas soluções analógicas e analíticas.

A Fotogrametria Digital permitiu simplificar e tornar mais acessível o processo, uma vez que a restituição passou a ser realizada por programas computacionais especializados, de custos significativamente menores que os equipamentos utilizados nas soluções analógicas e analíticas. Além disso, as técnicas fotogramétricas digitais, ampliaram as possibilidades de uso para diversas aplicações, para diversos tipos de objetos (planos, curvos, complexos, irregulares, etc), possibilitando a obtenção de diversos produtos,

como modelos tridimensionais fotorealísticos, ortofotos digitais, além de desenhos e medidas da Fotogrametria tradicional.

Este artigo trata das técnicas fotogramétricas existentes, como a monorestituição, estereorestituição e restituição a partir de várias fotografias e faz um paralelo destas técnicas com as aplicações voltadas para arquitetura. Ou seja, há uma identificação das técnicas fotogramétricas mais adequadas para o levantamento de cada tipo de objeto e situação específica. Este trabalho descreve também os procedimentos adotados e os resultados obtidos no cadastramento de uma edificação a partir da utilização do *software* restituidor fotogramétrico digital **PhotoModeler**<sup>1</sup>, que emprega as técnicas de monorestituição e a restituição a partir de várias fotografias.

## 2 Técnicas fotogramétricas

A palavra Fotogrametria é derivada de três palavras de origem grega: “photos” (luz), “gramma” (descrição) e “metron” (medida). E pode ser definida com uma técnica de extrair de fotografias, as formas, as dimensões e as posições dos objetos nelas contidos.

A tarefa fundamental da fotogrametria é estabelecer a relação geométrica entre a imagem e o objeto, como ele existia no momento da tomada fotográfica (MIKHAIL, 2001: 1). Uma vez estabelecida corretamente esta relação, é possível realizar a restituição fotogramétrica, ou seja, é possível obter a representação gráfica ou numérica de um objeto fotografado. Esta relação pode ser classificada em três categorias:

- gráfica, usando as relações geométricas;
- analógica, usando componentes óptico-mecânicos ou
- analítico/digital, onde o modelamento é matemático e o processamento é digital.

As soluções gráficas foram as primeiras a serem utilizadas por Laussedat e Meydenbauer nos primórdios da Fotogrametria (1850-1900). As técnicas analógicas começaram a ser utilizadas depois de 1901, quando Pulfrich inventa o estereocomparador, o que facilitou o trabalho dos usuários, graças à substituição de inúmeros cálculos matemáticos e operações geométricas por equipamentos ótico-mecânicos. As soluções analógicas foram amplamente substituídas pelos processos analíticos e, mais recentemente, pelos digitais. A Fotogrametria Digital, desenvolvida nos anos 80 e 90, tornou a restituição fotogramétrica mais simples, flexível e acessível, tornando-a mais viável para uma gama de aplicações, uma vez que o processamento é realizado por microcomputadores através de programas específicos de fotogrametria, associados a outros equipamentos de uso geral, como, *scanners* e diversos tipos de câmaras.

Outra forma de classificar o tipo de técnica fotogramétrica, refere-se à quantidade de fotografias tomadas ou disponíveis de um objeto - uma, duas ou várias fotografias do objeto de interesse, processos conhecidos como:

- monorestituição;
- estereorestituição ou
- restituição a partir de várias fotografias.

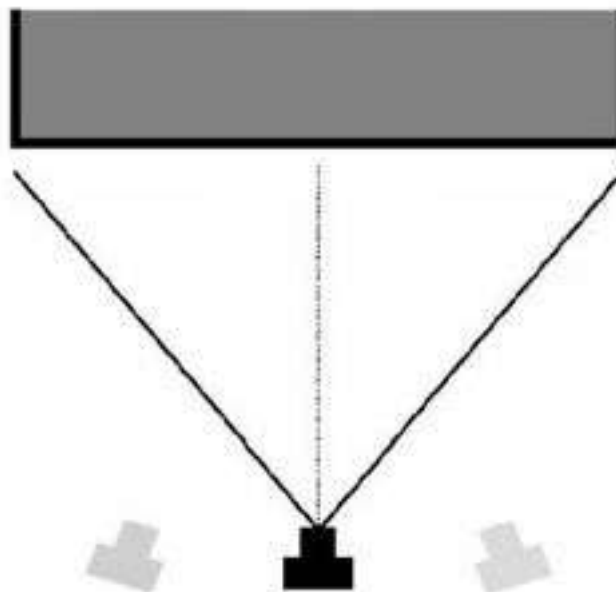
As técnicas abordadas neste trabalho são a monorestituição, estereorestituição e restituição de várias fotografias, a partir de processos digitais.

### 2.1 Monorestituição

A monorestituição pressupõe a solução do problema em uma única fotografia (figura 1), sendo necessários informações sobre aspectos geométricos do objeto.

---

<sup>1</sup> Este programa permite que sejam obtidos vários produtos a partir de imagens digitais, dentre eles podemos citar: coordenadas de pontos, distâncias, modelos 2D, modelos tridimensionais com a textura original do objeto, fotos retificadas, ortofotos, além de possibilitar a exportação dos resultados em diversos formatos. Ver maiores detalhes no site: [www.photomodeler.com](http://www.photomodeler.com)

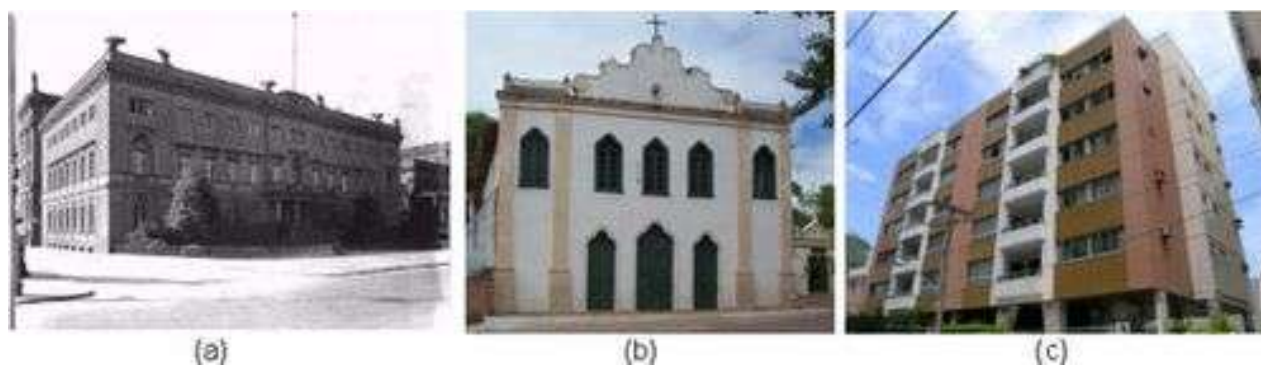


**figura 1:** Posicionamento da câmara na monorestituição. Em preto, o eixo óptico da câmara está perpendicular ao objeto e, em cinza, ele está oblíquo.

Em uma fotografia, um ponto  $(x, y)$  pode corresponder a uma infinidade de pontos  $(X, Y, Z)$  no espaço objeto. Assim, teoricamente não seria possível a resolução do problema fotogramétrico com uma única imagem, representando o espaço objeto e relacionada a este através dos parâmetros de orientação. Porém, se estiverem disponíveis algumas informações sobre a forma do objeto, como paralelismo e perpendicularidade de suas arestas ou identificação dos eixos  $X, Y$  e  $Z$ , é possível reconstruir a posição da câmara no momento da tomada fotográfica e restituir o objeto fotografado. Para a determinação da escala do modelo, é necessário o conhecimento de pelo menos uma dimensão do objeto.

De forma geral, pode-se classificar três tipos de objetos que podem ser restituídos a partir de uma única fotografia:

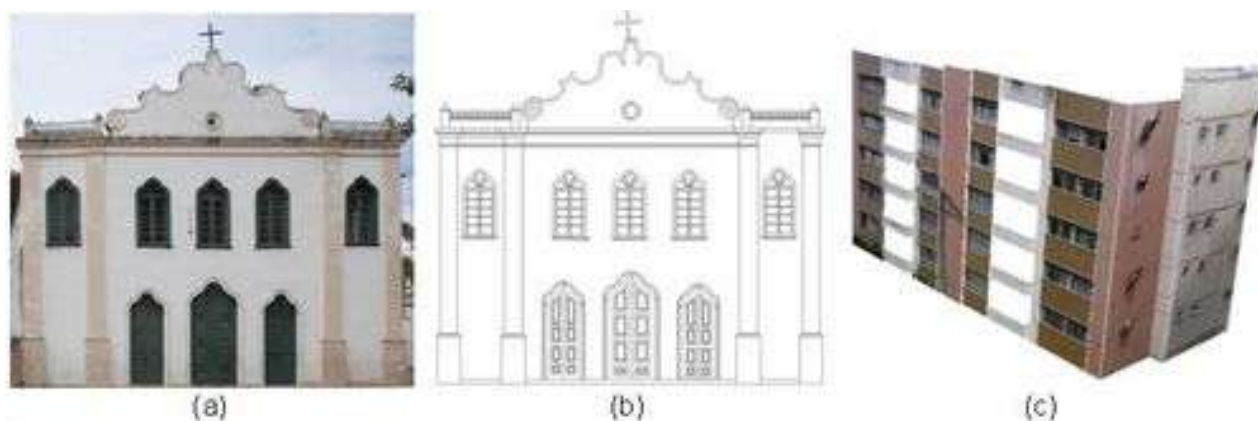
- objetos planos, que apresentam suas extremidades com formas conhecidas, como arestas paralelas e perpendiculares (figura 2a);
- objetos planos com formas irregulares, onde são conhecidas pelo menos duas dimensões nas direções horizontal e vertical ou as coordenadas de quatro vértices (figura 2b);
- objetos que apresentam diversos planos com características geométricas bem definidas, onde é possível a identificação dos eixos  $X, Y$  e  $Z$  (figura 2c).



**Figura 2:** Formas arquitetônicas possíveis de serem restituídas com apenas uma fotografia: (a) Monumento histórico que apresenta formas conhecidas em suas extremidades e fachadas praticamente planas (sem relevo); (b) Fachada de uma edificação que apresenta formas irregulares, mas contidas em um plano; (c) Edificação que apresenta diferentes planos com propriedades geométricas bem definidas, como, paralelismo e perpendicularidade de arestas.

Existem duas formas de se obter as dimensões e o desenho de um objeto a partir da monorestituição: a partir de programas de fotogrametria digital, como o **PhotoModeler**, que permite a criação de fotos retificadas (figura 3a), ortofotos, desenhos (figura 3b) e modelos tridimensionais das partes visíveis na fotografia (figura 3c), ou pode ser feita a partir de programas menos complexos, como o **DigiCAD 3D** e o **RolleiMetric**, que permitem realizar apenas a retificação de fotografias quando são conhecidas as coordenadas dos vértices da superfície a ser retificada. Depois de geradas as fotos retificadas, é possível importá-las em um editor de desenho para a vetorização (traçado) das características geométricas do objeto de interesse para a aplicação.

A monorestituição possibilita aplicações bastante limitadas, pois há restrições quanto à forma dos objetos e ao tipo dos resultados obtidos, uma vez que só poderão ser restituídas as partes visíveis na fotografia. No entanto, é uma técnica que apresenta baixo custo, fácil utilização e rapidez na obtenção dos produtos, sendo muito interessante para a restituição de monumentos históricos que não mais existem, quando se dispõe de apenas uma fotografia (memória).



**figura 3:** Tipos de produtos que podem ser adquiridos a partir da monorestituição digital: (a) foto retificada; (b) desenho com traçado dos elementos construtivos de uma edificação; (c) modelo tridimensional com textura fotorealística das partes visíveis na fotografia.

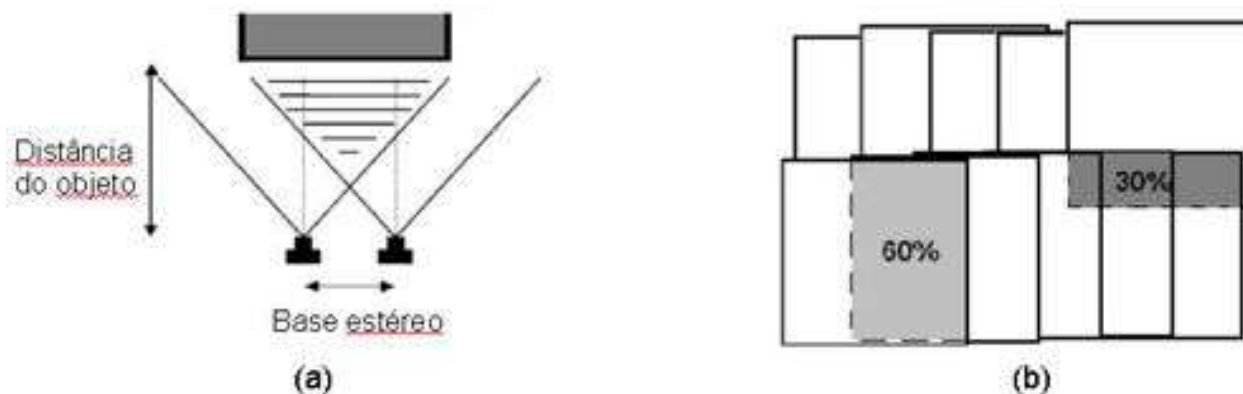
A precisão dos produtos obtidos pela monorestituição depende da escala da foto, da inclinação da fotografia com relação à perpendicular ao eixo ótico da câmara e, principalmente, ao grau de conformidade das informações (por exemplo: paralelismo e perpendicularidade de arestas) com a forma real do objeto fotografado. Apresenta precisão inferior àquela obtida nos dois outros tipos de restituição descritos a seguir.

## 2.2 Estereorestituição

O método de estereorestituição baseia-se na utilização simultânea de duas fotografias de um mesmo objeto (chamado de estereopar), obtidas com centros de perspectiva diferentes, de forma que as direções dos eixos óticos da câmara nos dois posicionamentos, sejam paralelas entre si (ou próximas a isso) e perpendiculares ao plano do objeto (ver figura 4a). Essa condição, chamada caso normal, é similar à visão humana e garante a visualização estereoscópica<sup>2</sup> do objeto (quando as fotografias estão devidamente combinadas), efeito este que é usado na restituição do objeto fotografado. A estereorestituição foi, e ainda é, um dos métodos fotogramétricos mais utilizados em levantamentos urbanos e arquitetônicos, por apresentar elevada precisão e permitir o levantamento de qualquer tipo de objeto, sem restrições quanto à forma geométrica, como na monorestituição.

Para Carbonnell (1974: 77), a distância entre as tomadas fotográficas - base estéreo (figura 4a) - deve guardar uma relação com a distância ao objeto compreendida entre os valores de 1/5 e 1/15, excepcionalmente 1/20. O primeiro limite evita o registro de diferentes contornos no par de fotografias; o segundo, mantém a precisão da restituição.

<sup>2</sup> A estereoscopia está relacionada com a capacidade do sistema visual binocular humano em perceber a profundidade quando visualiza um mesmo ponto sob dois ângulos diferentes (olhos esquerdo e direito), distância esta chamada paralaxe. O cérebro funde as duas imagens recebidas pelas retinas dos olhos do observador em um modelo tridimensional.

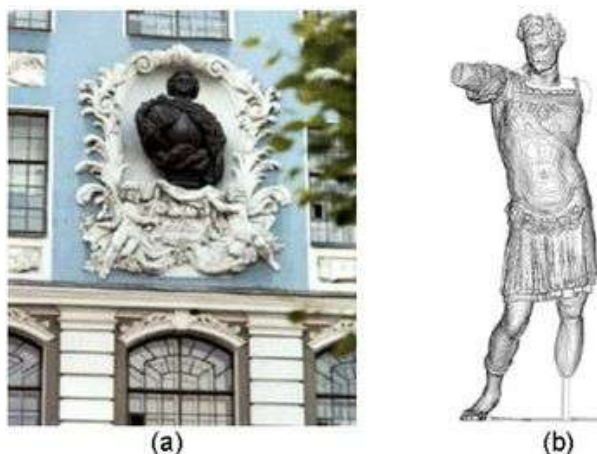


**figura 4:** (a) Relação entre a base estereó e a distância para o objeto na tomada estereofotogramétrica (b) Representação da área de sobreposição necessária na estereorestituição<sup>3</sup>

Na estereorestituição, cada ponto do espaço objeto é determinado a partir da identificação de seus dois pontos homólogos<sup>3</sup> sobre as partes superpostas das fotografias. Para a identificação dos pontos homólogos nas fotografias, é necessário que as fotografias sejam tomadas de tal forma, que haja uma área de superposição das imagens. Geralmente os valores de superposição são 60% na horizontal e 30% na vertical (figura 4b) no caso de fotografias terrestres (direção do o eixo ótico da câmara na horizontal).

A estereofotogrametria pode e deve ser usada no levantamento de superfícies não planas - colunas, capitéis, estátuas, cúpulas, abóbadas, detalhes em relevo (figura 5a) - e permite a representação em plantas, cortes ou elevações através de isolinhas<sup>4</sup> ou curvas de isovalor (figura 5b). A equidistância entre as curvas é determinada com base no relevo do objeto, na escala do levantamento e na precisão requerida.

A estereorestituição digital é realizada por programas específicos em ambiente computacional juntamente com alguns dispositivos de visão estereoscópica, como óculos, monitores especiais e dispositivos de medição estereoscópica, como o *trackball* e *topo-mouse*, conjunto conhecido por estação fotogramétrica digital (BRITO & COELHO, 2002). É uma técnica que apresenta elevada precisão, no entanto, requer alguns cuidados especiais na tomada fotográfica, utiliza geralmente câmaras métricas ou semi-métricas e necessita de alguns equipamentos específicos para a visão estereoscópica. Além disso, há casos em que esta técnica é considerada insuficiente, como a restituição um objeto complexo, onde é necessário a tomada fotográfica de diversas ângulos e direções, condição esta realizada na técnica descrita a seguir.



**Figura 5:** Formas que requerem a técnica de estereorestituição para serem levantadas adequadamente e com precisão: (a) Fotografia de trecho de uma fachada que apresenta detalhes arquitetônicos curvos e em relevo<sup>1</sup>; (b) Representação através de curvas de isovalor<sup>2</sup> que ressaltam a volumetria de um objeto, tipo de produto obtido pela estereorestituição.

<sup>3</sup> Também chamados pontos conjugados, são pontos nas várias fotografias que representam a mesma posição no objeto.

<sup>4</sup> Um exemplo ou caso particular de isolinhas são as curvas de nível de mapas topográficos.

### 2.3 Restituição a partir de várias fotografias

Nesta técnica, os objetos são fotografados em diversas posições (ver figura 6), onde cada parte do objeto deve ser fotografada mais de uma vez, de preferência mais de três vezes. A partir da identificação dos pontos homólogos (pontos em comum nas diversas fotografias), é possível realizar as interseções para a restituição do objeto.

Este foi o primeiro tipo de restituição usado desde os primórdios da fotogrametria, ou seja, antecede aos métodos citados anteriormente. Foi utilizado, em sua forma inicial, através de processos gráficos de medição e representação ponto por ponto. Era um método muito demorado e apresentava limites quanto à precisão. Por isso, praticamente deixou de ser utilizado quando foram descobertas e desenvolvidas novas técnicas, como a estereorestituição.

Com os avanços tecnológicos e aumento da capacidade computacional, foi possível utilizar-se dos princípios e fundamentos dessa técnica (método gráfico) para a criação de programas capazes de solucionar os problemas analiticamente, através de equações matemáticas para o ajustamento de feixes perspectivos (do inglês *bundle adjustment*).

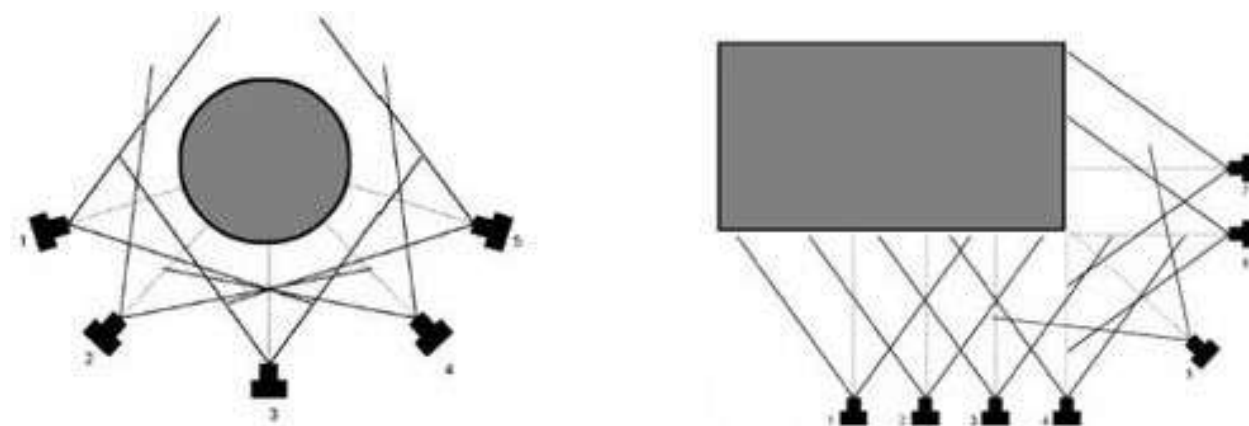


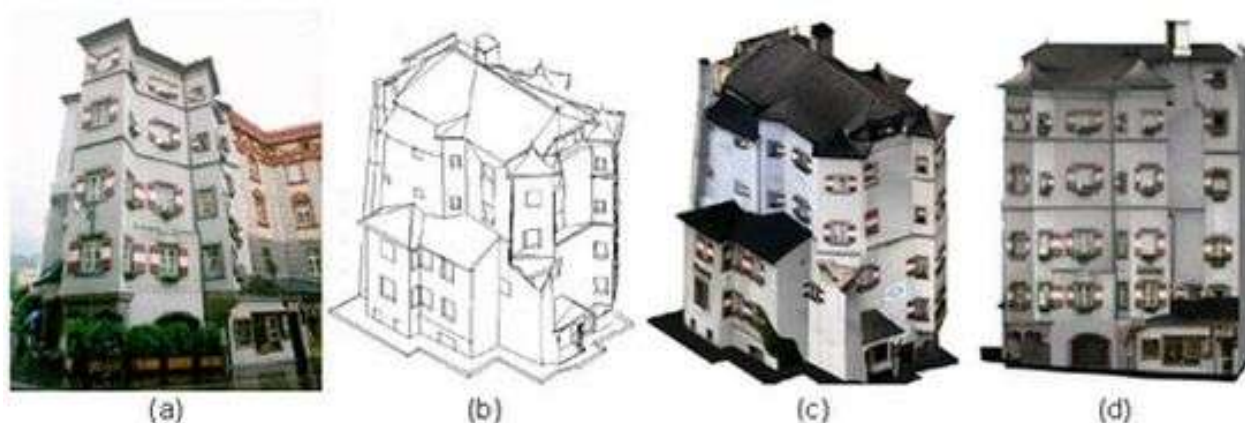
figura 6: Exemplos de diferentes tomadas fotográficas na restituição de várias fotografias<sup>5</sup>

No método digital, a utilização dessa técnica é crescente a cada dia, principalmente quando se trata de levantamentos voltados para arquitetura. Isto é devido a vários fatores, como:

- utilização de equipamentos de uso geral<sup>5</sup>, como *scanners*, câmaras fotográficas comuns ou digitais e microcomputadores associados a programa específicos;
- tomada fotográfica a partir de diversos tipos de câmaras (métricas, semi-métricas, não métricas, câmaras digitais ou de vídeo), diferentes distâncias focais e diversos ângulos<sup>6</sup>, permitindo o levantamento fotográfico de forma a cobrir toda uma edificação complexa;
- redução do número de pontos de controle;
- variedade de produtos que podem ser obtidos, dentre eles, modelos tridimensionais (figura 7 b), modelos fotorealísticos (figura 7c), ortofotos (figura 7d) e desenhos em ambiente computacional, possibilitando a integração dos arquivos em diversos programas;
- medições e parâmetros desconhecidos são calculados analiticamente, ou seja, não é obrigatório o conhecimento dos parâmetros da câmara, nem seu posicionamento e orientação no momento da tomada fotográfica;
- possibilidade de detecção de pequenos e grandes erros, devido à grande redundância desse sistema, permitindo aumentar a precisão e confiabilidade dos resultados.

5 Diferente da estereofotogrametria que necessita de outros dispositivos como os óculos para visão estereoscópica e dispositivos para medição estereoscópica.

6 Não há a obrigatoriedade de vistas paralelas no método estereofotogramétrico.



**figura 7:** (a) Fotografia de um objeto que pode ser levantado pela técnica de restituição a partir de várias fotografias: edificação que apresenta pontos e arestas de fácil identificação, porém que possui forma geométrica complexa; (b) Modelo tridimensional em estrutura de arame (wireframe); (c) Modelo tridimensional com texturas obtidas através das fotos; (d) Ortofoto.

Apesar de todas as vantagens desse método, há uma desvantagem que ocorre devido à ausência da visão estereoscópica. A restituição a partir de várias fotografias está limitada à determinação de pontos discretos que são facilmente identificados em diversas imagens. Para muitos casos, isto pode ser suficiente, especialmente se o objeto apresenta formas geométricas que podem ser bem definidas através de pontos e linhas (ALBERTZ & WIEDEMANN, 1995: 4). No entanto, há situações em que este método é considerado insuficiente ou inadequado para o levantamento dos objetos. Muitos objetos de formas complexas apresentam elementos irregulares e curvos (como esculturas ou alguns detalhes arquitetônicos, por exemplo). Na estereofotogrametria, o operador utiliza a marca flutuante para traçar as formas dos objetos. Já na restituição a partir de várias fotografias, segundo Albertz & Wiedemann (1995: 4), a obtenção dos modelos que representam as formas complexas é mais difícil, sendo necessário recorrer a técnicas de processamento de imagens para a realização da restituição.

### 3 Estudo de caso: cadastramento de uma edificação

Apresenta-se, a seguir, o cadastramento de uma edificação utilizando-se de técnicas de medição direta para o levantamento das plantas baixas, e métodos fotogramétricos digitais para o levantamento das fachadas, esquadrias e detalhes construtivos. O edifício escolhido para cadastro foi a edificação ocupada pelo Diretório Central dos Estudantes (DCE) da UFBA em Salvador-BA. A escolha da mesma foi devido a alguns fatores como: edificação de médio porte e sem grande complexidade, facilidade de acesso para medição direta, presença de poucos móveis nos ambientes e possibilidade de levantamento fotográfico em vários ângulos e alturas (devido à presença de prédios vizinhos que possibilitaram a tomada fotográfica da cobertura).

As técnicas fotogramétricas utilizadas no levantamento do DCE foram a monorestituição e a restituição a partir de várias fotografias, realizadas através do **PhotoModeler**. Os procedimentos realizados no levantamento fotogramétrico podem ser divididos em quatro fases principais:

- (1) **Planejamento do levantamento:** fase importante do cadastramento, pois determina tanto a técnica fotogramétrica a ser adotada (em função das necessidades e especificidades do levantamento), como os equipamentos utilizados para a tomada fotográfica<sup>7</sup>, o posicionamento da câmara nos diversos locais (para uma cobertura adequada da edificação e ângulos próximos a 90° entre as tomadas fotográficas) e os pontos controle a serem levantados.
- (2) **Trabalho em campo:** nesta fase é realizada a tomada fotográfica e levantamento dos pontos de controle.
- (3) **Orientação:** determinação do posicionamento da foto no momento da tomada fotográfica. Esta operação consiste em encontrar a posição do centro perspectivo com relação à fotografia e com relação ao sistema de referência do objeto. Essa primeira operação tem o nome de orientação interna e a segunda de orientação externa.
- (4) **Restituição:** a partir do conhecimento dos parâmetros de orientação das fotografias, é possível

<sup>7</sup> Isto inclui por exemplo: o tipo de filme (sensibilidade), o tipo de lente (distância focal) para permitir uma boa cobertura da edificação, sendo necessário, às vezes, a utilização de equipamentos como andaimes ou plataformas para permitir a tomada fotográfica de determinados ângulos da edificação.

transformar o espaço imagem (x,y) em espaço objeto (X, Y, X), e obter todas as informações gráficas ou numéricas (formas, dimensões e posicionamentos) do objeto fotografado.

A seguir, estão descritos os dois métodos adotados neste trabalho.

### 3.1 Cadastramento das fachadas – restituição a partir de várias fotografias

O cadastramento das fachadas do DCE foi realizado a partir da técnica de restituição de várias fotografias. A seguir, estão descritas as principais etapas do levantamento:

**a) Planejamento do levantamento** – Nesta fase, foi determinada a técnica de restituição a ser utilizada para a produção do modelo tridimensional, ortofotos e desenhos da edificação. Verificou-se que a câmara digital Nikon Coolpix 5400, 5.1 megapixels, distância focal 28 mm-116mm, F2.8 - 8, com a resolução máxima de 2592 x 1944 pixels, era adequada para ser utilizada neste levantamento, uma vez que, sendo grande angular, permitia uma grande profundidade de campo, característica necessária para a tomada fotográfica desta edificação. Além disso, apresentava uma resolução compatível com a escala desejada neste cadastro. Percebeu-se também que seria necessário tomar fotografias da cobertura da edificação a partir de prédios vizinhos (ver figura 4, fotos 9,10,11,12).

**b) Trabalho em campo** - As fotografias foram obtidas com a câmara digital descrita anteriormente. Procurou-se tirar fotografias à 45° e perpendiculares ao plano da fachada. A figura 4 mostra as fotos utilizadas no **PhotoModeler**. Os pontos de controle foram levantados a partir da medição direta com a trena.



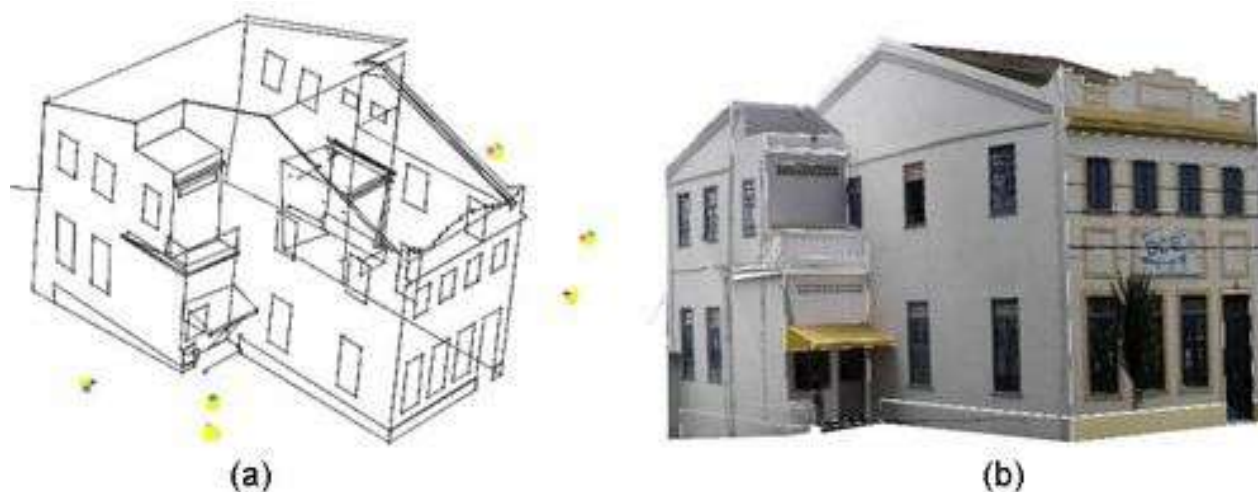
*figura 8: Fotografias importadas<sup>8</sup> e utilizadas pelo PhotoModeler para a criação do modelo 3D da edificação e das ortofotos das fachadas.*

**c) Orientação** – Nesta fase, determinou-se os parâmetros de orientação das fotografias. Primeiramente, obteve-se os dados de **orientação interna** a partir do processo de calibração completa da câmara<sup>8</sup>, que permitiu o conhecimento de suas características geométricas, como, a distância principal, a localização do ponto principal e os valores de distorção da objetiva. Com esses dados, foi possível reconstruir o sistema interno da câmara, ou seja, as imagens foram dispostas em posição semelhante à que exerciam na câmara no momento da tomada fotográfica. Depois da orientação interna, determinou-se os parâmetros de **orientação externa**, a qual permitiu obter o posicionamento de cada foto com relação ao sistema de coordenadas do objeto. Esta operação foi dividida em duas fases: na primeira, **orientação relativa**, determinou-se a posição relativa entre as fotografias, ou seja, reconstruiu-se a posição das fotografias no espaço-objeto durante a tomada fotográfica a partir da identificação dos pontos homólogos nas fotografias.

<sup>8</sup> Realizado pelo *software* **Camera Calibrator**, fornecido juntamente com o **PhotoModeler**

Na segunda operação, chamada **orientação absoluta**, determinou-se a orientação (eixos x, y e z) e a escala do modelo, a partir da correspondência entre as coordenadas do modelo com as coordenadas do objeto.

d) **Restituição** – Depois das fotografias devidamente orientadas, pôde-se visualizar o modelo 3D em estrutura de arame (*wireframe*) gerado pelo programa (ver foto 9a). A partir da determinação das superfícies que formam o modelo e a aplicação das texturas extraídas das fotos, foi possível obter o modelo fotorealístico da edificação (figura 9b) e as ortofotos no formato JPG. As ortofotos das fachadas criadas pelo PhotoModeler (figura 10a) foram inseridas no **AutoCAD** para o traçado de todos os elementos de interesse da fachada (ver figura 10b). Adotou-se este procedimento porque esta ferramenta possui um editor de desenho vetorial que apresenta mais recursos e facilidade para o traçado de detalhes do que o *software* fotogramétrico digital adotado, além de permitir um desenho mais “limpo”, sem linhas sobrepostas, como é o caso do modelo 2D criado no **PhotoModeler**. O modelo 2D criado por esse programa, é feito a partir da projeção ortogonal em um só plano (XY, YZ ou ZY) de todos os traçados do modelo 3D.



**figura 9:** (a) Modelo tridimensional em estrutura de arame (b) Modelo tridimensional com a textura original extraída das fotos.



**figura 10:** (a) Ortofoto da fachada principal do criada no PhotoModeler; (b) Desenho obtido no AutoCAD a partir do traçado das características da fachada sobre a ortofoto.

### 3.2 Cadastramento das esquadrias e dos detalhes – monorestituição

Os desenhos das esquadrias (internas e externas), do guarda-corpo e do corrimão foram feitos a partir da monorestituição. Este técnica é mais simples e rápida do que a citada anteriormente (restituição a partir de várias fotografias). No entanto, para utilizá-la, é necessário o conhecimento de algumas informações sobre

o objeto, tais como, paralelismo e perpendicularidade das arestas (informações existentes nas esquadrias e outros detalhes), para que seja possível reconstruir a câmara no momento da tomada fotográfica. A seguir, estão descritos os procedimentos adotados na monorestituição.

**a) Planejamento do levantamento** – Nesta fase, determinou-se que seria adotada a monorestituição, uma vez que a forma geométrica dos objetos permitia sua utilização. Além disso, para aumentar a precisão dos desenhos, era possível ajustar as dimensões (nas duas direções, horizontais e verticais) obtidas por esse método com as dimensões levantadas em campo com medição direta, uma vez que se tratava de objetos de pequenas dimensões e fácil alcance para contado direto. Verificou-se a necessidade de identificar as esquadrias com pequenos papéis colados, os quais continham a numeração das portas e janelas.

**b) Trabalho em campo** - Foi feito o levantamento fotográfico das esquadrias internas e externas e dos detalhes (apenas uma foto de cada, ver figura 11). Procurou-se tomar as fotografias o mais próximo do eixo ortogonal do centro dos objetos, visando a obtenção de ortofotos de melhor qualidade e precisão.

**c) Orientação** – Após a introdução dos parâmetros da câmara (orientação interna), realizou-se a orientação externa a partir da identificação das arestas paralelas aos eixos x, y e z, fase conhecida como determinação das restrições (do inglês *constraints*). Isto é possível devido às características geométricas particulares dos objetos levantados, que apresentam arestas paralelas e ortogonais. A determinação da escala do modelo foi feita com base em uma distância conhecida da esquadria ou do detalhe, dados esses obtidos anteriormente na medição direta com a trena.



*figura 11: Fotos das esquadrias internas*

**d) Restituição** – Processadas as fotos e aplicadas as texturas das esquadrias, foi possível gerar a ortofoto de cada elemento para a posterior vetorização no **AutoCAD** de todos os elementos de interesse. Ver figuras 12 e 13.



figura 12: Ortofotos das esquadrias e desenhos feitos no AutoCAD.

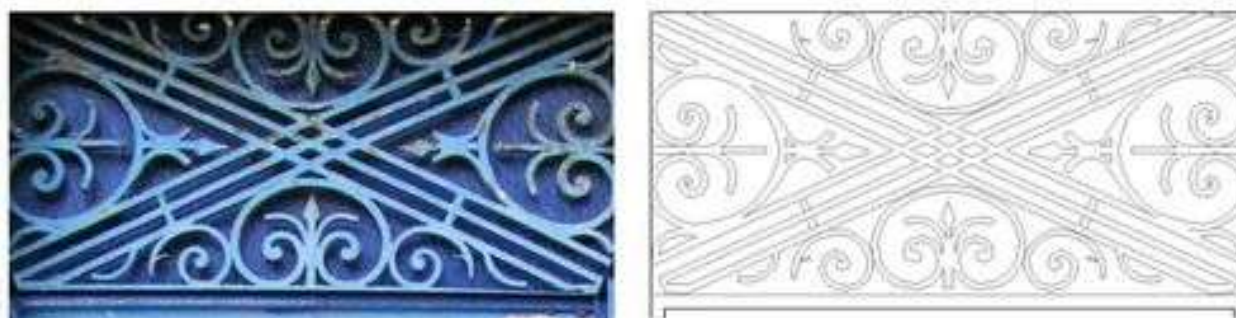


figura 13: Ortofoto e desenho do detalhe de uma porta.

### 3.3 Análise dos resultados obtidos

A avaliação da qualidade dos resultados obtidos pelo **PhotoModeler** foi feita a partir da comparação de dimensões no modelo 3D gerado pelo programa e por dimensões obtidas na medição direta da edificação. Verificou-se que a precisão dos pontos no modelo não foi homogênea, ou seja, havia uma variação dos níveis de precisão. Os pontos de fácil identificação nas fotos (trechos onde há um bom contraste e boa resolução na imagem<sup>9</sup>) e visualizados em uma quantidade grande de fotos com bom ângulo entre elas (valores próximos a 90°) apresentam uma boa precisão. O ponto mais preciso apresenta um erro de 1 mm, ou seja, a variação entre o valor real e o do modelo 3D é de 0,006%. O ponto menos preciso foi aquele de difícil identificação, devido à presença de obstáculos. Este apresentou um erro de 23 cm, ou seja, uma variação de 1,19% nas dimensões. O valor médio da precisão do modelo tridimensional criado varia entre 2 e 5 cm.

## 4 Conclusões

A partir das informações descritas neste trabalho, pode-se observar que há uma série de fatores que influenciam na escolha da técnica fotogramétrica digital a ser utilizada, como:

- característica do objeto a ser levantado: planos; com elementos geométricos bem definidos; complexos, porém que apresentem pontos e arestas de fácil identificação; ou com grande quantidade de detalhes em relevo;

9 Boa resolução neste caso, significa objetos mais próximos da câmara.

- quantidade de fotografias disponíveis do objeto: uma, duas (estereopar) ou várias fotografias;
- precisão requerida;
- tipo de produto requerido: desenho (traçado vetorial), desenho com curvas de isovalor, modelo tridimensional, foto retificada ou ortofoto;

Antes da escolha de qualquer técnica a ser adotada, é necessário que o usuário tenha conhecimento das técnicas fotogramétricas existentes. A partir disso, é possível adotar a técnica mais adequada a uma determinada situação. Vimos que a estereorestituição é a técnica mais adequada para o levantamento de formas curvas e em relevo e a restituição a partir de várias fotografias para levantamento de formas que permitem fácil identificação de pontos e arestas. A monorestituição é a técnica mais rápida, simples e que requer menos recursos das três, porém apresenta menor precisão e qualidade do produto final. É uma técnica que produz resultados satisfatórios somente quando os objetos são planos e as fotografias são tomadas próximas ao eixo ortogonal da superfície a ser restituída.

Além desses aspectos, há um fator muito importante, se não essencial, na escolha da técnica a ser adotada. Refere-se à disponibilidade de programas e equipamentos necessários para restituição e o conhecimento dos procedimentos utilizados em cada técnica.

De forma geral, pode-se dizer que a monorestituição e a restituição a partir de várias fotografias podem ser utilizadas para uma série de aplicações voltadas para arquitetura. Elas são as técnicas digitais mais difundidas e utilizadas para este tipo de aplicação, devido à simplicidade dos procedimentos e à pequena quantidade de recursos necessários, se comparadas à estereorestituição digital.

## 5 Referências Bibliográficas

**ALBERTZ, J; WIEDEMANN, A.** *Acquisition of CAD Data from Existing Buildings by Photogrammetry*. Technical University of Berlin, Berlin, 1995. 8 p. Disponível em: <<http://www.fpk.tu-berlin.de/~albert/lit/CADtex.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2003.

**BRITO, J.; COELHO, L.** *Fotogrametria Digital*. Instituto Militar de Engenharia. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, Brasil: 2002. Disponível em: <<http://e-foto.sourceforge.net/cap1.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2002.

**CARBONNELL, M.** *Quelques aspects du releve photogrammetrique de monuments et des centre historiques*. Roma: ICCROM, 1974. 86 p.

**HANKE, K.; GRUSSENMEYER, P.** *Architectural photogrammetry: basic theory, procedures, tools*. Corfu: ISPRS Commission 5, set. 2002. 27 p. Tutorial.

**HEUVEL, F. A.** *Reconstruction from a single architectural image from the Meydenbauer Archives*. In: Proceedings of CIPA symposium, Postdam Germany, 2001. 9 p. Disponível em: <<http://www.geo.tudelft.nl/frs/papers/2001/CIPA2001vandenHeuvel.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2002.

**MIKHAIL, E.; BETHEL, J. S.; MACGLONE, C. J.** *Introdution to Modern Photogrammetry*. New York: John Wiley & Sons, 2001. 479 p.

**ROMEO, M.** *Architettura digitale: tecnologie ed applicazioni informatiche per l'architettura*. Firenze: Facoltà de Architettura, 2002. 93 p.

**SILVA, S.; DALMOLIN, Q.** *Aplicação da monorestituição digital em levantamentos de monumentos históricos*. Disponível em: <[www.cartografia.org.br/xixbccd/artigos/c4/CIV-06/CIV-6.pdf](http://www.cartografia.org.br/xixbccd/artigos/c4/CIV-06/CIV-6.pdf)>. Acesso em: 22 ago. 2002.