Campus de São Carlos

*APLICAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA PARA O REGISTRO E AVALIAÇÃO DE
DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS*

MÁRIO JOSÉ GARRIDO DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. GLAUCO TULIO PESSA FABBRI

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 07/08/00

Ass.: _____

Ass.

APLICAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA PARA O REGISTRO E AVALIAÇÃO DE DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

MÁRIO JOSÉ GARRIDO DE OLIVEIRA

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016486

*Dissertação apresentada à
Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São
Paulo, como parte de requisitos
para obtenção do título de
Mestre em Engenharia
Civil, Área: Transportes*

Orientador: Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri

SÃO CARLOS
2000

Clase.	TESE-EESC
Curt.	3992
Tombo	T0185/00

st 1099369

Ao homem que sempre
me espelhei, e que é
digno de ser chamado de
HOMEM, meu avô
MARIO GARRIDO

Aos meus pais, Dalvino
Carvalho de Oliveira e
Marisa Teresa Garrido
Carvalho de Oliveira, os
meus grandes mestres.

Agradecimentos

Ao amigo e orientador Prof Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri por sugestões, críticas e paciência neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Irineu da Silva pelas dicas, equipamentos e colaboração direta e indireta na finalização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Paulo C. L. Segantine pelas dicas, equipamentos e colaboração direta e indireta na finalização deste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Transportes da EESC-USP que contribuíram para enriquecer este trabalho de alguma maneira.

Ao Engenheiro Éder da RN engenharia, pela participação deste trabalho.

A todos os colegas e funcionários do Departamento de Transportes da EESC-USP

A minha adorável Irmã, aos meus sobrinhos: DANIELA, ANDRÉ e LUCIANA (tudo na minha vida hoje), ao meu cunhado João Paulo.

Ao seu Darci Biasi de Ibitinga, pessoa que sempre admirei e respeitei, homem este que todos chamam e consideram como seu segundo "Pai".

A pessoa mais espetacular e especial que conheci nos últimos anos e que todos deveriam conhecer, para sim ter esperança que existe pessoas boas, solidárias, humana e objetiva nesta vida, Lísia.

Ao colega Ricardinho pela ajuda de coleta de dados em campo.

Aos amigos de São Carlos que sempre me ajudaram de uma forma ou de outra nas horas mais difíceis, tais como: Márcio Marino, Puff, Nádia K., Nádia T., Rita, Andréia, Italinho, Pitty, Nelsinho, Caio B., Galo, Chicarelli, Udson, Madalena, Mami's, BiBi, Zé Lucio, Parê, Zé Gastala, Cintia, Gordo, Dri, Marquinho M. etc

Aos meus amigos e parentes de Ibitinga (agradeço por pertencer e participar desta grande família que são vocês), Tia Marlene, Alex, Humberto, Tio Paulo, Tia Ivani, Ivana, Paula, Neto, Riberto, Valéria, Darci, LiLa, Seu Adel, Adinho, D. Cleonilda, Rosalvo, Graça, William, Vitório, João Baton, Lirso, Mário Pavan, Joaquim, Wander, Pyskuma, Newtinho, Wilsinho, Dr Mancini, Assef, Tulo, Tuca, Camarão, Cridinho, etc

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados de uma tentativa de utilização da fotogrametria terrestre aplicada ao registro de defeitos na superfície de pavimentos flexíveis, utilizando câmaras fotográficas não métricas de pequena distância focal. Foram utilizadas duas câmaras fotográficas, uma digital, que produz imagens com resolução de 504 x 756 pontos, e uma convencional, cujos negativos foram digitalizados em duas resoluções distintas, 600 e 1.200 pontos por polegada (*dpi*), com auxílio de numerizador (*scanner*) de mesa não calibrado. As imagens foram vetorizadas utilizando-se o *software Digital Video Plotter - DVP*, da *Geomatic Systems Inc.*, e os modelos tridimensionais foram posteriormente produzidos com auxílio do *software SoftDesk* da *Autodesk Inc.*. Os resultados permitem concluir, preliminarmente, que o processo utilizado é viável de ser usado para registro e eventual acompanhamento de defeitos na superfície de pavimentos; e que os modelos obtidos das imagens produzidas pela câmara digital apresentam melhor qualidade que os obtidos da câmara convencional, independentemente da resolução usada, devido à má qualidade das imagens obtidas dos negativos quando numerizados em numerizador convencional, não específico para esse fim.

ABSTRACT

The results from a first attempt to use terrestrial photogrammetry applied to register the surface distresses on the flexible pavement, using non-metric photographic cameras with short focal distance are presented in this work. Two photographic cameras were used, a digital one that produces images with 504 x 756 points, and a conventional one, whose negatives were digitized by a non calibrated scanner in two different resolutions, 600 and 1.200 dots per inch (dpi). The images were restored using the *Digital Video Plotter* (DVP) software, from Geomatic Systems Inc., and the three dimensions models were made with the aid of the software *Softdesk*, from Autodesk Inc. From the results, it is possible to conclude, preliminarily, that the utilized process is viable to be used to register the superficial pavement distresses and it also permits the future development of distress evolution models. It is also possible to conclude that the models obtained from the digital camera is better than those from the conventional one because the bad quality of the images obtained from the negatives when digitized through conventional desktop scanner that is not proper to this finality.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Esquema geométrico da paralaxe estereoscópica PAREDES (1987)	08
FIGURA 2.2	Esquema geométrico para obtenção da expressão geral da paralaxe PAREDES (1987)	09
FIGURA 2.3	Etapas de uma restituição analítica (ROSALEN, 1997)	15
FIGURA 2.4	Esquema da configuração geral de um restituidor digital SILVA (1994)	21
FIGURA 2.5	Frequência de distribuição de erros para o DVP e o BBA, no plano da fachada e na direção perpendicular (MARKKU, 1997)	25
FIGURA 2.6	Equipamento utilizado por HAZEGAWA et alli (1999) para realização das fotografias no estudo arqueológico	32
FIGURA 3.1	Gabarito de metal, com os pontos de controle e principais dimensões	34
FIGURA 3.2	Régua metálica e tripés utilizados para a fixação das câmaras fotográficas e definição da altura (Y) e distância de base (B)	36
FIGURA 3.3	Exemplo de dimensões e marcas fiduciais de uma fotografia obtida com câmara convencional	38
FIGURA 3.4	Exemplo da tela do software DVP durante a orientação interior	40
FIGURA 3.5	Exemplo da tela do software DVP durante a orientação relativa	40
FIGURA 3.6	Exemplo da tela do software DVP durante a orientação absoluta	41
FIGURA 3.7	Exemplo de triangulação e interpolação feitos pelo <i>Softdesk</i>	42
FIGURA 3.8	Exemplo de curvas de nível e perfis feitos pelo <i>Softdesk</i>	42
FIGURA 4.1	Escada utilizada para avaliar a precisão das restituições	46

FIGURA 4.2	Dimensões dos degraus da escada utilizada para avaliar a precisão das restituições	46
FIGURA 4.3	Afundamento de trilha de rodas e curvas de nível (câmaras digital e convencional)	50
FIGURA 4.4	Seções longitudinais do afundamento de trilha de rodas (câmaras digital e convencional)	51
FIGURA 4.5	Seções transversais do afundamento de trilha de rodas (câmaras digital e convencional)	52
FIGURA 4.6	Primeira panela e curvas de nível (câmaras digital e convencional)	53
FIGURA 4.7	Seções longitudinais da primeira panela (câmaras digital e convencional)	54
FIGURA 4.8	Seções transversais da primeira panela (câmaras digital e convencional)	55
FIGURA 4.9	Segunda panela e curvas de nível (câmaras digital e convencional)	56
FIGURA 4.10	Seções longitudinais da segunda panela (câmaras digital e convencional)	57
FIGURA 4.11	Seções transversais da Segunda panela (câmaras digital e convencional)	58
FIGURA 4.12	Determinação de área e perímetro de trincamento exemplo-1 (área = 0.1048m^2 , perímetro = 1.460m)	59
FIGURA 4.13	Determinação de área e perímetro de trincamento exemplo-2 (área = 0.2462m^2 , perímetro = 2.286m)	60
FIGURA 4.14	Extensão de trincamento – exemplo- 3, linha 1 com comprimento aproximado de 0.89m e ;linha 2 com 1.05m	60

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1	Métodos de captação, orientação e restituição fotogramétrica segundo ROSALEN (1997)	13
QUADRO 2.2	Comparação dos erros e das medidas obtidos pelos métodos DVP e BBA segundo MARKKU (1997)	25
QUADRO 3.1	Coordenadas dos pontos de referência do gabarito metálico	35
QUADRO 3.2	Escala das fotografias utilizadas	39
QUADRO 3.3	Dimensões dos <i>pixels</i> em função do equipamento/resolução.	39
QUADRO 4.1	Comparação das cotas dos degraus da escada para as diferentes imagens utilizadas	47
QUADRO 4.2	Alturas dos degraus da escada em função da imagem utilizada	48
QUADRO 4.3	Profundidades máximas e extensão da primeira panela, no sentido longitudinal	54
QUADRO 4.4	Profundidades máximas e extensão da primeira panela, no sentido transversal	55
QUADRO 4.5	Profundidades máximas e extensão da segunda panela, no sentido longitudinal	57
QUADRO 4.6	Profundidades máximas e extensão da segunda panela, no sentido transversal	58

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS	viii
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2: FOTOGRAMETRIA TERRESTRE	5
2.1 INTRODUÇÃO	5
2.2 PRINCÍPIOS DA FOTOGRAMETRIA	6
2.2.1 PRINCÍPIOS GEOMÉTRICOS PARA DETERMINAÇÃO DE DIFERENÇAS DE COTAS - PARALAXE	6
2.2.2 ORIENTAÇÃO DE MODELOS ESTEREOSCÓPICOS	12
2.2.3 RESITUIDORES	13
2.3 FOTOGRAMETRIA DIGITAL	16
2.3.1 RESTITUIDORES DIGITAIS	20
2.3.2 NUMERIZADORES (SCANNERS)	21
3 FOTOGRAMETRIA DIGITAL TERRESTRE	23
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	23
3.2 EXEMPLO DE ALGUMAS APLICAÇÕES	24
CAPÍTULO 3 EQUIPAMENTOS E MÉTODOS	33
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	33
3.2 EQUIPAMENTOS E SOFTWARES	33
3.2.1 DE CAMPO	33
3.2.2 DE LABORATÓRIO	36
3.3 PROCEDIMENTOS	37
3.3.1 NUMERIZAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS	37

3.3.2	MARCAS FIDUCIAIS	37
3.3.3	ESCALA E DIMENSÕES DOS <i>PIXELS</i> NAS IMAGENS	39
3.3.4	RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA	39
3.4	CASOS ESTUDADOS	43
CAPÍTULO 4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	45
4.1	INTRODUÇÃO	45
4.2	OBJETO DE GEOMETRIA CONHECIDA (ESCADA)	45
4.3	DEFEITOS NA SPERFÍCIE DO PAVIMENTO	48
4.3.1	AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODAS	49
4.3.2	PANELAS	52
4.3.3	TRINCAS	59
CAPÍTULO 5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS	BIBLIOGRÁFICAS	64
BIBLIOGRAFIA	COMPLEMENTAR	

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Durante os últimos cinquenta anos a fotogrametria, como ciência, beneficiou-se dos grandes avanços tecnológicos e tornou-se uma das principais técnicas utilizadas para a elaboração de mapas cartográficos. Nesse período surgiram a triangulação analítica e o ajustamento em bloco, houve o crescimento da utilização dos restituidores analíticos e a incorporação, a eles, de editores gráficos com superposição de imagens, e ocorreram, também, os avanços técnicos dos instrumentos óptico-mecânicos (SILVA, 1994).

Segundo QUINTANILHA (1990), o interesse pelas técnicas de processamento de imagens digitais iniciou-se na década de 20, quando figuras digitalizadas foram transmitidas por cabo submarino entre as cidades de Nova Iorque e Londres. No entanto, as aplicações dos conceitos de processamento de imagens digitais só tiveram um maior desenvolvimento após a metade da década de 60, com o surgimento da terceira geração de computadores digitais, que colocou à disposição dos usuários velocidade de processamento e capacidade de armazenamento compatíveis com as necessárias à implementação dos algoritmos para tratamento de imagens.

Segundo GAGNON et alli (1990), os sistemas digitais fotogramétricos têm sido desenvolvidos com a finalidade de minimizar custos e diminuir a complexidade

da fotogrametria em termos de equipamentos e técnicas requeridas. Com um microcomputador e um monitor de imagens para visão do modelo estéreo, o problema das “orientações” são resolvidos com eficiência e exatidão.

RIBEIRO et alli (1991) fizeram uma interessante previsão a respeito do desenvolvimento do instrumental fotogramétrico, traçando as várias tendências de desenvolvimento para o futuro, entre as quais destacam-se a diminuição da produção de instrumentos analógicos em função do desenvolvimento dos sistemas digitais de medição; a concorrência entre os sistemas totalmente digitais e os analíticos, com o decréscimo, a curto prazo, da utilização dos analíticos, sendo gradativamente substituídos pelos digitais ou ainda a possibilidade de ambos os padrões desenvolverem-se paralelamente.

Segundo GOMES (1995), a fotogrametria é uma técnica de engenharia que também pode ser utilizada no meio rodoviário, assim como em outros; no Brasil encontram-se alguns trabalhos realizados nas seguintes áreas: construção civil, para o levantamento de deslizamento de taludes e de encostas com o objetivo de elaborar projetos de drenagem, vertedouros para barragens, etc.; arquitetura, para registro e levantamento de fachadas, paredes, torres e ruínas e engenharia ferroviária, para a obtenção de perfis para construção de passarelas sobre linha férrea, medições de deformações de trilhos, etc.

Há no Brasil uma grande expectativa em relação ao uso e à exploração das câmaras de pequeno formato, digitais ou não, para aplicação da fotogrametria nos segmentos da engenharia relacionados à avaliação de imóveis, ao mapeamento, à construção civil e ao monitoramento dos recursos naturais, devido ao baixo custo e facilidade de operação que esses equipamentos apresentam (Fator GIS, 1996).

Segundo HAAS e HUDSON (1994) um sistema de gerência de pavimentos consiste de um conjunto de atividades coordenadas e relacionadas com o planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos, cujo objetivo principal é utilizar informações confiáveis e critérios de decisão para produzir programas de construção, manutenção e reabilitação.

de pavimentos que forneçam o máximo de retorno possível com os meios disponíveis.

Ainda segundo esses autores, já existem vários organismos rodoviários que coletam dados de desgaste dos pavimentos ao longo das seções previamente marcadas, trafegando com veículos munidos de equipamentos fotogramétricos especiais (câmara fotográfica, filmadora, computador de bordo, etc.). Como vantagem desse procedimento, os autores citam a possibilidade de amostrar toda a rede viária, pois não produz interferência no tráfego e é um processo rápido e barato e, como desvantagem, citam o fato desse tipo de levantamento dinâmico não apresentar a qualidade dos dados tão satisfatória quando comparada à obtida pelo levantamento por caminhada no local, que fornece dados mais detalhados e consistentes.

Segundo ACOSTA et alli (1995), o componente fundamental para classificação de desgastes em pavimentos por análise de vídeo-imagem baseada em computador é a identificação do tipo de desgaste, desde a sua geometria até a textura da área de interesse identificada durante a análise de imagem. A classificação dos defeitos é extraída a partir das características geométricas e de textura, que geram parâmetros que identificam o tipo, extensão e severidade do defeito.

Por outro lado, a fotogrametria tradicional, estática, ou seja, aquela que explora pares fotográficos para a geração de modelos tridimensionais também pode ser utilizada na engenharia, notadamente na área de gerência de pavimentos, mas não com a finalidade de verificação da ocorrência de defeitos e sim para o registro e acompanhamento da evolução morfológica destes, com a finalidade de gerar subsídios para o desenvolvimento de modelos de evolução dos defeitos para serem incorporados aos sistemas de gerência de pavimentos.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi aplicar as técnicas convencionais da fotogrametria terrestre, utilizando câmaras não métricas de pequena distância focal, para o registro e avaliação de defeitos superficiais em pavimentos flexíveis, testando assim a utilização de instrumental e técnicas de baixo custo,

e verificando a possibilidade de sua aplicação a partir da avaliação dos resultados obtidos da utilização de diferentes câmaras fotográficas (uma digital e uma convencional) e diferentes resoluções das imagens. Da mesma forma que na fotogrametria convencional, a utilização de câmaras não métricas com pequena distância focal pode fornecer dados de defeitos superficiais em pavimentos em relação à morfologia, dimensões, velocidades de evolução, etc.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionados alguns defeitos de pavimentos flexíveis mais freqüentes na malha urbana da cidade de São Carlos, situada no estado de São Paulo, que foram fotografados com as câmaras fotográficas já mencionadas, e foram utilizados dois programas de computador, um para a vetorização fotogramétrica (*DVP-Digital Video Plotter*, da *Geomatic Systems Inc.*, versão 4.326 de 1997), e outro para o traçado das curvas de nível e das seções transversais (*Softdesk*, da *Autodesk Inc.*, versão 7.2 C4 de 1996).

Em termos de organização, este trabalho contém, além desta introdução, mais quatro capítulos. O capítulo 2 que apresenta uma revisão bibliográfica sobre a fotogrametria, especialmente a terrestre, enfocando os princípios da técnica e exemplos de sua aplicação na engenharia; no capítulo 3 são descritos os equipamentos utilizados no experimento, os materiais, os métodos, os programas de computador e os defeitos fotografados; no capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados das restituições em função do defeito fotografado, da câmara e da resolução utilizadas; no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais com conclusões obtidas do experimento. São apresentadas também as dificuldades encontradas durante a execução do trabalho e são feitas recomendações quanto à utilização da técnica ora aplicada, ressaltando as vantagens e limitações dos programas de computador e equipamentos empregados no trabalho.

CAPÍTULO 2

FOTOGRAMETRIA TERRESTRE

2.1. INTRODUÇÃO

Segundo ANDRADE (1988), a idéia de usar a perspectiva para obter mapas topográficos é anterior a invenção da fotografia. A teoria geométrica das perspectivas, obra dos matemáticos Desargues (1593-1662) e Lambert (1728-1787), já fora utilizada em levantamentos ao longo do século XVIII. Uma das aplicações mais notáveis deste método foi, provavelmente, a que levou o engenheiro hidrógrafo Beautemps-Beaurepré, em 1791, a realizar os levantamentos geográficos costeiros no Pacífico.

Esta possibilidade foi desde o início prevista, tanto que François Arago, ao apresentar a recente invenção da fotografia à academia de Ciências da França, em 1839, não se esqueceu de incluir entre suas possíveis aplicações o uso em levantamentos topográficos.

As aplicações práticas não tardaram a se seguir a esse fato; foram obras do capitão Aimé Laussedat (1819-1904), reconhecido universalmente como o fundador da fotogrametria. Em seus primeiros trabalhos, utilizou o processo que denominou "iconometria" para a construção da planta topográfica da França, por volta de 1850.

A fotogrametria é ainda definida pela "*American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*" como a arte e tecnologia de obter informações de confiança sobre objetos físicos e do meio ambiente através de processos de registro, medidas e interpretação fotográfica de imagens e modelos de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos.

A fotogrametria, segundo LOCH (1989), pode ser classificada em aérea ou terrestre, de acordo com a forma como as fotografias foram tiradas e também pode ser classificada em função do processo para obtenção do produto final, em analógica, analítica ou ainda digital.

2.2. PRINCIPIOS DA FOTOGRAMETRIA

2.2.1. PRINCÍPIOS GEOMÉTRICOS PARA DETERMINAÇÃO DE DIFERENÇAS DE COTAS - PARALAXE

A seguir será demonstrado resumidamente os princípios geométricos para a determinação das cotas (alturas) utilizando o princípio fundamental da paralaxe estereoscópica e também o processo para determinação da equação geral, e que segundo PAREDES (1987) o conceito de paralaxe está relacionado com o deslocamento relativo ou aparente dos objetos estacionários, quando um observador em movimento os olha de pontos diferentes.

No caso de fotografias aéreas, o observador móvel é o avião, o objeto estacionário é o terreno e os pontos-imagem diferentes são duas fotografias consecutivas e superpostas longitudinalmente. Já no caso de fotografias terrestres, o observador móvel é o próprio operador que está efetuando as fotografias.

Segundo WOLF (1983), paralaxe é o deslocamento aparente da posição de um objeto causado pela mudança do ponto de observação, tendo como referência uma linha ou um ponto, por exemplo, os eixos geométricos que ligam as marcas fiduciais opostas das fotografias. A "paralaxe" é medida ao longo do eixo "x" nas fotografias (direção do deslocamento).

Dois aspectos importantes na paralaxe "estereoscópica" chamam a atenção:

- a paralaxe de qualquer ponto esta diretamente relacionada com sua elevação;
- a paralaxe é maior para pontos mais altos do que para pontos mais baixos.

O relevo, assim como a sensação de relevo, está relacionado diretamente à paralaxe na direção do deslocamento da câmara fotográfica. Assim, a variação de paralaxe com a elevação dos pontos observados pode ser utilizada para a determinação de altura desses pontos através de medidas nas fotografias.

A paralaxe estereoscópica absoluta é definida como a diferença de distâncias entre os pontos principais e as imagens homólogas nas fotografias, na direção paralela à do deslocamento da câmara fotográfica durante o registro das fotografias (usualmente designada direção X). Paralaxe relativa é definida como a diferença entre as paralaxes absolutas de dois pontos.

A Figura 2.1 mostra os pontos A e B da superfície terrestre que aparecem em duas fotografias aéreas verticais com imagens a_1 e a_2 e b_1 e b_2 , respectivamente. Pode-se observar que a imagem de "A" está em duas posições diferentes em relação aos eixos X das fotografias, causadas devido à mudança da posição da máquina fotográfica de O_1 para O_2 .

A distância, no eixo X, do ponto principal "pp" abaixo do ponto-imagem "a" na fotografia da esquerda (Foto1) é x_{a1} e, na da direita, x_{a2} . A diferença algébrica entre os deslocamentos aparentes das imagens, isto é $x_{a1} - x_{a2}$ é chamada paralaxe absoluta.

Figura 2.1: Esquema geométrico da paralaxe estereoscópica (PAREDES 1987)

A operação algébrica para obtenção da paralaxe é:

$pxa = xa1 - xa2$ (para imagem do ponto A);

$pxb = xb1 - xb2$ (para imagem do ponto B);

$pxi = xi1 - xi2$ (forma geral).

com:

px_i = paralaxe absoluta das imagens, com $i = a, b, c, \dots, z$;

$xa1$ ou $xb1$ = distâncias, ao longo do eixo das abscissas, do ponto principal à parte inferior das imagens na fotografia da esquerda (são valores positivos)

$xa2$ ou $xb2$ = distâncias, ao longo do eixo das abscissas, do ponto principal à parte inferior das imagens na fotografia da direita (são valores negativos)

Logo a diferença de paralaxe entre os pontos A e B é:

$$\Delta px = px_a - px_b, \text{ com } b \text{ como ponto de referência;}$$

ou

$$\Delta px = px_i - px_{pp}, \text{ com } pp \text{ como ponto de referência.}$$

Ainda segundo PAREDES (1987), pode-se calcular a diferença de alturas utilizando-se a diferença de paralaxes; considerando-se os dois pontos A e B, conforme mostra a Figura 2.2, as diferenças de paralaxes absolutas (Δpx) e de alturas (Δh) seriam, respectivamente:

$$\Delta px = px_a - px_b$$

$$\Delta h = H - h$$

Figura 2.2: Esquema geométrico para obtenção da expressão geral da paralaxe (PAREDES 1987)

Com os elementos representados na Figura 2.2, pode-se deduzir, através de semelhança de triângulos, o que se segue:

de $\Delta O_1 P B O_2 \approx \Delta p_2 O_2 p_b$

$$\frac{B}{p_x_b} = \frac{H}{f} \quad \therefore$$

$$H = \frac{Bf}{p_x_b}$$

de $\Delta O_1 P A O_2 \approx \Delta p_2 O_2 p_a$

$$\frac{B}{p_x_a} = \frac{h}{f} \quad \therefore$$

$$h = \frac{Bf}{p_x_a}$$

como $\Delta h = H - h$, tem-se

$$H - h = \frac{Bf}{p_x_b} - \frac{Bf}{p_x_a} \Rightarrow$$

$$\Delta h = \frac{Bf(p_x_a - p_x_b)}{p_x_b * p_x_a}$$

mas:

$$H = Bf/p_x_b$$

$$\Delta p_x = p_x_a - p_x_b$$

$$p_x_a = p_x_b + \Delta p_x$$

$$b = p_x_b = \text{fotobase,}$$

então:

$$\Delta h = \frac{H \Delta p x}{p x b + \Delta p x} = \frac{H \Delta p x}{b + \Delta p x}$$

Resumindo, tem-se:

$$\Delta h = \frac{H \Delta p x}{b + \Delta p x}$$

ou

$$\Delta p x = \frac{b \Delta h}{H - \Delta h}$$

As expressões para estimar as diferenças de altura e de paralaxe apresentam o inconveniente de não serem lineares (devido aos denominadores). Quando o terreno não apresenta grandes diferenças de nível ou quando não há necessidade de precisão extrema, pode-se simplificar os denominadores, eliminando Δh e $\Delta p x$ dos denominadores. Assim ter-se-ia:

$$\Delta h = \frac{H}{b} \Delta p x$$

$$\Delta p x = \frac{b}{H} \Delta h$$

com:

H = altura do objeto fotografado, em metros;

b = fotobase (pode-se calcular pela paralaxe absoluta, ou seja, $b = pp_1pp_2 - a_1a_2$, ou também sobre uma mesma fotografia, entre o ponto principal e o ponto principal transferido da fotografia da direita, ou seja, $b = O_1O'_2$), em milímetros;

$\Delta p x$ = diferença de leituras de paralaxe, em milímetros. As leituras de $p x a$ e $p x b$ são feitas com barra ou cunha de paralaxe.

2.2.2. ORIENTAÇÃO DE MODELOS ESTEREOSCÓPICOS

Para extração de informações precisas de fotografias é necessário que elas sejam orientadas, formando pares estereoscópicos, de tal forma que reconstituam-se as suas posições exatas nos momentos das exposições. Assim, a partir das coordenadas do objeto nas fotografias, determinam-se as coordenadas no modelo estereoscópico e deste, as coordenadas "reais" do objeto originalmente fotografado.

A orientação das fotografias, para proceder-se a restituição fotogramétrica, é composta de três fases, a saber: orientação interior ou interna, orientação relativa e orientação absoluta.

A orientação interior consiste da recriação da geometria da câmara fotográfica a fim de reconstruir o feixe de raios perspectivos que deram origem à imagem registrada. Para tanto, necessita-se conhecer a distância focal da câmara, a projeção do ponto principal (geralmente o eixo ótico da lente) no plano da imagem e as correções que devem ser feitas devido às distorções causadas pelo sistema ótico utilizado.

A orientação relativa consiste do posicionamento relativo das fotos de tal forma que raios luminosos homólogos cruzem-se num mesmo ponto, eliminando-se assim a paralaxe na direção perpendicular à do deslocamento do equipamento fotográfico. Corresponde portanto, à determinação do lugar geométrico das interseções de todos os pares de raios homólogos através da orientação dos feixes de raios luminosos que deram origem às imagens no momento das tomadas fotográficas. Nesse processo forma-se o modelo estereoscópico, ou seja, cria-se o modelo tridimensional do objeto fotografado.

Já a orientação absoluta consiste da orientação do modelo tridimensional em relação a um sistema de coordenadas, a fim de determinar suas dimensões e posição. Corresponde à orientação de um sólido no espaço em uma dada escala, através do ajuste do modelo às coordenadas dos pontos de apoio registrados no "campo".

2.2.3. RESTITUIDORES

Após a orientação e a captação das imagens, utilizam-se restituidores fotogramétricos para a confecção de mapas ou mesmo para a obtenção de uma simples medida.

Basicamente, a restituição fotogramétrica consiste da transformação de uma projeção perspectiva central (par estereoscópico de fotografias) em uma projeção ortogonal (ROSALEN, 1997).

Para fazer a orientação e restituição podem ser utilizadas diferentes técnicas, a analógica, a analítica e a digital. No quadro 2.1 estão apresentados, resumidamente, os principais métodos utilizados na restituição fotogramétrica, ordenados cronologicamente.

Quadro 2.1: Métodos de captação, orientação e restituição fotogramétrica segundo ROSALEN (1997).

Etapa	Tipo de restituição			
	Analógica	Semi-analítica	Analítica	Digital
Cronologia	até a década de 70	das décadas de 60/70 até hoje	da década de 70 até hoje	a partir da década de 90
Captação da imagem	câmaras fotográficas	câmaras fotográficas	câmaras fotográficas	câmaras fotográficas e "scanners"
Imagem usada na restituição	diapositivos, negativos e papel	diapositivos, negativos e papel	diapositivos, negativos e papel	digital (arquivos numéricos)
Orientação	analógica	analógica	analítica	analítica
Geração de mapas	analógica	numérica	numérica	numérica
Geração de curvas de nível	analógica	numérica	numérica	digital (MDT)
Edição de mapas	graficamente	digital (CAD)	digital (CAD)	digital (CAD)

Na restituição analógica utilizam-se equipamentos óptico-mecânicos que permitem fazer a orientação dos pares de fotografias analogicamente para obtenção do modelo estereoscópico. Para geração de um mapa, por exemplo, o operador "pilota" uma marca índice pelo modelo estereoscópico "copiando" o relevo do terreno em papel, através de um pantógrafo anexado à marca índice.

Os restituidores semi-analíticos representam um avanço em relação aos analógicos devido ao progresso tecnológico da eletrônica em que a orientação ainda é analógica mas a restituição é numérica. Diferem dos analógicos na fase de confecção dos mapas, pois tornou-se possível gerar mapas numéricos para edição posterior em computadores. Nesses restituidores, os movimentos nas direções X, Y e Z são quantificados por codificadores e convertidos em sinais elétricos compatíveis com os computadores que os recebe, armazena e posteriormente processa.

O processo de orientação das fotografias nas restituições analógica e semi-analítica consistem basicamente da centragem das fotografias, fazendo coincidir as marcas fiduciais dos diapositivos com as dos porta-placas; do ajuste da distância focal dos projetores para aquela igual à da câmara fotogramétrica utilizada e da reconstrução dos feixes de raios luminosos através da iluminação dos porta-placas.

Na fotogrametria analítica o processo de orientação das fotografias deixou de ser feita pelos equipamentos óptico-mecânicos e passou a ser realizado matematicamente através de transformações de coordenadas. Isso só tornou-se possível a partir do advento dos computadores, que executam os complexos cálculos envolvidos nesses procedimentos. Apesar da restituição ser numérica a confecção dos mapas ainda é analógica devido ao fato do operador "desenha"-las seguindo o modelo estereoscópico. A Figura 2.3 apresenta um fluxograma com as etapas da restituição em um restituidor analítico.

Figura 2.3: Etapas de uma restituição analítica (ROSALEN, 1997).

A título de exemplo, a orientação interior nos restituidores analíticos é feita através de uma transformação afim, que é uma transformação linear que permite considerar as rotações, mudanças de escalas para os eixos X e Y (diferentes ou não), translação da origem e falta de ortogonalidade dos eixos. Nessa transformação determinam-se os parâmetros de transformação entre as coordenadas das marcas fiduciais da câmara medidas e as certificadas pela calibração.

Para a orientação relativa analítica eliminam-se as paralaxes na direção Y, em pelo menos 5 pontos convenientemente distribuídos na área das fotografias em que há sobreposição, através da resolução de equações que definem as rotações e translações necessárias para garantir a coplanaridade dos raios homólogos.

Com as orientações interior e relativa já efetuadas, procede-se à orientação absoluta analítica através de uma transformação conforme (ortogonal), onde são transformadas as coordenadas do modelo estereoscópico nas coordenadas do terreno, considerando-se os sete graus de liberdade possíveis,

a saber: três rotações, três translações e um fator de escala. Nessa orientação necessitam-se no mínimo de 3 (três) pontos de controle na região fotografada, com coordenadas conhecidas.

Já a fotogrametria digital utiliza-se dos mesmos princípios matemáticos empregados na analítica. A grande diferença, que revolucionou a fotogrametria e torna a digital potencialmente melhor que a analítica, é a forma como as imagens são armazenadas e a possibilidade de utilização do produto de várias maneiras diferentes.

Na fotogrametria digital, as imagens são numerizadas através de numerizadores ou digitalizadores ("scanners") e armazenadas em "mídias" (magnéticas ou óticas) compatíveis com os computadores. Dessa forma, as orientações podem ser feitas uma única vez, e as "fotografias" serem armazenadas já orientadas.

Os mapas gerados são digitais e permitem sua utilização em outros tipos de aplicativos computacionais, com cruzamento e superposição de informações, dando origem, por exemplo, a mapas temáticos.

As diferenças entre a fotogrametria digital e as outras tornaram-na popular, estendendo sua utilização a outras áreas além da mensuração tradicional, uma vez que não há mais necessidade de equipamentos sofisticados e técnicos extremamente treinados para executarem a orientação e a restituição; necessitam-se apenas as fotografias, um numerizador de boa qualidade (com baixa distorção e alta repetibilidade) e um computador provido de "softwares" específicos para essa tarefa.

2.3. FOTOGRAMETRIA DIGITAL

O primeiro sistema digital operacional surgiu apenas em 1980, porém a fotogrametria tornou-se definitivamente digital somente em 1994.

SILVA (1994) descreve a fotogrametria digital como a sistematização de alguns procedimentos para tratamento de imagens aplicados a imagens numéricas, com o objetivo de torná-las manipuláveis para a restituição fotogramétrica; em resumo é a substituição do hardware pelo software. Além disso, a fotogrametria digital foi muito além da restituição fotogramétrica e incorporou várias outras técnicas da própria fotogrametria, constituindo assim num verdadeiro sistema de multi-tarefas.

A principal característica que define a fotogrametria digital é a sua capacidade de utilizar imagens que são armazenadas em forma numérica, ou seja, armazenadas em um computador como elementos de figura (*pixel*), ao contrário de imagens em filmes, na forma de negativos, diapositivos ou em papel. As principais fontes produtoras de imagens são:

- numerizadores (*scanner*) de filmes em negativos, diapositivos ou em papel,
- sensores aeroespaciais – imagens de satélites (MSS, SPOT, etc.) ou
- sensores digitais (câmaras CCD, etc).

Segundo SILVA (1999), operacionalmente, a fotogrametria digital pode ser comparada à analítica, onde a principal diferença é o número de recursos, já que o modelo digital permite realizar uma série de funções impossíveis à fotogrametria analítica.

Ainda segundo esse autor, a precisão da fotogrametria digital depende de vários fatores a saber: escala da imagem, tamanho do pixel, qualidade da imagem (variações radiométricas), conteúdo da imagem (textura, contraste), visibilidade dos pontos de controle, relação base/altura de vôo, habilidade do operador para operações não automáticas, etc.

As vantagens de um sistema digital de imagens em relação aos sistemas analógicos e analíticos, são o acesso ao conteúdo radiométrico da imagem, tornando-se desnecessárias calibrações periódicas, o barateamento do custo de manutenção do sistema, o fim da necessidade de repetição da orientação interior, a substituição instantânea dos modelos durante as operações de

restituição, a inexistência de paralaxe entre a imagem e a marca flutuante, a sobreposição dos vetores restituídos sobre a imagem estereoscópica, o uso de blocos de imagens ao invés de simples modelos, a possibilidade de processamento em modo *batch* (grupo), as atualizações constantes e facilitadas, o menor custo/benefício, a redução da fadiga do operador, o ganho de tempo para outras tarefas e o aumento da produção.

As desvantagens de um sistema digital são o custo de um sistema completo ainda relativamente alto devido ao preço do numerizador (*scanner*), a exigência de sistemas computacionais de alta qualidade e grande capacidade de armazenamento de dados, a qualidade inferior da imagem em relação à do sistema convencional, a automação ainda limitada e, em alguns casos, a ocorrência de resistência por parte de operadores mais conservadores devido à necessidade de conhecimento de informática para operar o sistema.

Para AGUILA et alli (1999) a fotogrametria digital é o resultado dos recentes desenvolvimentos da eletrônica aliados à informática. Ainda segundo esse autor, a fotogrametria digital difere da analítica, pois engloba tanto a aquisição de dados com suas análises, e baseia-se totalmente em algoritmos matemáticos que controlam todo o processo. A ligação homem-máquina é reduzida, em função das aquisições e armazenamentos de dados.

Segundo HEIPKE (1995), o sistema fotogramétrico digital é definido como sendo um *hardware* e um *software* que permitem gerar dados para um sistema de informação geográfico (SIG), bem como para um sistema CAD (*Computer Aided Design*) e outros produtos fotogramétricos de imagens digitais utilizando técnicas manuais ou automáticas.

HEIPKE (1995) comparou o sistema de fotogrametria analítica e a digital e concluiu que o sistema digital deve fornecer benefícios econômicos maiores, a precisão e a qualidade do produto deve ser no mínimo igual, e a tendência do custo total do sistema digital é diminuir. Concluiu também que não só a fotogrametria como a cartografia tende a caminhar para o domínio digital.

SALEH (1996) na época acreditava que a fotogrametria e o processamento digital de imagens têm consideráveis vantagens quando comparados com as técnicas analógicas, contudo, parece que ainda não é possível aproveitar todas as vantagens dessas novas técnicas devido às limitações na "numerização" das imagens, que exigem capacidades de armazenamento excessivamente grandes.

Segundo ACKERMANN (1996), na avaliação da importância e desenvolvimento da fotogrametria digital deve-se distinguir vários aspectos e considerações de diferentes natureza, como por exemplo:

- o requisito mínimo é que a fotogrametria digital têm que fornecer um desempenho mínimo superior ao da fotogrametria analógica e analítica;
- o poder de novas tecnologias situa-se no prolongamento de conceitos tradicionais e na possibilidade de ir além do desempenho de técnicas já desenvolvidas. Na fotogrametria digital existe um grande campo a ser desenvolvido para a automação. Existem processos e produtos para os quais são apropriadas as particularidades da automação digital, por exemplo: dentro do espaço convencional da fotogrametria, estão a triangulação aérea automática digital, a geração automática de modelos de elevação digital por técnicas de correlação de imagens e as ortofotos digitais, para não citar as medidas e as orientações que podem ser automatizadas;
- o mapeamento digital e a extração de características de objetos de imagens digitais dependerão da intervenção humana ainda por um grande tempo. ACKERMANN (1996) lembra que todo equipamento, por mais sofisticado que possa ser, exige a necessidade da intervenção humana;
- a aceitação e transição para o sistema de fotogrametria digital na prática é decidida pela técnica e qualidade dos produtos automatizados.

2.3.1. RESTITUIDORES DIGITAIS

Os restituidores utilizam imagens fotográficas numéricas, obtidas através da digitalização. O processo de orientação é analítico, no entanto um restituidor digital permite outras tarefas, todas executáveis através de programas computacionais.

Segundo SILVA (1999), a qualidade dos numerizadores (*scanners*) tem muita influência nos resultados da fotogrametria digital e, para que o trabalho tenha boa qualidade, os numerizadores têm que ter boa resolução, boa precisão radiométrica e boa precisão mecânica.

Esse autor ainda descreve quais requisitos devem ter os restituidores digitais para oferecerem vantagens em relação aos demais restituidores (analógico, analítico, etc.):

- Periféricos de entrada/saída para comunicação entre homem e máquina:
 - monitor de computador para a visualização das imagens;
 - mesa de desenho (*plotter*);
 - impressora gráfica;
 - sistema para numerização das imagens;
 - sistema ótico para visão estereoscópica;
 - sistema para movimentação das imagens e da marca flutuante.
- *Hardware* para controle do sistema;
 - unidade central composta de um computador e de processadores do tipo "*array processor*" ou "*transputer*";
 - unidade de armazenagem de informações do tipo unidades de disco rígido, fitas magnéticas ou discos óticos.

- *Softwares aplicativos:*
 - módulos para aquisição das imagens;
 - módulos para orientação do modelo;
 - módulos para aquisição de dados;
 - módulos para a manipulação dos dados;
 - aplicativos periféricos.

A Figura 2.4 mostra, esquematicamente, a configuração de um restituidor digital.

Figura 2.4: Esquema da configuração geral de um restituidor digital (SILVA, 1994).

2.3.2. NUMERIZADORES (SCANNERS)

Como já citado anteriormente, a qualidade da restituição fotogramétrica digital está intimamente ligada à qualidade do numerizador (alta resolução, alta precisão radiométrica, baixa distorção e alta repetibilidade) utilizado no processo de transformação da imagem analógica em digital.

Os numerizadores podem ser classificados segundo o sistema de movimentação dos sensores, em função do arranjo dos sensores, pelo tipo de iluminação e ainda pelo tipo de utilização.

Segundo o sistema de movimentação dos sensores, os numerizadores podem ser de mão, de mesa, de tambor ou de rolo. O arranjo dos sensores podem ser simples, em linha ou em matriz. Já os sistemas de iluminação podem ser diretos ou difusos. Finalmente, de acordo com o propósito de uso, os numerizadores podem ser de mão, DTP (*DeskTop Publishing*), de grande formato e fotogramétricos.

No processo de numerização de imagens existe a possibilidade de que existam algumas distorções da imagem numerizada em relação à original, daí a importância de avaliar-se o grau de confiança que esta imagem oferece. Para tanto, existem métodos de calibração dos instrumentos de numerização que, fundamentalmente, trilham os seguintes passos:

- numeriza-se uma grelha de calibração com coordenadas previamente conhecidas (coordenadas calibradas ou de controle);
- medem-se as coordenadas da grelha digitalizada;
- aplica-se uma transformação de coordenadas entre os dois sistemas (grelha gráfica e grelha digital), obtendo-se os parâmetros de transformação entre os dois sistemas,
- aplicam-se os parâmetros de transformação na imagem fotográfica digitalizada, corrigindo assim as distorções geradas pelo numerizador.

Maiores detalhes acerca de numerizadores e de suas calibrações podem ser encontrados em ROSALEN (1997).

3. FOTOGRAMETRIA DIGITAL TERRESTRE

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A partir do desenvolvimento dos computadores e dos equipamentos de captação de imagens deverá haver um aumento na utilização da fotogrametria para outras finalidades além da construção de plantas e mapas topográficos.

Segundo CINTRA (1990), a elaboração de mapas, plantas topográficas e fotografias, construídas por técnicas fotogramétricas e topográficas continuam sendo pontos de partida para a realização de projetos utilizados principalmente na engenharia civil, como entre outras. Esse autor ainda sugere que a análise de defeitos na superfície de pavimentos utilizando técnicas fotogramétricas, para então posteriormente gerar sistemas de registros dos defeitos, podem servir para projetos de restauração e manutenção de rodovias e vias urbanas.

Pode-se, basicamente, subdividir as aplicações da fotogrametria terrestre naquelas que utilizam imagens estáticas e as que utilizam imagens captadas em movimento. Normalmente as que trabalham com imagens estáticas visam levantamentos quantitativos, trabalhando com imagens de alta definição. Por outro lado, as que utilizam imagens captadas em movimento visam avaliações qualitativas, utilizando geralmente imagens obtidas de câmaras de vídeo, de baixa resolução, e tratando estatisticamente os resultados a fim de detectar a presença ou não de determinada ocorrência e/ou sua incidência no “universo” amostrado.

HAAS & HUDSON et alli (1994) citam que vários organismos coletam dados de desgaste de pavimentos trafegando com veículos munidos de equipamentos especiais fotogramétricos (câmara fotográfica, computador a bordo, filmadora e etc) ao longo das seções previamente marcadas (geralmente sobre o acostamento) e, nessa linha, pode-se citar o trabalho descrito por BAKER et alli (1987) que contem a preocupação do *Idaho Transportation Departament* em desenvolver um sistema de baixo custo para avaliar as rodovias estaduais. Exemplos da aplicação da fotogrametria para imagens obtidas em movimento

estão se tornando freqüentes na literatura a medida que surgem autores preocupados em desenvolver algoritmos automáticos para a identificação de padrões em imagens, tais como os trabalhos de, CHAKRAVARTHY et alli (1992 e 1993), ACOSTA et alli (1992 e 1995), CHIA PEI et alli(1996) entre muitos outros.

A disseminação da fotogrametria terrestre é relativamente recente e os exemplos da aplicação para imagens obtidas estaticamente ainda são algo escassos. Boa parte das aplicações têm sido feita na área da arquitetura com a finalidade de preservar a memória contida em monumentos de grande interesse arquitetônico. A seguir serão apresentados alguns exemplos encontrados na literatura de aplicação da fotogrametria terrestre que fazem uso de imagens adquiridas estaticamente, uma vez que a aplicação proposta neste trabalho tem por objetivo justamente testar a possibilidade de utilização dessa técnica para o registro e avaliação de defeitos superficiais em pavimentos.

3.2 EXEMPLOS DE ALGUMAS APLICAÇÕES

MARKKU (1997) restituiu a fachada de uma residência utilizando o método de ajustamento por modelos independentes (*Bundle Block Adjustment*, BBA) e também um software específico para esta tarefa, o DVP- *Digital Video Plotter*, com a finalidade de comparar os seus resultados.

O teste foi realizado com uma câmara calibrada e seis pontos de controle (alvos) foram usados na fachada da residência, com coordenadas previamente conhecidas. Foram escolhidos na fachada os seguintes pontos julgados importantes para a realização das medidas: seção de concreto do pavimento térreo; seções rebocadas de outros pavimentos; pontos de cantos de janelas; canalização de água de chuva, calhas e telhados; etc.

As imagens foram feitas utilizando-se uma câmara Canon ION RC-560, que não fornece marcas fiduciais e, portanto, foram então utilizadas marcas artificiais nos cantos das fotografias.

A comparação dos resultados fornecidos pelo BBA e DVP foi feita usando pontos de coordenadas conhecidas, computando-se os erros. Esses erros foram computados separadamente, no plano da fachada e na direção perpendicular. A média dos erros foi calculada usando o valor absoluto dos erros e os desvios obtidos do método dos mínimos quadrados. Os resultados estão apresentados no quadro 2.2 (médias e desvios) e na Figura 2.5, que mostra a freqüência de distribuição dos erros para os dois procedimentos nas duas direções.

Quadro 2.2: Comparação dos erros e das médias obtidos pelo DVP e BBA, segundo MARKKU (1997).

	<i>DVP</i>		<i>BBA</i>	
	Plano	Altura	Plano	Altura
Média (m)	0.012	0.023	0.010	0.024
RMSE (m)	0.016	0.030	0.013	0.030

Figura 2.5. Freqüência de distribuição de erros para o DVP e o BBA, no plano da fachada e na direção perpendicular (MARKKU, 1997).

MARKKU (1997) concluiu que o DVP também é um programa útil para levantamentos de fachadas, com imagens adquiridas por fotografias com câmaras terrestres e que as medidas podem ser satisfatoriamente realizadas por um computador pessoal, enquanto que o BBA necessita de programas separados para medidas de coordenadas nas imagens, para computação e edição de dados.

GARDIOL et alli (1999) utilizaram técnicas fotogramétricas de baixo custo para o estudo de um monumento histórico em uma fazenda da Argentina. O objetivo foi documentar o estado do monumento, para comparação em futuros levantamentos de controle, utilizando um método simples e rápido que não contivesse os inconvenientes dos métodos tradicionais para a obtenção dos dados geométricos de interesse.

No estudo foi utilizada uma câmara digital da marca *Polaroid*, modelo PDC-2000, com resolução de 1.600 x 1.200 *pixels*, tendo sido feitas três fotografias por fachada, com a fotografia principal realizada a um ângulo o mais próximo possível de 90° em relação à fachada. Durante as restituições os autores encontraram algumas dificuldades devido ao planejamento das tomadas fotográficas e recomendam que deve-se analisar as características das imediações do objeto a ser fotografado, identificando as sombras originadas por diferentes elementos em função do horário, pois influenciarão na localização das câmaras fotográficas, no horário das tomadas e na visibilidade dos pontos de controle. Ressaltam ainda a importância da resolução da câmara na qualidade das fotografias e a importância da localização dos pontos notáveis da construção, uma vez que a quantidade dos pontos de controle depende das características da construção e do nível de detalhes a ser levantado, ressaltando que esses pontos têm influência crucial na qualidade das coordenadas restituídas.

GARDIOL et alli (1999) concluíram que a fotogrametria terrestre é a ferramenta atual mais adequada para o registro de monumentos arquitetônicos históricos e que os avanços tecnológicos atuais em *hardware* e *software* permitem a

documentação e armazenamento das imagens, que podem ser então trabalhadas a qualquer tempo, sem perda de qualidade.

BORGES (1999) defende que a aplicação de técnicas fotogramétricas na documentação de edifícios e cidades históricas, para fins de restauração e preservação de monumentos históricos, deve ser difundida para que não fique restrita às áreas de pesquisa e/ou no ensino e passe a ser utilizada efetivamente por arquitetos, planejadores urbanos, restauradores e historiadores.

Segundo o autor, as dificuldades para a realização de um projeto de revitalização e/ou de restauração começam, geralmente, com a inexistência de documentação ou com a imprecisão das plantas existentes ou ainda com os seus estados de conservação. As plantas originais, muitas vezes, não representam adequadamente o que foi construído e, com frequência, os edifícios sofreram modificações, ao longo dos anos, não registradas nas plantas.

BORGES (1999) ressalta ainda que a melhor característica de um levantamento fotogramétrico está no tempo exigido para a realização de um levantamento arquitetônico que apresente todas as vantagens oferecidas pela fotogrametria digital, tais como o baixo custo de execução, a possibilidade de imediata utilização do produto final, a grande quantidade de informação obtidas, a não existência de dificuldades de acesso ao objeto a ser levantado e da precisão confiável e homogênea, passível de ser estabelecida a priori. Além de todas estas vantagens, com o levantamento fotogramétrico obtém-se um número excepcional de fotografias do objeto, que registram sem subjetividade as características marcantes que o fazem pertencer à categoria especial de historicidade.

GOMES et alli (1999), assim como o autor citado anteriormente (BORGES, 1999), afirma que deve haver uma maior disseminação dos métodos de baixo custo para registrar, resgatar e cultivar a história dos edifícios e construções no

Brasil, assim como já é prática, segundo o autor, em países mais desenvolvidos.

Esses autores aplicaram um método de restituição de construções proposto pelo Prof. Peter Waldhäusl, da *University of Technology* de Viena, que reduz os custos e o tempo necessários para a obtenção dos modelos se comparado aos tradicionais. O método, batizado de regra 3x3, baseia-se, segundo Gomes et alli (1999), em três regras geométricas, três regras fotográficas e três regras organizacionais. Resumindo, as principais características dessa técnica são o uso de câmaras não métricas; as fotografias são feitas com a câmara em posição ortogonal à fachada, espaçadas de uma distância denominada base; não há necessidade de determinação de pontos de controle para a interseção das fotografias; são definidos planos e linhas horizontais e verticais no objeto e medem-se distâncias entre pontos notáveis no objeto para determinar a escala na restituição.

GOMES et alli (1999) descrevem uma aplicação desse método para a restituição da fachada de uma casa que pertenceu à Imperatriz Dona Amélia de *Leuchtemberg*, esposa de Dom Pedro I. Para o experimento foi utilizada uma câmara fotográfica não métrica, marca *Mamiya*, modelo RB 67 ProS, equipada com lente *SeKKor* de distância focal de 50 mm, abertura de 1:4,5 e negativos com dimensões de 56 x 68 mm (6 x 7). Como essa câmara fotográfica não imprimia as marcas fiduciais, os cantos dos negativos foram considerados como as marcas e também foram colocados alvos circulares com diâmetro de 7,5 cm na fachada e as distâncias entre eles foram medidas.

Após a confecção da ortofoto dos negativos no *Institute of Photogrametry and Remote Sensing of the Vienna University of Technology*, foram feitas as medidas das coordenadas na fachada com auxílio de um restituidor analítico *Wild*, modelo *Aviolyt BC-2*, utilizado no modo monocomparador. Posteriormente os negativos foram numerizados com um *scanner* marca *Sharp*, modelo *JX 610*, com uma lâmpada especial para negativos, com resolução de 600 *dpi*'s e os mesmos pontos foram restituídos com a utilização do "restituidor" DVP (*Digital Video Plotter*, da *LEICA*).

Os autores afirmam que os resultados apresentaram erros médios quadráticos da ordem de centésimos de milímetros, que são da mesma grandeza dos obtidos através dos métodos de levantamento convencionais normalmente aplicados na fotogrametria de arquitetura. Concluem que o processo proposto é simples, rápido e mais barato que os tradicionais e ainda que é uma ferramenta auxiliar na restauração de edifícios e na produção de documentos para arquivos históricos.

Dentre as vantagens, GOMES et alli (1999) ressaltam que a fotogrametria digital também permite a reconstituição da forma original; os erros são compatíveis com as necessidades exigidas na arquitetura; não há necessidade da restituição imediata, podendo os negativos serem armazenados para estudos futuros e ainda pode-se “gerar” negativos e positivos digitais que são facilmente armazenados e transportados.

STRELEIN (1999) descreve a construção de um conjunto de dados de referência, feito a partir de fotografias do prédio Prefeitura da cidade de *Zurich*, Suíça, que está disponível, para eventuais interessados em restituição fotogramétrica de construções, no site <http://cipa/uibk.ac.at>. Para a confecção das fotografias foram utilizadas duas câmaras fotográficas digitais métricas: uma marca *Fuji*, modelo *DS 300*, com resolução de 1280 x 1000 *pixels* e outra marca *Olympus*, modelo *C 1400L*, com resolução de 1280 x 1024 *pixels*. O sistema de coordenadas foi estabelecido por intermédio de pontos de referência na fachada, cujas coordenadas foram medidas através de um levantamento por método geodésico utilizando um teodolito eletrônico *LEICA*, modelo *TC 3000*.

Nesse trabalho não há conclusões mas sim convites para que outros pesquisadores discutam e participem das pesquisas. O autor afirma ainda que a fotogrametria aplicada à arquitetura está passando por profundas alterações; que novas tecnologias para aquisição, processamento, estruturação e representação dos dados estão levando a novos sistemas de processamento e a um melhoramento dos resultados. Ainda segundo esse autor, a fotogrametria digital moderna na arquitetura está caracterizada pelos seguintes

componentes: aquisição de imagens digitais por câmaras ou por numerização de fotografias; processos semi automatizados para medidas e processamento através de programação orientada a objeto, aplicações de técnicas modernas para visualização e animação dos resultados e administração de dados em "sistemas de informação de monumentos" (MIS).

PEIPE (1999) discute o uso de câmaras digitais de alta resolução na fotogrametria aplicada à arquitetura. Ele cita que as imagens digitais podem ser obtidas pela conversão de fotografias analógicas feitas com câmaras convencionais ou pela aquisição direta usando câmaras CCD de alta resolução. Segundo esse autor, a maior limitação das câmaras digitais em relação às convencionais é a resolução e principais desvantagens são: menor capacidade de armazenamento, condensação automática nos dados das imagens, estabilidade insuficiente na orientação interior (devido ao foco automático e *zoom* das lentes, etc). Como vantagens ele cita que pode-se encontrar câmaras digitais com preços acessíveis e de fácil manuseio para utilização na fotogrametria aplicada à arquitetura para fins de restituição, restauração de construções e etc.

PEIPE (1999) compara ainda as câmaras digitais de alta resolução com as de baixa resolução e destaca que as de alta resolução demandam alta capacidade de armazenamento interno, assim como exigem essa mesma característica do computador utilizado para o manuseio das imagens; permitem um melhor reconhecimento e interpretação do objeto fotografado; proporcionam restituições mais precisas e são, conseqüentemente, mais caras.

Esse autor fez um experimento em Munique em uma fachada de uma construção comparando vários tipos de câmaras fotográficas. Foram utilizadas duas convencionais (analógicas, uma *Rolleiflex* SLX e uma *Leica* R5) e três digitais (*Kodaks* DCS 200 e DCS 460 e uma "eyelike"). As imagens das câmaras convencionais foram medidas em restituidor analítico e os resultados provenientes da câmara *Rolleiflex* foram considerados como padrão. As imagens das câmaras convencionais como as imagens digitais (das câmaras

digitais) também foram digitalizadas por meio de um numerizador e foram medidas numa Estação Fotogramétrica Digital *DPA-WIN*.

O autor comparou os resultados das várias combinações de câmaras e resoluções e concluiu que tanto a câmara convencional *Leica* (analógico e digitalizado) como as digitais *Kodak DCS 460* e "*eyelike*" utilizada com baixa resolução (2048 x 2048 *pixels*) apresentam a mesma ordem de grandeza de precisão (entre 2,0 e 4,0 mm para coordenadas no plano e 2,5 mm para a profundidade) e que para resoluções maiores na "*eyelike*" (2048 x 2048 e 6144 x 6144 *pixels*), os resultados apresentam uma melhora na precisão da ordem de 10 a 15%.

HASEGAWA et alli (1999) descrevem um levantamento arqueológico realizado às margens do rio Paraná, na divisa entre os estados de São Paulo e Mato Grosso, utilizando técnicas fotogramétricas, com a intenção de localizar, em três dimensões, os achados arqueológicos.

Foram realizados registros fotográficos para a montagem de um mosaico, para localização dos pontos nas áreas de interesse, assim como da área de decapagem do sítio arqueológico.

O processo fotogramétrico teve três etapas: registro das imagens, processamento das informações e representação. Na aquisição de imagens, foram utilizadas câmaras digitais por maior facilidade de automação e produção de mapas. A vantagem da utilização das câmaras digitais é a possibilidade de verificação do local registrado em tempo quase real. As fotografias para registro do terreno foram feitas com auxílio de uma estrutura metálica regulável com três metros de altura, que possibilitou fotografar as quadrículas (apoio para determinar as coordenadas). A Figura 4.6 mostra o equipamento de campo utilizado pelos autores para registro e estudo do sítio arqueológico.

HASEGAWA et alli (1999) concluem que a utilização da fotogrametria na arqueologia possibilita a representação de todas as ocorrências de uma forma

global, permitindo a integração com programas de Sistemas de Informação Geográfica - SIG, auxiliando e simplificando o trabalho de reconstituição arqueológica.

Figura 12. Sistema de tomada fotográfica com o uso do tripé

Figura 2.6: Equipamento utilizado por HASEGAWA et alli (1999) para a realização das fotografias no estudo arqueológico.

CAPÍTULO 3

EQUIPAMENTOS E MÉTODOS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Durante o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados alguns equipamentos para registro das fotografias no campo e programas de computador para seu processamento, durante as fases de numerização, da elaboração dos modelos tridimensionais e restituição fotogramétrica. A seguir estão descritos os principais equipamentos e procedimentos utilizados na pesquisa, assim como os *softwares* e exemplos de telas encontradas durante seu uso.

3.2 EQUIPAMENTOS E *SOFTWARES*

3.2.1 DE CAMPO

No registro dos defeitos em campo foram utilizadas duas câmaras fotográficas, uma convencional e uma digital, além de outros equipamentos simples de apoio, tais como tripés, barra para fixação das câmaras e régua de referência. A seguir são descritos esses equipamentos.

A máquina fotográfica convencional utilizada foi uma Canon, modelo AE-1 *Program*, munida de uma lente com distância focal de 28 mm e abertura 2,8.

Para as fotografias foram utilizados filmes negativos comuns com abertura de 100 ASA; com a câmara ajustada no modo *Program* ou seja, no modo automático para escolha da abertura em função da luminosidade ambiente.

Já a câmara digital foi uma *Kodak*, modelo DC-50, com lente *zoom* de distância focal variável entre 37 e 105 mm. Esta câmara foi utilizada com a lente *zoom* ajustada para a distância focal mínima (37 mm) e as imagens digitais obtidas foram armazenadas em cartão tipo PCMCIA com 2 *megabytes* de memória tipo *flash* com capacidade para armazenamento de até 27 fotografias na maior resolução (768 x 504 *pixels*) e posteriormente transferidas para o computador através de cabo e *software* apropriados que são fornecidos com o equipamento (*PhotoEnhancer for Kodak* 2.1, 1994-1995)

Na execução das tomadas fotográficas foi utilizado um gabarito metálico graduado, fabricado no laboratório de estradas do STT, cuja finalidade foi fornecer a cota de referência e também os pontos de controle utilizados durante o processo de orientação dos pares estereoscópicos, para posterior restituição. Na figura 3.1 é apresentado um croquis desse gabarito, assim como suas principais dimensões.

Figura 3.1: Gabarito de metal, com os pontos de controle e principais dimensões.

Esse gabarito é ainda dotado de um nível de bolha e assenta-se sobre o terreno através de três parafusos reguláveis que permitem seu nivelamento. No quadro 3.1 são apresentadas as coordenadas dos pontos de referência posicionados no gabarito metálico. O valor da coordenada “z” foi arbitrado como sendo igual a 100,00, uma vez que esse gabarito foi nivelado todas as vezes que se procedeu às fotografias e que essa cota seria utilizada como cota de referência, não tendo influência seu valor em si.

Quadro 3.1: Coordenadas dos pontos de referência do gabarito metálico.

Ponto	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	1,00	1,25	100,00
2	1,00	1,50	100,00
3	1,00	1,75	100,00
4	1,25	1,00	100,00
5	1,50	1,00	100,00
6	1,75	1,00	100,00

Durante as tomadas fotográficas também foi utilizado um dispositivo para a fixação da câmaras fotográficas, composto de uma barra retangular de alumínio e tripés, que permite fixar a distância do equipamento fotográfico até o solo e que também define a distância de deslocamento do equipamento fotográfico para fazer a segunda fotografia com o recobrimento exigido para a restituição. Utilizou-se um disparador à distância para não comprometer a qualidade da fotografia obtida. Após a realização da primeira fotografia de cada par, a câmara foi deslocada na barra de apoio de uma distância de 35 cm para ser feita a segunda fotografia, propiciando o efeito estereoscópico desejado. Na figura 3.2 é apresentado um croquis desse dispositivo, assim como das principais medidas utilizadas durante as tomadas fotográficas.

Figura 3.2: Régua metálica e tripés utilizados para fixação das câmaras fotográficas e definição da altura (Y) e distância de base (B).

3.2.2 DE LABORATÓRIO

No laboratório, após as fotografias já realizadas, foram utilizados os seguintes equipamentos e programas de computador para a restituição dos objetos fotografados:

- numerizador de mesa (*scanner*), da marca *Umax*, modelo UC-1260, com resolução ótica de 600x600 *dpi's* (*dots per inch*) e resolução máxima de 9600 *dpi's* por interpolação, munido de adaptador para *slides*;
- computador pessoal padrão *Intel Pentium MMX*, 100MHz de velocidade de *clock*, com 32 *megabytes* de memória e disco de 2 *gigabytes*;
- softwares utilizados para numerização das imagens (no caso das convencionais) o *Photo Editor* da *Microsoft Corporation*, versão 3.0 de 1997, e para a restituição das imagens o *DVP, Digital Video Plotter* da *Geomatic Systems Inc.*, versão 4.326 de 1997 e para obtenção de curvas de nível e seções transversais o *Softdesk* da *Autodesk Inc.*, versão 4.0 de 1996.

3.3 PROCEDIMENTOS

3.3.1 NUMERIZAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS

As fotografias obtidas a partir da câmara digital não necessitaram de numerização uma vez que já são geradas no formato digital, bastando transferi-las para o computador para utilizá-las posteriormente. Já as fotografias obtidas com a câmara convencional foram submetidas ao seguinte procedimento:

- realizadas as fotografias, o filme foi mandado para laboratório especializado para revelação dos negativos e cópia em papel;
- após análise visual dos positivos (em papel) e escolha dos mais apropriados em termos de luminosidade, nitidez e detalhes, os negativos escolhidos foram numerizados duas vezes, aos pares, no numerizador *Umax UC-1200*, com resoluções de 600 e 1200 *dpi's* e as imagens foram tratadas com o próprio *software* para torná-las positivas;
- feita a numerização, os arquivos contendo as fotografias foram transferidos e armazenados no computador onde então foi realizada a orientação e restituição fotogramétrica.

3.3.2 MARCAS FIDUCIAIS

Considerando-se que o *software* utilizado nessa pesquisa (*Digital Video Plotter*, - *DVP*) exige marcas fiduciais nas fotografias para a orientação dos pares fotográficos e que as câmaras utilizadas não realizam a impressão dessas marcas durante as tomadas fotográficas e não são calibradas (pois não são câmaras métricas), optou-se por fazê-las artificialmente após as fotografias terem sido realizadas.

Para tanto, imprimiu-se nas bordas das fotografias as marcas fiduciais artificiais utilizando-se um *software* gráfico. Essas marcas foram feitas imprimindo-se

cruzes brancas próximas dos quatro vértices das fotografias, distantes destes de 18 *pixels*, tanto na direção horizontal como na vertical. Na figura 3.3 é apresentado, a título de exemplo, uma fotografia obtida com a câmara convencional com as respectivas dimensões em *pixels* e as marcas fiduciais artificiais impressas.

Figura 3.3: Exemplo de dimensões e marcas fiduciais de uma fotografia obtida com câmara convencional.

Tomando-se como exemplo a fotografia apresentada na figura 3.3 e sabendo-se que as dimensões da fotografia (negativo) são de 36 x 24 mm e que na numerização, em 600 *dpi's* por exemplo, obteve-se 850 x 567 *pixels* e ainda que as marcas fiduciais foram feitas a distâncias constantes e iguais a 18 *pixels* das bordas, calculou-se as coordenadas dessas marcas conforme ilustrado a seguir.

- distância das bordas na direção X = $((36 \times 18) / 850) = 0,76 \text{ mm}$

- distância das bordas na direção Y = $((24 \times 18) / 567) = 0,76 \text{ mm}$

3.3.3 ESCALAS E DIMENSÕES DOS PIXELS NAS IMAGENS

A partir do conhecimento da distância da objetiva das câmaras até os objetos fotografados e das distâncias focais das objetivas, determina-se as escalas das fotografias. No quadro 3.2 são apresentadas as escalas das fotografias.

Quadro 3.2: Escalas das fotografias utilizadas.

Câmara	Altura da fotografia (mm)	Distância Focal (mm)	Escala
Convencional	1600	28	1:57,14
Digital	1600	37	1:43,24

As imagens digitais, obtidas da numerização (no caso das fotografias convencionais) ou da câmara digital, têm quantidades diferentes de *pixels* em função da resolução do equipamento em que foram realizadas para representarem os objetos fotografados, assim sendo, em função do equipamento utilizado e/ou da resolução usada na numerização, cada pixel na imagem digital representa dimensões diferentes do objeto fotografado. No caso do presente estudo, as relações entre as dimensões dos pixels das fotografias numerizadas e a área por eles reproduzida são apresentadas quadro 3.3.

Quadro 3.3: Dimensões dos *pixels* em função do equipamento/resolução.

Câmara	Dimensões do <i>pixel</i> (mm)
Convencional numerizada em 600 <i>dpi's</i>	2,42
Convencional numerizada em 1200 <i>dpi's</i>	1,21
Digital	1,71

3.3.4 RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA

Após a geração das imagens digitais em arquivos de formato apropriado, elas foram tratadas no *software Digital Video Plotter, Geomatic Systems Inc.*, versão 4.326 de 1997, para proceder às orientações interior, relativa e absoluta. Na orientação interior utiliza-se a distância focal e as coordenadas dos pontos fiduciais, conforme já explicitado anteriormente, a fim de reconstruir o feixe de raios luminosos que deu origem à imagem. A figura 3.4 apresenta, a título de exemplo, uma tela do *software DVP* durante o processo de orientação interior.

Durante a fase da orientação absoluta utilizam-se pelo menos três pontos comuns às duas fotografias, cujas coordenadas são conhecidas, a fim de orientar o objeto no espaço em uma escala conhecida. A figura 3.6 apresenta, a título de exemplo, uma tela do *software* DVP durante o processo de orientação absoluta.

Figura 3.6: Exemplo da tela do *software* DVP durante a orientação absoluta.

Procedidas às orientações interior, relativa e absoluta, passa-se à fase de vetorização propriamente dita, onde vetorizam-se os pontos de interesse contidos nas fotografias e determinam-se suas coordenadas nas três dimensões.

O posicionamento dos pontos a restituir foi feito automaticamente pelo *software* DVP de maneira a gerar uma malha regular que cobrisse todo o defeito do pavimento analisado; para tanto, foram escolhidos apenas o ponto de origem e os espaçamentos nas direções horizontal (x) e vertical (y) para que a condição de cobertura fosse satisfeita e que a malha pudesse ser reproduzida nas restituições das outras fotografias do mesmo defeito, feitas com outras resoluções ou com outra câmara fotográfica. Esse procedimento tornou possível a comparação entre os resultados obtidos das diversas restituições efetuadas.

Após as fases de orientação e vetorização, os arquivos foram transferidos para o software *Softdesk*, da *Autodesk Inc.*, onde foi feita a triangulação e a interpolação dos pontos que permitem o traçado das curvas de nível e determinação de seções do objeto estudado. Na figura 3.7 é apresentada o resultado da triangulação com as curvas de nível geradas pelo *Softdesk* já desenhadas para a malha de pontos dada.

Figura 3.7: Exemplo de triangulação e interpolação feitos pelo *Softdesk*.

Na figura 3.8 é apresentada uma tela do *Softdesk* com as curvas de nível interpoladas, assim como dois cortes (horizontal e vertical) do objeto estudado, gerados a partir dos dados gerados no DVP.

Figura 3.8: Exemplo de curvas de nível e perfis feitos pelo *Softdesk*.

Cabe ressaltar que foi utilizado um recurso existente no software *DVP (Digital Video Plotter)* para o posicionamento automático dos pontos as serem vetorizados. Esse recurso estabelece a malha de pontos de forma padronizada, devendo-se apenas escolher o ponto de origem e as distâncias horizontal e vertical. Dessa forma, as coordenadas da origem da malha foram estabelecidas para um dos pares estereoscópicos e então essas coordenadas foram transferidas para outros dois pares (outras resoluções), possibilitando a geração de modelos baseados em pontos com mesma localização nas diversas imagens.

3.4 CASOS ESTUDADOS

Para testar a possibilidade de uso da fotogrametria terrestre, utilizando câmaras fotográficas comuns de pequeno formato, para o registro de defeitos superficiais em pavimentos, foram selecionados três tipos de "defeitos", a saber: trincas, afundamento de trilha de rodas e panela.

O objetivo dessa escolha foi realmente testar a possibilidade de uso dessa técnica com a finalidade de se avaliar, do ponto de vista morfológico, o objeto fotografado e além de possibilitar também o acompanhamento de sua "evolução" ao longo do tempo.

Os "defeitos" afundamento de trilha de rodas e panela desenvolvem-se em três dimensões, ou seja, além da área de ocorrência exibem também profundidade mensurável, podendo-se portanto acompanhar sua evolução, ao longo do tempo, tanto em termos de área de sua ocorrência quanto em relação à variação da profundidade. Já no caso das trincas, o intuito não foi medir sua profundidade e sim possibilitar a avaliação da área afetada e sua severidade em termos do padrão de trincamento. Deve-se ressaltar que esse defeito (trincas) não demanda técnica tão refinada quanto a aqui utilizada para o seu acompanhamento, uma vez que não há necessidade de se efetuarem medidas de profundidade.

Além dos “defeitos”, também foi utilizado um objeto com geometria conhecida, uma escada feita em madeira com degraus de tamanhos diferentes, a fim de avaliar a precisão das medidas obtidas das restituições fotogramétricas.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nesta pesquisa através da aplicação da fotogrametria com câmaras de pequeno formato com lente de distância focal reduzida para o registro de defeitos superficiais em pavimentos. Inicialmente apresenta-se a avaliação dos modos (câmara digital e negativos da câmara convencional numerizados em diferentes resoluções) utilizados para registro e digitalização de um objeto de geometria conhecida. Em seguida são apresentadas as restituições efetuadas em defeitos verdadeiros de pavimentos e os resultados de cada resolução testada são comparados entre si.

4.2 OBJETO DE GEOMETRIA CONHECIDA (ESCADA)

Foi escolhido como objeto com geometria conhecida uma escada confeccionada em madeira, com degraus horizontais e alturas diferentes, a fim de avaliar a resolução alcançada por cada método de registro ou numerização utilizado. Na figura 4.1 pode ser visualizada uma fotografia da escada utilizada para esse fim, juntamente com o gabarito de referência, além dos pontos a serem vetorizados na escada (4 pontos por degrau e vários no chão).

Figura 4.1: Escada utilizada para avaliar a precisão das restituições.

Na figura 4.2 é apresentado um croquis que contém as principais dimensões da escada utilizada.

Figura 4.2: Dimensões dos degraus da escada utilizada para avaliar a precisão das restituições.

O quadro 4.1 mostra as cotas dos degraus obtidas das vetorizações da escada a partir das imagens da câmara digital e da câmara convencional numerizadas

em 600 e 1200 *dpi's*. Nele são apresentadas quatro leituras de cota para cada degrau, além da cota média e a cota do chão (base). Foi adotada, para fins de cálculo, que a cota de referência (barra metálica nivelada) era igual a 100 m.

Quadro 4.1: Comparação das cotas dos degraus da escada obtidas para as diferentes imagens utilizadas.

		Digital cota (m)	Convencional 600 dpi's (m)	Convencional 1200 dpi's (m)
1º Degrau	1º Ponto	100,056	100,070	100,029
	2º Ponto	100,051	100,070	100,029
	3º Ponto	100,053	100,070	100,029
	4º Ponto	100,051	100,070	100,029
	Média	100,052	100,070	100,029
	Média – Base = altura do degrau (cm)	9,80	10,10	9,90
2º Degrau	1º Ponto	100,033	100,050	100,010
	2º Ponto	100,032	100,050	100,010
	3º Ponto	100,031	100,050	100,010
	4º Ponto	100,033	100,050	100,010
	Média	100,032	100,050	100,010
	Média – Base = altura do degrau (cm)	7,80	8,10	8,00
3º Degrau	1º Ponto	100,023	100,038	100,001
	2º Ponto	100,023	100,039	100,001
	3º Ponto	100,021	100,040	100,001
	4º Ponto	100,021	100,040	100,001
	Média	100,022	100,039	100,001
	Média – Base = altura do degrau (cm)	6,80	7,00	7,10
4º Degrau	1º Ponto	99,993	100,010	99,969
	2º Ponto	99,993	100,010	99,970
	3º Ponto	99,993	100,010	99,969
	4º Ponto	99,993	100,010	99,970
	Média	99,993	100,010	99,969
	Média – Base = altura do degrau (cm)	3,90	4,10	3,90
Base (Chão)		99,954	99,969	99,930

Com os resultados apresentados no quadro 4.1 foram calculadas as alturas dos degraus da escada, assim como os erros relativos, expressos em porcentagem, para cada tipo de imagem utilizada no processo de restituição.

Esses resultados são apresentados no quadro 4.2.

Quadro 4.2: Alturas dos degraus da escada em função da imagem utilizada.

	Altura real (cm)	Fotografia digital		Fotografia convencional 600 dpi's		Fotografia convencional 1200 dpi's	
		Altura (cm)	Erro Relativo (%)	Altura (cm)	Erro Relativo (%)	Altura (cm)	Erro Relativo (%)
1º Degrau	2.00	2.05	2.50	2.00	0.00	1.90	5.00
2º Degrau	1.00	1.025	2.50	1.075	7.50	0.95	5.00
3º Degrau	3.00	2.90	3.33	2.925	2.50	3.10	3.30
4º Degrau	4.00	3.90	2.50	4.10	2.50	3.95	1.25

Observando-se os resultados apresentados no quadro 4.2, pode-se concluir que tanto as fotografias da câmara digital quanto as da convencional, numerizadas em 600 ou 1200 *dpi's*, produzem resultados muito parecidos. Do ponto de vista de erro, o maior foi o obtido para a imagem produzida pela câmara convencional numerizada em 600 *dpi's*. De uma maneira geral, os resultados produzidos pela imagem da câmara digital foram melhores que os da convencional, apresentando erro médio (2,707%) inferior aos da convencional (3,125 e 3,645%, respectivamente, para 600 e 1200 *dpi's*).

Acredita-se que essa melhor qualidade deva-se ao fato da imagem originalmente digital ser muito mais nítida, uma vez que ela não passa pelo processo de numerização como as outras obtidas com a câmara convencional, que tiveram os negativos numerizados, com algum prejuízo da qualidade da imagem original em termos de contraste, brilho e fidelidade de cores. Deve-se ainda ressaltar que foi utilizado, deliberadamente, um *scanner* (de uso doméstico) não apropriado para esse tipo de trabalho, o que certamente compromete muito a qualidade do produto obtido.

4.3 DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO.

Serão apresentados e discutidos neste item resultados dos perfis e curvas de nível observados pela vetorização feitos nos defeitos da superfície de pavimento, que foram estudados nesta pesquisa (afundamento de trilha de rodas, panela e trincas), que foram registradas pelas câmaras convencional com resolução de 600 e 1200 dpi's e pela câmara digital, onde as figuras apresentadas resultantes, são produtos do *software Softdesk*.

4.3.1 AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODAS

Para esse teste foi fotografado um defeito do tipo afundamento de trilha de roda, com as três resoluções propostas, e os resultados das restituições são apresentados a seguir, na forma de tabelas que contêm as fotografias do defeito, a título de exemplo, e as curvas de nível, assim como os cortes nas direções longitudinal e transversal.

A figura 4.3 mostra a imagem do afundamento de trilha de rodas e as respectivas curvas de nível obtidas nas diversas resoluções. Observando-se os três conjuntos de curvas de nível presentes nessa figura nota-se que suas morfologias são semelhantes.

A partir das curvas de nível foram feitos cortes ou seções do defeito fotografado, tanto na direção longitudinal quanto na transversal. Cabe lembrar que tanto as curvas de nível quanto as seções foram feitas a partir de uma malha de pontos locada automaticamente sobre o defeito, de tal forma que os pontos restituídos fossem os mesmos e tornassem possível a comparação dos resultados.

Figura 4.3: Afundamento de trilha de rodas e curvas de nível (câmaras digital e convencional).

A figura 4.4 apresenta as seções longitudinais do afundamento de trilha de rodas. Os perfis apresentados nessa figura mostram que a diferença de nível existente na porção fotografada do pavimento é de, aproximadamente, 0,5 cm em 75 cm de extensão de pavimento. Para a câmara digital, a diferença de nível medida foi de 0.6 cm, enquanto que para as imagens convencionais numerizadas em 600 e 1200 *dpi's* foram de, respectivamente, 0.5 cm e 0.6 cm.

Figura 4.4: Seções longitudinais do afundamento de trilha de rodas (câmaras digital e convencional).

A figura 4.5 mostra as seções transversais do afundamento de trilha de rodas. A diferença de nível ou afundamento de trilha de roda medida nos perfis é da ordem de 0,6 cm, com uma largura de, aproximadamente, 55 cm. Para a imagem da câmara digital mediu-se um afundamento de 0,5 cm e para as imagens da câmara convencional foram medidos afundamentos de 0,6 cm e de 0,6 cm, respectivamente para 600 e 1200 dpi's. Quando da campanha fotográfica, esse afundamento foi medido pelo método da treliça metálica, (DNER PRO 08/87) e o valor encontrado foi de 0,6 cm, mostrando que os valores medido e determinados pelas restituições fotogramétricas são semelhantes.

Figura 4.5: Seções transversais do afundamento de trilha de rodas (câmaras digital e convencional).

4.3.2 PANELAS

Para testar a técnica nesse tipo de defeito foram fotografadas duas panelas. Da mesma forma que para o defeito anterior, as panelas foram restituídas e foram traçadas as curvas de nível e perfis transversal e longitudinal.

A figura 4.6 mostra a imagem da primeira panela, com as curvas de nível, espaçadas de um em um centímetro, obtidas para as câmaras digital e convencional nas resoluções de 600 e 1200 dpi's.

Observando-se as curvas de nível apresentadas nessa figura nota-se que há semelhança entre elas, tanto do ponto de vista de localização quanto morfológico.

Figura 4.6: Primeira panela e curvas de nível (câmaras digital e convencional).

Na figura 4.7 são apresentadas as seções longitudinais da primeira "panela", assim como a direção em que a seção foi feita em relação à fotografia. A partir das seções apresentadas nessa figura mediram-se as profundidades máximas e os resultados são apresentados no quadro 4.3, juntamente com a profundidade real medida no campo quando da execução das fotografias.

Figura 4.7: Seções longitudinais da primeira panela (câmaras digital e convencional).

Quadro 4.3: Profundidades máximas e extensão da primeira panela, no sentido longitudinal.

Profundidades x Extensões(cm)			
Real	Câmara		
	Digital	Convencional - 600 dpi's	Convencional - 1200 dpi's
4,3 x 58	4,2 x 60	4,6 x 58	5,0 x 58

A figura 4.8 mostra a imagem da primeira panela, com as seções na direção transversal.

Figura 4.8: Seções transversais da primeira panela (câmaras digital e convencional).

Quadro 4.4: Profundidades máximas e extensão da primeira panela, no sentido transversal.

Profundidades e Extensões (cm)			
Real	Câmara		
	Digital	Convencional - 600 dpi's	Convencional - 1200 dpi's
4,3 x 62	4,2 x 60	4,3 x 60	5,0 x 60

Observando-se as figuras 4.7 e 4.8 percebe-se que as formas das seções, tanto na direção longitudinal quanto na transversal, não são muito diferentes entre si, a menos de pequenos detalhes ou de seu posicionamento relativo no gráfico. Já em relação às profundidades máximas, observando-se os valores apresentados nos quadros 4.3 e 4.4 nota-se, novamente, que a imagem da câmara digital fornece resultados mais próximos aos reais medidos no campo.

A figura 4.9 mostra a imagem da segunda panela, com as curvas de nível, também espaçadas de um em um centímetro, obtidas para imagens das câmaras digital e convencional nas resoluções de 600 e 1200 *dpi's*.

Figura 4.9: Segunda panela e curvas de nível (câmaras digital e convencional).

Observando-se os conjuntos de curvas de nível apresentados nessa figura percebe-se a semelhança das três imagens obtidas, em termos dos espaçamentos e das formas.

As seções longitudinais da segunda “panela” são apresentadas na figura 4.10, assim como a direção das seções em relação à fotografia. A partir das seções foram medidas as profundidades máximas e os resultados são apresentados no quadro 4.5, juntamente com a medida real de campo, obtida quando da execução das fotografias.

Figura 4.10: Seções longitudinais da segunda panela (câmaras digital e convencional).

Quadro 4.5: Profundidades máximas e extensão da segunda panela, no sentido longitudinal.

Profundidades x Extensões(cm)			
Real	Câmara		
	Digital	Convencional - 600 dpi's	Convencional - 1200 dpi's
5,2 x 75	5,1 x 75	5,5 x 74	5,4 x 75

A figura 4.11 mostra a imagem da segunda panela, com o traçado das seções transversais para as três imagens utilizadas (câmara digital e convencional em 600 e 1200 *dpi's*).

Figura 4.11: Seções transversais da segunda panela (câmaras digital e convencional).

Quadro 4.6: Profundidades máximas e extensão da segunda panela, no sentido transversal.

Profundidades e Extensões (cm)			
Real	Câmara		
	Digital	Convencional - 600 <i>dpi's</i>	Convencional - 1200 <i>dpi's</i>
5,2 x 60	5,5 x 60	5,4 x 60	5,5 x 60

Os resultados expostos nos quadros 4.5 e 4.6 indicam, novamente, uma tendência de que a restituição da imagem oriunda da câmara digital fornece medidas mais próximas às reais obtidas no campo.

4.3.3. TRINCAS

Outra possibilidade de utilização da fotogrametria em pavimentos é o acompanhamento do desenvolvimento de defeitos superficiais, que pode ser feito, por exemplo, através da mensuração de área superficial, ou do perímetro ou ainda do acompanhamento do desenvolvimento de uma estrutura qualquer em particular, por exemplo uma trinca.

As figuras 4.12, 4.13 e 4.14 mostram, respectivamente, o resultado das áreas e perímetros das trincas, advindas do *software SoftDesk*.

Figura 4.12: Determinação de área e perímetro de trincamento - exemplo 1, (área = 0.1048m^2 , perímetro = 1.460m).

Figura 4.13: Determinação de área e perímetro de trincamento - exemplo 2, (área = 0.2462 m^2 , perímetro = 2.286 m).

Figura 4.14: Extensão de trincamento – exemplo 3, Linha 1 com comprimento aproximado de 0.89 m e Linha 2 com 1.05 m .

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguir são apresentadas algumas considerações quanto aos resultados do estudo levado a cabo nessa dissertação, assim como são mostradas algumas dificuldades encontradas e são feitas também algumas sugestões que, na visão do autor, podem contribuir para o prosseguimento das pesquisas ora iniciadas.

Para maior facilidade, as conclusões são subdivididas em três partes, relativas à aplicabilidade dos procedimentos propostos, à qualidade dos resultados obtidos e às câmaras fotográficas e aos equipamentos utilizados no experimento.

Quanto à possibilidade da utilização da fotogrametria terrestre para o registro e avaliação de defeitos superficiais em pavimentos, acredita-se que não haja dúvidas, pois os resultados obtidos, em termos de imagens restituídas, mostram que é perfeitamente possível registrar-se defeitos e, por conseguinte, acompanhá-los ao longo do tempo, com a finalidade de, por exemplo, estabelecer modelos de desenvolvimento (evolução) de defeitos em função da ação do tráfego e/ou intempéries ou mesmo somente com a finalidade de registrá-los para estudos posteriores.

Em termos de qualidade, os resultados permitem concluir parcialmente que, com os equipamentos e métodos utilizados nesta pesquisa, pode-se obter estimativas de cotas dos objetos restituídos com erros relativos inferiores a 5,0% que, em média, para os objetos de pequena altura estudados, traduzem-se em erros absolutos em torno de 1,0 mm. Porém, deve-se ressaltar que no caso dos defeitos reais (afundamentos, panelas, etc.) é extremamente difícil quantificar precisamente as cotas, uma vez que as formas são acentuadamente irregulares e que as medidas de campo são realizadas em locais arbitrados segundo o julgamento da pessoa que selecionou o defeito e fez as fotografias. Mesmo assim, os procedimentos utilizados nessa pesquisa, quando aplicados aos defeitos reais, permitiram detectar cotas com mesmas ordens de grandeza das medidas durante os trabalhos fotográficos de campo.

Quanto aos equipamentos pode-se constatar que, apesar de não serem específicos para a finalidade proposta, os resultados mostram que são perfeitamente aproveitáveis, indicando que pode-se obter resultados aceitáveis utilizando-se equipamentos comuns e baratos. Comparando-se os resultados obtidos das duas câmaras fotográficas utilizadas no experimento conclui-se que as imagens advindas da digital apresentam resultados com erros menores e de mesma ordem de grandeza, indicando, possivelmente, uma melhor repetibilidade dos resultados que a alcançada pelas imagens provenientes da câmara convencional, independentemente da resolução utilizada na numerização das imagens convencionais.

Acredita-se que essa constatação, apesar de ainda preliminar, seja sustentada pelo fato dos negativos da câmara convencional terem sido numerizados utilizando-se um numerizador (*scanner*) também convencional, de mesa, não calibrado, que numerizou as imagens ainda em negativo e que, através de uso de *software* específico, foram transformadas em "positivos". Dessa sistemática podem decorrer de dois tipos de erros, o primeiro seria a distorção da imagem devido à qualidade do numerizador utilizado e o segundo a distorção das cores e iluminação originais do objeto fotografado, diminuindo conseqüentemente o contraste e brilho, comprometendo assim a qualidade da restituição, independentemente da resolução utilizada, e sim devido à perda de qualidade

da imagem numerizada obtida, além é claro, do fato das câmaras não serem calibradas.

Durante o desenvolvimento do trabalho surgiram algumas dificuldades em relação à operação do *software DVP*, quanto à quantidade de detalhes exigida para a execução das orientações e, posteriormente, para a restituição propriamente dita. Também foram encontradas outras dificuldades devido ao fato das câmaras utilizadas não serem métricas, ou seja, câmaras que não imprimem marcas fiduciais nas imagens, fazendo com que elas tivessem que ser “construídas” manualmente, e também devido à falta de pontos de controle de boa qualidade no “terreno”. Essas dificuldades podem ter, de alguma forma, comprometido a qualidade final das restituições.

A partir da experiência adquirida com a execução dessa dissertação pode-se fazer algumas recomendações para trabalhos futuros que, na opinião do autor, poderão melhorar a qualidade dos resultados e/ou facilitar a execução de outros trabalhos. As principais sugestões referem-se à utilização de duas câmaras fotográficas simultaneamente para minimizar os erros decorrentes do mau alinhamento e da eventual diferença na distância de base devido à mudança de posição do equipamento fotográfico e, no caso da utilização de câmaras convencionais, recomenda-se experimentar o emprego de diapositivos (*slides*) em vez de filmes negativos, para que os problemas de distorção de cor, brilho e contraste sejam minimizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN, F. (1996). "Special Issue on Softcopy Photogrammetry", (Commentary- Digital Photogrammetry: Challenge and Potential) PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTING SENSING vol 62 no 06 June p.679.

ACOSTA, J. ADOLFO.; J, LUDWING FIGUEROA.; ROBERT, L. MULLEN. (1992). "Low-Cost Video Image Processing System for Evaluation Pavement Surface Distress" TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1348 p.63-72.

ACOSTA, J. ADOLFO.; J, LUDWING FIGUEROA.; ROBERT, L. MULLEN. (1995). "Algorithms for Pavement Distress Classification by Video Image Analysis" TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1505 p.27-38.

AGUILA, M.; PEREZ, A.; CASANOVA, R.; TOSLTOY, R.; FERNADEZ, G. (1999). "Introducion a la Fotogrametria Digital" Departamento de Fotogrametria Y Percepcion Remota CURSO DE ATUALIZACION PROFESSIONAL" Uruguay 18 al 29 de octubre 1999.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (1995).

ANDRADE, D. F. P. N. (1988). "Fotogrametria Básica" MINISTÉRIO DO EXÉRCITO, SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA.

BAKER, JIM.; BASIL, DAHLSTROM.; KEITH, LONGENECKER.; TRI, BUU. (1987). "Video Image Distress Analysis Technique for Idaho transportation Department Pavement Management System". TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1117/1989 p.159-163.

BORGES, M.L.V.B.; BORGES, P.A. (1999). "Aplicações Práticas da fotogrametria Arquitetural na Documentação de Edifícios e Cidades Históricas, para o Uso Efetivo por Arquitetos e Planejadores Urbanos, Restauradores e Historiadores." XVII CIPA COMMITTEE INTERNATIONAL PHOTOGRAMMETRY ARCHITETURAL, october (3-6/1999) Olinda Brazil.

CHAKRAVARTHY, BHAGVATI.; DIMITRI, A. GRIVAS.; MICHAEL, M. SKOLNICK. (1992). "Morphological Analysis of Pavement Surface Condition" Chapter 4 Rensselaer Polytechnic Institute, Troy New York.

CHAKRAVARTHY, BHAGVATI.; DIMITRI, A. GRIVAS.; MICHAEL, M. SKOLNICK. (1993). "Morphological Analysis in Infrastructure Engineering" Conference on Digital Image Processing, Techniques and Applications in Civil Engineering, Kana, 1993 New York, ASCE p.87-94.

CHIA, PEI.; J, CHOU.; TZ, KAI. LIAU. (1996). "Development of Automated Algorithms for Pavement Condition Survey" TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1536 p.103-109.

CINTRA, J. P. (1990). "Modelos Digitais do Terreno" SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO NA ESCOLA POLITÉCNICA DE SÃO PAULO 23-25/05/90.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DNER-Pró-08-87 Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos.

DVP-DIGITAL VIDEO PLOTTER GEOMATIC SYSTEMS INC., versão 4.326 de 1997.

GARDIOL, M. TONINI.; C. HAIDAR.; MA. PAULIN, O. (1999). "Fazendola de Echage (Estanzuela de Echage), Monumento Histórico Nacional – Santa Fé – Argentina. XVII CIPA COMMITTEE INTERNATIONAL PHOTOGRAMMETRY ARCHITETURAL, october (3-6/1999) Olinda Brazil.

GOMES, C. J. M.; PRADO, W. S.; ERWES, H.; KOATZ, G. D. (1999). "The Empress Manor A Pioneer Photogrammetric Project in Brazil Using the Rules 3 x 3". XVII CIPA COMMITTEE INTERNATIONAL PHOTOGRAMMETRY ARCHITETURAL, october (3-6/1999) Olinda Brazil.

GAGNON P. A.; J. P. AGNARD.; C. NOLETTE.;M. BOULIANNE. (1990). "A Microcomputer-Based General Photogrammetric System" PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING, Vol 56, No 5, may 1990, p.623-625.

GOMES,. C. J. M.; ERWES H. (1995). "Fotogrametria Terrestre-Levantamento de Fachadas" Ministério do Exército, Secretaria de Ciência e Tecnologia.

HAAS, R. HUDSON.; W.R. ZANIEWSKI. J. (1994). "Modern Pavement Management". Evaluation of Pavement Distress: Condition Surveys Chapter-10 p.131-153.

HASEGAWA, J.K.; KÜNZLI, R.; THOMAZ, R.C.C. (1999). "Corrida Contra o tempo" GEO CONVERGÊNCIA APLICAÇÕES DE TECNOLOGIAS GEOGRÁFICAS INTEGRADAS Junho p.10-18.

HEIPKE, C. (1995). "State-of-the-art of Digital Photogrammetric Workstation for Topographic Applications" PE&RS PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING, Vol 61 No 1, January 1995 p.49-56.

LOCH, C.; LAPOLLI, E.M. (1985). "Elementos Básicos da Fotogrametria e na Utilização Prática" Florianópolis Editora UFSC 1985.

- LOCH, C.; LAPOLLI, E.M. (1989). "Elementos Básicos da Fotogrametria e na Utilização Prática" 2a Edição, E. M. UFSC-1989.
- MARKKU JENU. (1997). "A System For the Survey Of Facades Using Still Video Camera" http://WWW.ce.tut.fi/geod/tiet_eng.html 03-09-1997 08:25 Tampere University of Technology.
- NASTASIA, L. (1998), "Digital Photo and Close-Range Photogrammetry Meet Surveying Tech for Highway Design & Maintenance" Advanced Imaging , V13 No 1 Jan. 1998 p46-48.
- PAREDES, E. A. (1987). "Introdução à Aerofotogrametria para Engenheiros" Vol I Maringá PR-UEM-1987.
- PAREDES, E. A. (1987). "Práticas Aerofotogramétricas e suas aplicações na Engenharia" vol II Maringá PR-UEM-1987.
- PEIPE J. (1999). "High Resolution Cameras in Architectural Photogrammetry". XVII CIPA COMMITTEE INTERNATIONAL PHOTOGRAMMETRY ARCHITETURAL, october (3-6/1999) Olinda Brazil.
- QUINTANILHA, J. A. (1990). "Processamento de Imagens Digitais", SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO SP-1990 p.37-52.
- RIBEIRO, S. C. L.; CINTRA, J. P. (1991). "Evolução da Restituição Aerofotogramétrica" Seminário sobre computação gráfica em Arquitetura, Engenharia. Cap VIII (Anais).
- RITCHIE STEPHEN, G. (1989). "Digital Imaging Concepts and Applications in Pavement Management" ASCE-Pg 287-309 February San Diego CA.

- ROSALEN, D. L. (1997). Estudo do processo de Captação de Imagens Aplicado à Fotogrametria Digital " São Carlos (22-12-1997) Dissertação de (Mestrado) EESC-USP.
- SALEH, R. A. (1996). "Special Issue on Softcopy Photogrammetry", (Foreword-Photogrammetry and the Question for Digitalization" PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTING SENSING vol 62 no 06 June p.675-678.
- SENSORIAMENTO REMOTO FATOR-GIS 13 Abr/mai/96 "Bons Ventos Para Câmaras 35mm".
- SILVA, I. (1994). "Perspectiva da Fotogrametria Digital" CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO Curitiba PR Brasil 17 a 21 outubro 1994.
- SILVA, I. (1999). "A Fotogrametria é definitivamente Digital" INFOGEO EXPOGEO Brasil'99 maio Curitiba.
- SOFTDESK DA AUTODESK INC., versão 4.0 de 1996.
- STRELEIN, A.; GRUSSENMEYER, P.; HANKE, KL. (1999). "Zurich city hall" A reference data set for digital close-range photogrammetry. XVII CIPA COMMITTEE INTERNATIONAL PHOTOGRAMMETRY ARCHITETURAL, october (3-6/1999) Olinda Brazil.
- WOLF PAUL, R. (1983). "Elements of Photogrammetry with Air Photo Interpretation and Remote Sensing" 2ª edition

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

AGUILA, M.; PEREZ, A.; CASANOVA, R.; TOSLTOY, R.; FERNANDEZ, G. (1999). "Curso de Actualización Profesional" Introducción a la Fotogrametría Digital, Departamento de Fotogrametría Y Percepción Remota Uruguay 18 al 29 de octubre 1999.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1972). AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C..

AMORIM, A. (1993). "Utilização de Câmaras de Pequeno Formato ao Cadastro Técnico Urbano" Dissertação de Mestrado. UFSC Florianópolis-1993.

Apoio à Restituição Aerofotogramétrica: Marinha do Brasil Hidrografia e Navegação 1955.

BASHAR AL OMARI AND MICHEL I. DARTER. (1994). "Relationships Between International Roughness Index and Present Serviceability Rating" TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1435 p130-136.

BERTOLLO, S. A. M. (1997). "Considerações sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede" Dissertação de Mestrado EESC-USP.

CAMPOS, I.O. (1994). "Análise de Técnicas para o Estabelecimento de Modelos Digitais de Terrenos" Dissertação de Mestrado EESC-USP.

CAREY, W.N.; IRICK, P.E. (1960). "The pavement serviceability performance concept . HIGHWAY RESEARCH BOARD, n250, p40-58.

CINTRA, J. P. (1985). Contribuição ao Estudo de Representação de Superfície com o Auxílio de Computadores. Tese de Doutorado Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL FOR THE LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE PROJECT. SHRP-P-338 (1993).

GARCIA, M.N. (1989). "Photogrammetric Methods Applied to Surface Effects Mapping and Volumetric Studies at the Nevada Test Site, Nevada" Photogrammetric Engineering And Remote Sensing, Vol 55, No 8, August, 1989, p1197-1201.

GOMES, C. J. M.; ERWES, H. (1995). "Fotogrametria Terrestre-Levantamento de Fachadas" Ministério do Exército, Secretaria de Ciência e Tecnologia.

GRIPP, JOEL JR. (1994). "Curso de Ajustamento de Observações" Curso ministrado em Curitiba PR-1994. Profº Universidade de Viçosa MG.

JORGE FLAMARION VASCONCELOS SILVA, M.D.; MOURÃO, S.F. (1994). "A Serventia dos Pavimentos", 28ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO BELO HORIZONTE MG-BR p1067-1097.

HIGHWAY RESEARCH BOARD (1961). "The Pavement Serviceability - Performance Concept. Special Report 61-E, The AASHO Road Test, Report - 5.

JOON-MOOK KANG, WON-JIN OH, YEON-SOUNG BAE. (1996). "Large Scale Geographic Information Acquisition by 35mm Camera" International Archives of PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. Vol XXXI, Part B4. Vienna 1996.

- MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J. "Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação" 2ª Reimpressão
- MOHAMED TALEB OBAIDAT AND KAM W. WONG. (1996). "Automated Knowledge-Based System For Stereo Video Metrology" Journal of Surveying Engineering/May1996 p47-64.
- MORGADO, A.M. (1997). "Fotogrametria Digital- Automatização da Orientação de Imagens Digitais" Cartografia e Cadastro Nº6 Junho 1997.
- MOTTA, L.M.G. (1995). "Consideração a Respeito de Pavimentos e Tráfego nas Vias Urbanas" 6A R.P.U. Santos, Abril/95.
- MULLER, J.P.; TIM DAY; JOHN KOLBUSZ; MIKE DALTON; SAM RICHARDS AND JAMES PEARSON (1988) "Visualization Of Topographic Data Using Video Animation" ISPRS 16TH CONGRESS, Kyoto, Japan July 1-12 1988, Int. Arch. Photo. Rem. Sens., Vol. 27-A3, 12p.
- MURCHISON, D.E. (1977). "Surveying and Photogrammetry, Computation for Engineering" University of Surrey 1977.
- NISHIMA, S. E.; DOMINGUES, F. A. A. (1995). "Atualização de Custos e Benefícios, para Uso em Sistemas de Gerência de Pavimentos" 6A REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA-SANTOS ABRIL.
- NORMAN WITTELS AND TAHAR EL-KORCHI (1989) "Visual Appearance of Surface Distress in Pcc Pavements: II. Crack Modeling" TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1260 p84-90.
- SEGANTINE, P. C. L. (1997). "Aerofotointerpretação e Fotogrametria", Notas de Aula EESC-São Carlos-USP.

SERAFIN LOPEZ CUERVO Y ESTEVEZ "Fotogrametria" Madri- Espanha 1980.

TAKESHI DOIHARA.; KIICHI HIRONO; KAZUO; ODA. (1992). "Crack Measuring System Based On Hierarchical Image Processing Technique" ISPRS XVII Congress. Vol XXIX, B5.

TRINDER, J.C.; TJUGIARTO, T. AND B. E. DONNELLY (1990) "A Close Range Digital Photogrammetry System", SPIE vol 1395 Close-Range Photogrammetry Meets Machine Vision 1990.

WADE L. GRAMLING HUNT J.E. AND SUZUKI G. S. (1991) "Rational Approach to Cross-Profile and rut Depth Analysis" TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1311 p173-179.

Y.B. AW AND T. K. KOO (1993) "Phototriangulation Using CCD Camera in Close-Range Environment" Journal of Surveying Engineering vol 119, No 2, may 1993 ASCE.