

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
MESTRADO EM CONSTRUÇÃO METÁLICA

FOTOGRAMETRIA DIGITAL E RISCO DE INCÊNDIO EM SÍTIOS
HISTÓRICOS: POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO

Patrícia Álvares

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
MESTRADO EM CONSTRUÇÃO METÁLICA

**A FOTOGRAMETRIA DIGITAL E SUA APLICAÇÃO NA ANÁLISE DO
RISCO DE INCÊNDIO EM SÍTIOS HISTÓRICOS**

Arq. Patrícia Álvares

Dissertação apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de concentração: Construção Metálica.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Maria Claret de Golveia

Ouro Preto – MG

2009

A473f Álvares, Patrícia Maria Fialho.
Fotogrametria digital e risco de incêndio em sítios históricos
[manuscrito] : possibilidades de aplicação / Patrícia Maria Fialho Álvares. -
2007.

xii, 99f.: il., color.; graf.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Maria Claret de Gouveia.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de
Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em
Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Metálica.

1. Arquitetura e urbanismo - Documentação arquitetônica - Teses. 2.
Fotogrametria digital - Teses. 3. Sítios históricos - Teses. 4. Edifícios
históricos - Prevenção de incêndio - Teses. I. Universidade Federal de Ouro
Preto. II. Título.

CDU: 693.8:528.7

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

À minha mãe,
pelo seu esforço e empenho para me proporcionar uma boa educação,
e por todas as vezes que pensou em mim antes de si mesma.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Antônio Maria Claret de Golveia, pela orientação, amizade, compreensão e apoio para o desenvolvimento deste trabalho. Por todos os comentários e sugestões que contribuíram para minha formação não só profissional mais também pessoal.

Ao Prof. Arivaldo Leão de Amorim pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu pai, Ferreira, e aos meus irmãos, Letícia e Fabrício, pelo apoio incondicional e pela confiança e estímulo que mesmo distantes fisicamente me dedicaram.

Ao Lauro, pelo carinho e presença.

Ao Raul, que me faz a pessoa mais feliz e realizada apenas com um sorriso.

Aos amigos do mestrado e aos amigos de Ouro Preto, em especial ao Carlos Eduardo, a Mariana e aos amigos da república Calamidade Pública, que me proporcionaram momentos inesquecíveis que guardo com alegria e zelo.

A todos que de alguma maneira colaboraram com este trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A presente pesquisa apresenta um estudo teórico sobre as diversas técnicas de cadastramento de formas arquitetônicas de monumentos com valor histórico, com suas respectivas potencialidades e limitações, com ênfase na documentação digital através da fotogrametria digital utilizando como principal instrumento o *software PhotoModeler*. A fotogrametria digital prova ser uma ferramenta eficaz para obtenção de variados produtos relacionados a documentação arquitetônica, além de outros benefícios como baixo custo e redução do tempo de trabalho, porém, não se deve descartar as demais formas de cadastramento arquitetônico visto que a utilização simultânea de mais de um processo é o adequado para um levantamento mais completo. A documentação pormenorizada de bens imóveis, no caso os tombados, é uma etapa necessária do processo de preservação patrimonial, uma vez que o risco de danos, por causas naturais ou humanas é considerável e as perdas imensuráveis. Dentro deste contexto, encontram-se os incêndios, que, até a época atual, destruíram mais do patrimônio histórico mundial que qualquer outra causa natural. Como eventos de origem aleatória e grande poder destrutivo, os incêndios enfatizam duplamente a necessidade de uma documentação rigorosa das edificações tombadas: primeiro, porque o projeto de prevenção e proteção contra incêndio demanda conhecimento amplo e profundo da edificação; segundo, porque, em caso de reparo da edificação danificada, o registro das suas características físicas e geométricas é condição essencial.

Palavras-chave: sítios históricos, documentação arquitetônica, fotogrametria digital, fogo, risco de incêndio.

ABSTRACT

This research presents a theoretical study on the techniques of registration forms of architectural monuments with historical value, with their respective potential and limitations, with emphasis on digital documents by using digital photogrammetry as the main instrument the PhotoModeler software. The digital photogrammetry proves to be an effective tool for obtaining various products related to architectural documentation, and other benefits such as low cost and reduction of working time, however, should not discard the other types of architectural registration as the simultaneous use of more than one process is appropriate for a more complete survey. The detailed documentation of real estate, where the fallen, it is a necessary step in the process of preserving heritage, since the risk of damage by natural causes or human is substantial and immeasurable losses. Within this context, are the fires, which, until the present time, destroyed most of the historical world than any other natural causes. Of origin as random events and great destructive power, the fire doubly emphasize the need for rigorous documentation of the buildings felled: first, because the design of prevention and protection against fire demand broad and deep knowledge of the building, second, because in case of repair of the damaged building, the record of their physical characteristics and geometry is essential.

Keywords: historical sites, architectural documentation, digital photogrammetry, fire, fire risk.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiii
1. Introdução	1
1.1. Introdução	2
1.2. Objetivos	6
1.3. Justificativa	6
1.4. Metodologia	12
2. Incêndios em sítios histórico	13
2.1. Introdução	14
2.2. Incêndios em sítios históricos	16
2.3. Breves noções sobre o modelamento de incêndios	21
2.4. Distribuições homogêneas de temperatura	23
2.4.1. Incêndio da norma ISO-834 ou da NBR 5628/1980	24
2.4.2. Curvas de incêndio natural	27
2.5. Modelo de duas camadas	30
2.5.1. A Grandeza do Incêndio	30
2.6. Documentação e análise de risco de incêndio	39
3. Levantamento Arquitetônico	44
3.1. Levantamento Arquitetônico	45
3.2. Tipos de levantamento arquitetônico	46
3.2.1. Medição direta	48
3.2.2. Métodos topográficos	50
3.2.3. 3D <i>Laser Scanning</i>	52
3.2.4. GPS	53
3.2.5. Fotografia	54
3.2.6. Fotogrametria digital	55
4. Fotogrametria	57
4.1. Fotogrametria	
	viii

4.2. Contextualização	58
4.3. Fotogrametria Digital	58
4.4. Vantagens da Fotogrametria	60
4.5. Fotogrametria no Brasil	62
4.6. Metodologia	63
4.6.1. <i>Photomodeler</i>	65
	66
5. Aplicações do <i>PhotoModeler</i> à documentação	
5.1. Aplicações	69
	70
6. Experiência pessoal e conclusão	
6.1. Considerações iniciais	78
6.2. Primeiros testes	79
6.3. Testando medidas	80
6.4. Aplicação a casos reais	87
6.5. Conclusão	90
	94
7. Bibliografia	
7.1. Bibliografia	96
	97

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1:	Vista posterior do conjunto residencial da Rua São José. Ouro Preto – MG.	9
Figura 2:	Vista do bairro Antônio Dias – Ouro Preto – MG.	9

CAPÍTULO 2

Figura 3:	Incêndio Hotel Pilão – Ouro Preto – MG.	17
Figura 4:	Incêndio em Mariana – Mariana – MG.	17
Figura 5:	Curva temperatura-tempo para um incêndio natural.	23
Figura 6:	Curva do “incêndio-padrão” da NBR 5628/1980.	25
Figura 7:	Gradiente temperatura-tempo da curva do incêndio-padrão.	26
Figura 8:	Curva de ensaio-padrão para carga de incêndio de hidrocarbonetos.	26
Figura 9:	Curva paramétrica de incêndio natural do Eurocódigo 1 Parte 1.2	28
Figura 10:	Curvas $\theta(t)$ – origem da escala de medida das temperaturas.	30
Figura 11:	Razão de liberação de calor de uma cama do tipo beliche.	32
Figura 12:	Incêndio em cama do tipo beliche.	32
Figura 13:	Modelo unidimensional de início de ignição.	34
Figura 14:	Propagação vertical de chamas.	34
Figura 15:	Descrição do incêndio: modelo de duas camadas.	35
Figura 16:	Incêndios “t2” estáveis.	37
Figura 17:	Fase de desenvolvimento de incêndios modelo “t2”	38

CAPÍTULO 3

Figura 18:	Instrumentos de medição direta: trena, fio prumo, escala e bolha de nível.	49
Figura 19:	Fotografia da fachada principal da República Ninho do Amor e vetorização a partir da fotografia.	50
Figura 20:	Instrumentos do método topográfico: teodolito, distanciômetro e estação total.	51
Figura 21:	Planta topográfica.	52
Figura 22:	Planta topográfica tridimensional.	52

Figura 23:	Modelo de um aparelho de scanner.	53
Figura 24:	Exemplo de imagem capturada por <i>scanner</i> – nuvem de pontos.	53
Figura 25:	Modelo de aparelho GPS.	54
Figura 26:	Figura processada <i>no software CorelDraw</i> e vetorizada <i>no software AutoCad</i> .	55

CAPÍTULO 4

Figura 27:	Posicionamento indicado das câmeras para tomadas fotográficas.	67
-------------------	--	----

CAPÍTULO 5

Figura 28:	Fotografia da fachada principal da Capela Nossa Senhora da Escada.	70
Figura 29:	Modelo tridimensional em estrutura de arame da Capela Nossa Senhora da Escada.	71
Figura. 30:	Modelo tridimensional fotorrealístico com a fachada principal da Capela Nossa Senhora da Escada.	71
Figura 31:	Modelo tridimensional fotorrealístico com a fachada posterior da Capela Nossa Senhora da Escada.	72
Figura 32:	Ortofoto da fachada principal da Capela Nossa Senhora da Escada.	72
Figura 33:	Exemplo de uma fotografia com distorções e posteriormente retificada.	73
Figura 34:	Ortofoto das fachadas do Pelourinho – Salvador - BA.	73
Figura 35:	Imagem vetorizada das fachadas do Pelourinho – Salvador - BA.	73
Figura 36:	Material para mapeamento de danos referente a projetos de restauração.	74
Figura 37:	Imagem de um sarcófago vetorizado com partes texturizadas.	74
Figura 38:	Imagem do interior de uma igreja vetorizado com partes texturizadas.	75
Figura 39:	Imagem vetorizada e imagem retificada de uma porta com bandeira.	75
Figura 40:	Imagem retificada e imagem vetorizada de um altar.	76
Figura 41:	Exemplo de modelo tridimensional fotorrealístico do centro da cidade de Karlsruhe (Alemanha).	77

CAPÍTULO 6

Figura 42:	Três vistas das imagens utilizadas no primeiro teste.	80
Figura 43:	Imagens escolhidas e importadas para uso no <i>PhotoModeler</i> .	81
Figura 44:	Uma a uma as imagens foram modeladas.	81
Figura 45:	Imagens com pontos referenciados.	82
Figura 46:	Modelo 3D em estrutura de arame.	82
Figura 47:	Fechamento das partes do modelo 3D em estrutura de arame.	83
Figura 48:	Modelo 3D texturizado de forma não satisfatória.	83
Figura 49:	Modelo 3D texturizado.	84
Figura 50:	Linha de medida conhecida selecionada com unidade e distância sendo aplicados.	84
Figura 51:	Modelos de ortofotos da caixa.	85
Figura 52:	Modelo 3D exportado e sendo utilizado em outro <i>software</i> , no caso <i>AutoCad</i> .	85
Figura 53:	Imagens utilizadas no teste.	86
Figura 54:	Modelo 3D texturizado.	86
Figura 55:	Modelo 3D exportado e sendo utilizado em outro <i>software</i> , no caso <i>AutoCad</i> .	87
Figura 56:	Imagens utilizadas no teste.	88
Figura 57:	Modelo 3D em estrutura de arame.	88
Figura 58:	Modelo 3D com as partes fechadas para receber a textura.	89
Figura 59:	Modelo 3D texturizado.	90
Figura 60:	Modelo de ortofotos da maquete.	92
Figura 61:	Algumas imagens utilizadas.	92
Figura 62:	Modelo obtido no programa e ortofoto.	92
Figura 63:	Algumas imagens utilizadas.	93
Figura 64:	Modelo obtido no programa e ortofoto.	93
Figura 65:	Algumas imagens utilizadas.	93
	Modelo obtido no programa e ortofoto.	

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1:	Incêndios, causas e perdas. NFPA 909(1997) e DORGE & JONES (1999).	20
Tabela 2:	Taxas de desenvolvimento de incêndio típicas.	39
Tabela 3:	Parâmetros e fatores de risco.	40
Tabela 4:	Medidas de segurança.	41
Tabela 5:	Levantamento de dados – lista dos itens necessários.	42

CAPÍTULO 3

Tabela 6:	Classificação dos métodos de levantamento. (GROETELAARS, 2004).	47
Tabela 7:	Métodos de levantamento e seus principais produtos. (GROETELAARS, 2004).	47

Capítulo 1

Introdução

1.1. Introdução

A fotogrametria digital aplicada à arquitetura é uma técnica de levantamento e registro de bens imóveis, tombados ou não, que vem sendo intensamente explorada nos últimos dez anos, principalmente nos países europeus. É uma técnica que, basicamente, torna possível gerar modelos 3D e fazer medições 3D a partir de fotografia 2D. Originalmente, na década de 1980, esta técnica foi desenvolvida para aplicações em sensoriamento remoto, mas, já em 2000, dentre os cem trabalhos apresentados no congresso da IAPRS - *International Association of Photogrammetry and Remote Sensing* - realizado em Amsterdam, Holanda, vinte e três se dedicaram à documentação e registro de bens tombados.

A documentação pormenorizada de bens imóveis tombados é uma etapa necessária do processo de preservação patrimonial, uma vez que o risco de danos, por causas naturais ou humanas é considerável.

Entre as causas naturais de danos aos bens imóveis tombados incluem-se incêndios, enchentes, deslizamentos de terra, terremotos, tempestades, vendavais e degradação pela alternância climática. Entre as causas humanas, citam-se depredação intencional, poluição industrial, perturbações da ordem social e guerras.

DALLAS et al. (1995) citam que incêndios, até a época atual, destruíram mais do patrimônio histórico mundial que qualquer outra causa natural. Como eventos de origem aleatória e grande poder destrutivo que são, os incêndios enfatizam duplamente a necessidade de uma documentação rigorosa das edificações tombadas: primeiro, porque o projeto de prevenção e proteção contra incêndio demanda conhecimento amplo e profundo da edificação; segundo, porque, em caso de reparo da edificação danificada, o registro das suas características físicas e geométricas é condição essencial.

Sabe-se que o registro documental das edificações tombadas do patrimônio histórico nacional encontra algumas dificuldades práticas para ser realizado entre as quais:

- (a) as técnicas de levantamento manual utilizadas consomem muito tempo, elevando o seu custo;

- (b) o levantamento interfere significativamente nas atividades rotineiras realizadas na edificação, e, por isso, os usuários resistem a autorizá-lo;
- (c) a técnica de levantamento direto, auxiliado por fotografias e medições topográficas, não é adequada para captar as características dos materiais (a exemplo de textura, cor, estado de conservação) no estado atual da edificação;
- (d) a técnica de levantamento direto é freqüentemente invasiva, com risco de danos aos bens imóveis, decorrentes do manuseio indevido de partes da edificação.

Por essas razões, entre outras, o *International Committee for Monuments and Sites* – ICOMOS, já em 1987, em congresso realizado em Washington, USA, recomendava a fotogrametria como o método de documentação a ser utilizado nos sítios declarados pela UNESCO como Patrimônios Históricos da Humanidade.

A fotogrametria digital, como se infere de sua ampla utilização em todo o mundo, é a técnica mais adequada ao levantamento para fins de documentação de imóveis. No caso específico dos sítios históricos, essa técnica alia grande produtividade com relativo baixo custo, viabilizando a sua aplicação a grandes conjuntos arquitetônicos como os das cidades históricas.

Nesta pesquisa, a fotogrametria é focalizada em um nível introdutório sob a perspectiva de sua aplicação à análise do risco de incêndio em sítios históricos. A documentação de bens imóveis tem sido feita, no Brasil, principalmente com vistas à conservação e restauro, não atingindo, até o momento, nem a extensão e nem o nível de detalhamento desejáveis.

A análise do risco de incêndio em sítios históricos é atividade essencial ao projeto de prevenção e não pode prescindir da documentação das edificações em extensão e nível de detalhamentos adequados. Trata-se de uma genuína atividade de projeto que precisa se valer de cálculos e simulações numéricas, somente viáveis a partir de um conjunto completo de dados da edificação.

O modelamento computacional de incêndios é um domínio científico relativamente recente. Durante muitos anos, notadamente na segunda metade do século XX,

permaneceu quase que exclusivamente experimental com as dificuldades inerentes a esse tipo de pesquisa, como o custo elevado e viabilidade apenas para ensaios em compartimentos de área reduzida e geometria simples. Com a extensão do Método de Elementos Finitos ao estudo da Fluidodinâmica, algumas ferramentas numéricas novas surgiram nos anos noventa, abrindo novas perspectivas para a simulação de incêndios em edificações tombadas.

Entretanto, a aplicação prática do modelamento computacional a edificações tombadas demanda conhecimento pormenorizado da geometria dos diversos compartimentos, dos materiais incorporados à edificação e da sua reação ao fogo. Portanto, é necessário conhecer bem cada edificação e, para isto, é necessário efetuar sua documentação em nível avançado, contemplando não só a geometria, mas também a textura, a cor e o estado de conservação atual dos materiais, como também a interação entre ambientes capaz de definir caminhos de propagação do fogo.

Especificamente, as técnicas de levantamento utilizadas para o fim de estimar o risco de incêndio em edificações devem estar aptas a produzir os seguintes conjuntos de dados sobre cada edificação:

- (a) geometria da edificação com especial interesse sobre as saídas de emergência e a localização e as dimensões dos espaços vazios e possíveis condutos e reservatórios de fumaça;
- (b) os tipos de materiais de construção, caracterizando minimamente a textura, a cor e o estado de conservação de modo a permitir a estimativa de suas propriedades físicas no estado atual;
- (c) os sistemas estruturais principais e secundários bem como o estado de conservação das peças estruturais e de suas ligações;
- (d) a presença de vazios e de enchimentos espúrios em peças massivas como paredes e elementos de fundação;
- (e) a proximidade de outras edificações, discriminando a posição relativa de aberturas, fachadas, empenas e telhados.

Um dos fatores preponderantes na determinação do risco de incêndio em uma edificação é a densidade específica de carga de incêndio, isto é, a razão entre o total de energia calorífica que pode ser liberada em um incêndio compartimentado e a área de piso do compartimento. Projetos de prevenção de incêndio não podem ser feitos em imóveis tombados sem a determinação da carga de incêndio específica. Para esse fim, o levantamento precisa contemplar também o conteúdo das edificações.

Mas, quando as edificações têm elementos de vedação vertical (paredes, divisórias e empenas) de baixa resistência ao fogo, como geralmente ocorre com as vedações de pau-a-pique ou em tábuas de madeira, o risco de propagação de incêndios para prédios vizinhos é grande e o projeto de prevenção, bem como o de combate, depende do conhecimento completo do conjunto. Por outro lado, nas edificações coloniais os elementos de vedação horizontal (pisos e forros) são freqüentemente combustíveis o que eleva em muito o risco de generalização interna do incêndio. Nesse caso, os projetos que visem a compartimentação, o escape dos usuários e a proteção da propagação do fogo pela radiação incidente nas fachadas de prédios vizinhos dependem também do conhecimento pormenorizado do conjunto arquitetônico.

A aplicação da análise de risco (CLARET, 2007) permite determinar o risco de incêndio atual de uma edificação ou conjunto de edificações e as medidas de segurança capazes de gerar o nível de risco máximo aceitável. O método considera a importância da edificação e a sua relação com o entorno, bem como a viabilidade de acesso dos bombeiros e do equipamento de combate de incêndio.

Portanto, para os fins da análise de risco e projeto de prevenção de incêndios em sítios históricos, a documentação das edificações deve contemplar requisitos específicos. Desse modo, a adoção do método adequado para a documentação de edificações dos sítios históricos assume grande importância para possibilitar o projeto de prevenção com base em normas de desempenho e engenharia de incêndio.

Nessa pesquisa, apresentam-se os fundamentos da técnica de fotogrametria, explorando as suas possibilidades de aplicação à documentação de bens imóveis tombados com especial interesse para a produção de dados essenciais à análise de risco de incêndios, por

sua vez essencial às atividades de prevenção. A análise efetuada é exploratória no domínio das diversas técnicas de levantamento aplicáveis e reflexiva, visando caracterizar a documentação para fins de projetos de prevenção e as vantagens e desvantagens da fotogrametria digital como o método mais adequado para a ampla documentação dos sítios históricos brasileiros.

1.2. Objetivos

De forma geral, o objetivo do presente trabalho é, comprovada a importância da documentação de bens históricos, tombados ou não, investigar as técnicas de documentação arquitetônica com ênfase sobre a fotogrametria digital.

Seus objetivos específicos são, portanto:

- (a) investigar os fundamentos da fotogrametria e focalizar especificamente a fotogrametria digital quanto à rotina aplicativa na documentação de edificações de sítios históricos;
- (b) determinar as características dos produtos da fotogrametria digital que interessam à análise do risco de incêndio em edificações.

1.3. Justificativa

As edificações históricas costumam apresentar características próprias quanto ao risco de origem e desenvolvimento de incêndios severos. Entende-se aqui por edificação histórica aquela que adquiriu um significado valorativo especial para uma comunidade, podendo não ser necessariamente antiga. Dado que as comunidades desejam, em geral, preservar essas edificações com as características da época em que foram construídas e considerando que a elaboração e a implementação de projetos de prevenção de incêndio no Brasil é relativamente recente, quase sempre as edificações históricas apresentam riscos inaceitáveis de desenvolvimento de incêndios severos.

Particularmente, no que tange às edificações do período colonial brasileiro, algumas características construtivas atuam desfavoravelmente à segurança contra incêndio

(CLARET, 2007). Entre essas características citam-se, por ordem de importância, as seguintes:

- (a) os materiais empregados e os processos construtivos – o uso preponderante da madeira e de ligações de baixa rigidez¹, especialmente suscetíveis à ação do fogo;
- (b) a organização do espaço edificado de acordo com o uso projetado para as edificações – remanescentes de uma época em que os conhecimentos de segurança contra incêndio eram rudimentares, as edificações barrocas não incorporam, em sua maioria, meios de proteção contra incêndio;
- (c) o uso que atualmente se faz dos espaços com as conseqüentes modificações que foram introduzidas – a contínua adaptação das edificações remanescentes do período colonial ao uso das sociedades modernas freqüentemente se faz com sérios prejuízos à segurança contra incêndio;
- (d) o espaço urbano em que se inserem – em geral, as cidades barrocas impõem muitas restrições à atividade de combate, seja pela reduzida largura das vias de acesso, seja pela geminação das construções e, em alguns casos, pela acentuada declividade das ruas.

Cada uma dessas características tem um impacto próprio na severidade do incêndio nas edificações do período colonial brasileiro e, em conjunto, elas fazem do risco de generalização do incêndio um evento muito provável em conjuntos arquitetônicos de importância para o País como os de Ouro Preto, Mariana, Tiradentes, Diamantina, São João Del Rei, Congonhas, Salvador, Olinda e em edificações isoladas em praticamente todo o País.

A Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) tem, por razões óbvias, natural interesse em desenvolver tecnologias aplicadas à preservação do patrimônio histórico mineiro e, por extensão, do nacional. Atuando, desde 1994, em Engenharia de Incêndio, a UFOP implantou o Laboratório de Análise de Riscos em Incêndios (LARIn) que vem desenvolvendo metodologia própria para a análise de risco de incêndios em sítios históricos (CLARET, 2007).

¹Ligações de baixa rigidez é o nome genérico que se dá a ligações comuns entre vigas e pilares nas edificações do período colonial, envolvendo peças em madeira, pedra e, mais raramente, em ferro fundido.

A equipe do LARIn tem sido pioneira na investigação do risco de incêndio em sítios históricos, iniciando-se pela produção de dados básicos como a medição da densidade específica de carga de incêndio em conjuntos arquitetônicos coloniais. Em duas etapas sucessivas, o conjunto dos imóveis da Rua São José e o conjunto dos imóveis do Bairro do Antonio Dias, Figuras 1 e 2, ambos em Ouro Preto foram levantados com vistas à determinação da densidade de carga de incêndio (CLARET & ANDRADE, 2007; ARAÚJO, 2006).

As Figuras 1 e 2 ilustram a importância da documentação com vistas a futuro projeto de prevenção de incêndios. Na Figura 1 constata-se a complexidade arquitetônica gerada por fatores de ocupação do solo (no caso, a encosta onde foi erigida a Rua São José) e pelo uso dinâmico das edificações, frequentemente dificultando a rápida detecção de inícios de incêndios e criando caminhos inesperados de propagação do fogo. A Figura 2 ilustra especialmente a proximidade de fachadas o que, em incêndio, estabelece uma interação entre edificações capaz de generalizar o incêndio por radiação.



Figura 1: Vista posterior do conjunto residencial da Rua São José - Ouro Preto – MG.



Figura 2: Vista do bairro Antônio Dias – Ouro Preto – MG.

O método de análise de risco de incêndio em sítios históricos, proposto pelo LARIn, foi adotado como base da Instrução Técnica N° 35 do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais, tendo gerado iniciativa semelhante, ainda em estudo, em outros estados brasileiros.

Em termos de medidas gerais de segurança contra incêndio, o método de análise de risco proposto e o conhecimento das densidades de carga de incêndio específicas permitem o diagnóstico do risco e o projeto de medidas capazes de gerar níveis aceitáveis de segurança. Mas, há grande número de edificações (Igrejas, Casa de Gonzaga, Casa da Câmara, Palácio dos Governadores, Casa dos Contos - para citar alguns em Ouro Preto) cuja segurança contra incêndio deve ser ampliada em face de sua representatividade no conjunto do patrimônio tombado e de seu conteúdo. Nesses casos, o mesmo método de análise de risco de incêndio deve ser aplicado, mas é necessário considerar características específicas da edificação somente detectáveis pelo levantamento direto ou pela fotogrametria.

A preservação das edificações históricas é de grande interesse em todas as culturas humanas, seja pelo conteúdo emocional que adquirem em virtude de estarem relacionadas

a fatos valorados significativamente na constituição da Nação, seja, presentemente, pelo seu significado como elemento motivador da indústria do turismo.

Minas Gerais é um estado rico em monumentos históricos que impõem aos poderes públicos, em colaboração constante com a sociedade civil, a responsabilidade de sua preservação.

É incontestável que a preservação das edificações históricas gerou uma demanda tecnológica específica em face da complexidade arquitetônica² e dos materiais e métodos construtivos utilizados. Por outro lado, o histórico de suas ocupações, em geral motivadoras de intervenções arquitetônicas e estruturais desde a remota origem até os dias atuais, os acidentes eventualmente sofridos (incêndios, impactos de diversas origens, desmoronamentos parciais) e as mudanças ambientais³, trazem novos desafios a sua conservação, CLARET (2007).

A universidade brasileira, como parte integrante do sistema de produção científica e tecnológica, deve contribuir com a composição de uma resposta aos desafios impostos pela preservação das edificações de interesse histórico no País.

A presente proposta de pesquisa é uma iniciativa nesse sentido, buscando difundir técnicas de documentação, principalmente a técnica de fotogrametria digital, já utilizada intensamente em outros países, como Grécia e Turquia, para ser aplicada no Brasil na documentação de bens imóveis históricos.

A técnica de fotogrametria digital justifica-se, em primeiro lugar, por ser de grande produtividade e, em consequência, de relativo baixo custo. De fato, a fotogrametria digital baseia-se no levantamento fotográfico do bem de interesse, submetido a um processamento computacional, o que produz, em tempo relativamente curto, grande volume de informações sobre ele. Em paralelo, permite também registrar o seu estado atual de conservação e, portanto, projetar as eventuais intervenções necessárias.

²Caso típico das igrejas do Barroco Mineiro.

³Em sentido absolutamente amplo, como por exemplo, a inevitável mudança do tráfego de veículos no seu entorno.

Os dados produzidos pela fotogrametria digital podem ser processados por *softwares* de uso comum em Arquitetura e Engenharia como AutoCad, Sketch-Up e ANSYS (no caso de análises estruturais ou de transferência de calor por elementos finitos) ou EXODUS e SMARTFIRE (no caso de modelamento de fogo, movimentação de fumaça e escape). Desse modo, o levantamento fotogramétrico digital irá produzir um banco de dados precioso para todas as ações de proteção do patrimônio histórico.

No caso específico da necessidade de restauração da estrutura física da edificação em face de acidentes de grande monta como incêndios, explosões, deslizamentos de terra e choques por veículos, o projetista deverá conhecer com riqueza de detalhes a edificação original.

Por outro lado, as ações de prevenção de danos generalizados à edificação (causados, por exemplo, por recalques de fundação ou por incêndios) demandam a identificação do sistema estrutural e de seus eventuais subsistemas. Ora, observadas como um todo as edificações históricas não só “escondem” os sistemas portantes, como também limitam em muito as possibilidades de investigação direta, via, por exemplo, remoção de partes da edificação, para sua caracterização. A fotogrametria digital contribui decisivamente com a solução desses problemas, uma vez que os registros, como observado anteriormente, podem ser trabalhados por outros *softwares* gerando grande volume de informações secundárias e permitindo a simulação numérica do comportamento da edificação.

1.4. Metodologia

A pesquisa será desenvolvida basicamente por meio de revisão bibliográfica combinada com estudos de casos de aplicações da técnica de fotogrametria digital em levantamentos de edificações e da análise de risco de incêndios em sítios históricos.

Quanto a fotogrametria digital, a literatura nacional específica no domínio de interesse da pesquisa não é ampla, mas o trabalho de GROETELAARS & AMORIM (2004) é uma referência básica tanto no que concerne ao desenvolvimento teórico quanto na aplicação.

No que tange aos incêndios em sítios históricos, o LARIn possui um volume razoável de material bibliográfico e relatos de experiência de aplicação.

Serão elaborados modelos de objetos para uma experiência de aplicação do método de fotogrametria digital com o emprego do *software* Photomodeler disponível no Laboratório de Conservação da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia.

Capítulo 2

Incêndios em sítios históricos

2.1. Introdução

Diversos domínios científicos já se preocupam em refletir sobre os riscos, sua prevenção e controle. Reconhece-se a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade da *ciência do risco*, ainda que ora a iniciativa se dê do lado das ciências humanas e sociais aplicadas, ora do lado das ciências da saúde ou das engenharias.

A complexidade dos riscos na sociedade moderna vem, há muito, causando perdas patrimoniais, danos ambientais, ferimentos e mortes. Em muitas sociedades desenvolvidas, os riscos de desastres naturais e tecnológicos vêm sendo objetos de programas de pesquisas que se organizaram como iniciativas duradouras a partir da década de 1980. Não se trata de resolver um problema momentâneo, mas de reconhecer que os riscos são próprios do modo de organizar e de produzir na sociedade moderna.

No Brasil, essas investigações em torno do risco poderiam ser de grande auxílio, ainda mais considerando nossas particularidades culturais como matrizes de riscos específicos a exemplo de nossa peculiar maneira de lidar com os bens naturais e o patrimônio histórico.

A prevenção de incêndios no Brasil é quase sempre ingênua. É, em geral, bem intencionada, mas freqüentemente ingênua. Esta ingenuidade tem duas origens: a mitificação dos incêndios e a ilusão de segurança. De um lado, os incêndios são vistos como mera fatalidade e, de outro, essa fatalidade é sempre destinada a “outros” países, “outras” cidades, “outras” edificações. A mitificação e a ilusão de segurança são ambas paralisantes: a primeira pela inexorabilidade e a segunda, pela desnecessidade.

A ciência mostra que apenas os inícios de incêndios são genuinamente aleatórios; o desenvolvimento e a propagação dos incêndios são problemas de engenharia e de arquitetura. Dito de outro modo, nenhuma edificação, por mais remota ou importante que seja, pode ser considerada livre do risco de inícios de incêndios: eles tanto podem ocorrer no Palácio de Buckingham, justamente durante a comemoração dos cinquenta anos do trono de Elizabeth II (03/06/2002, sem feridos), quanto podem ocorrer em um supermercado, em Assunção, por volta do meio dia de um domingo comum (01/08/04, 464 mortos).

Não seria de todo um despropósito associar uma idéia de “fatalidade” aos inícios de incêndios, mas a ciência oferece uma ferramenta para esse fim qual seja a análise de riscos: pode-se tomar um conjunto de edificações e determinar o risco de que ela desenvolva um incêndio severo nas suas condições atuais; melhor ainda, pode-se determinar que medidas de segurança deveriam ser adotadas para torná-la exposta a “apenas” um certo risco máximo aceitável de desenvolver um incêndio severo.

Raras são as certezas quanto aos incêndios: esse é o próprio domínio das probabilidades. A grandeza dos danos causados por um incêndio depende de um conjunto imenso de parâmetros, muitos deles só controláveis pela implementação de projetos específicos de arquitetura e engenharia. Mas, há parâmetros cuja mudança demanda um tempo maior como os usos e os costumes de cada lugar, a carência de educação e de treinamento para a segurança.

O incêndio é um processo de desconstrução da edificação segundo um plano que segue regras próprias marcadas pelo quantum de energia calorífica a própria edificação

disponibiliza para uma reação de combustão em cadeia e pelo quantum de resistência ela fornece à propagação do fogo. A edificação se desafia: o interno contra o entorno.

A desconstrução é radical e solidária: reduz-se ao pó o objeto envolvido pelo fogo e este gera calor para fazer o mesmo com os objetos vizinhos; a coluna eleva a chama à viga; a parede, ao forro. Os vínculos se afrouxam e o que cai alimenta a fogueira. O fogo deseja ser grande.

A edificação deseja preservar-se; se sucumbe ao fogo, é porque não se decidiu a eliminá-lo, quando era apenas início de ignição. Não o eliminou porque não sabia dele ou porque ele cresce muito rápido e não dispunha dos meios adequados. Eis como se explica a catástrofe: uma deficiência de reação da edificação ao início de incêndio, uma vulnerabilidade inata que só pode ser vencida pelo projeto geneticamente seguro ao fogo. Eis o desafio da Arquitetura.

2.2. Incêndios em sítios históricos

Muitos são os relatos de incêndios em edificações históricas: pode-se ir do incêndio de Roma, em 64 a.C ao incêndio em Londres, em 1666, ou do incêndio de Chicago, em 1878, ao incêndio do Chiado em Lisboa, em 1988. Em todos os danos patrimoniais são imensos e irremediáveis.

Em Ouro Preto, MG, em 14 de abril de 2003, um incêndio destruiu o Hotel Pilão, um casarão da Praça Tiradentes, esquina com a Rua do Ouvidor, Figura 3. A destruição foi total, exigindo a completa reconstrução do imóvel. Já em 1999, outro incêndio destruíra

todo o interior da Igreja do Carmo, em Mariana, MG, Figura 4, perdendo-se seu valiosíssimo conteúdo como forros pintados, altares, imagens e ornatos em pedra.



Figura 3: Incêndio Hotel Pilão – Ouro Preto – MG.



Figura 4: Incêndio da igreja do Carmo em Mariana – Mariana – MG.

Outra perda marcante, de repercussão mundial, ocorreu no Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro, em nove de julho de 1978. Um incêndio destruiu 90% da coleção do museu, que incluía aproximadamente 1000 obras de arte, além de pinturas emprestadas para uma exibição especial. Em apenas 30 minutos o incêndio causou uma perda estimada em 50 milhões de dólares, em valores da época. O edifício, de arquitetura moderna e que não possuía sistema de detecção e alarme ou de extinção automáticos, foi completamente recuperado, porém o seu acervo nunca voltou a ser o mesmo e a lembrança da tragédia permanece na memória da cidade.

Esses exemplos não foram escolhidos ao acaso, mas para ilustrar aspectos importantes da segurança contra incêndio. O incêndio de Roma, de acordo com os registros históricos, ocorreu em um verão excepcionalmente intenso; a cidade, à época um aglomerado de vilas com cerca de 2 milhões de habitantes, era propícia a um grande incêndio: choupanas de madeira e cobertura de sapé se ajuntavam, muito próximas umas das outras.

A Londres shakespeariana de 1666 e a Chicago de 1878 não eram muito diferentes sob o aspecto de segurança contra incêndio, acrescentando-se que o betume impermeabilizante das coberturas era muito usado e muitos armazéns depositavam produtos combustíveis como a aguardente e a erva para o alimento dos animais.

Chicago, em 1888, apresentava um projeto convencional de segurança contra incêndio. O fogo se iniciou no porão de uma das edificações, à noite, quando não havia vigilância, e só foi detectado quando o fogo envolvia todo o prédio. A generalização para a vizinhança foi inexorável, queimando-se 18 prédios, alguns dos quais do século XIII.

O incêndio da Igreja do Carmo, de Mariana-MG, foi ativado pelas atividades de restauro: uma fagulha de solda ateou fogo na querosene usada na desinsetização da madeira. O combate ao incêndio foi efetivo para evitar a ruína completa da edificação, mas seu conteúdo valioso se perdeu. Já no Hotel Pilão, de Ouro Preto-MG, tanto o conteúdo quanto a edificação se perderam.

Todos esses eventos põem em evidência a omissão de medidas preventivas. Nesse aspecto, Nero tem menos culpa do incêndio de Roma que têm os responsáveis atuais pelos incêndios da Igreja do Carmo ou do Hotel Pilão ou centenas de outros semelhantes, uma vez que não dispunha dos conhecimentos hoje existentes de Arquitetura e Engenharia. A omissão funciona como um cortejo ao desastre que, ao final, aceita a corte e faz surgir a catástrofe.

Mas os incêndios em edificações de grande valor cultural e histórico não são destaque apenas no Brasil. Para ilustrar, a Tabela 1 noticia incêndios recentes ocorridos nos Estados Unidos em edificações históricas ou que abrigavam acervo cultural importante.

Nome do Edifício	Data do incêndio	Causa	Perdas
Museu Aeroespacial de San Diego (EUA)	22/02/1978	Criminosa	US\$ 15 milhões (edifício); US\$ 1 milhão (biblioteca); 40 aeronaves, muitas raridades e documentos insubstituíveis, memórias e retratos do “Hall da Fama”
Museu Estadual de Louisiana (EUA)	11/05/1988	Trabalhos de solda durante restauração do edifício histórico	US\$ 5 milhões
Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (Brasil)	08/07/1978	Falha elétrica ou cigarro	US\$ 5 milhões (cerca de 1000 obras de arte)
Biblioteca Central de Norwich (Inglaterra)	01/08/1994	Falha elétrica	350.000 livros, incluindo manuscritos do Século XI foram perdidos.
Biblioteca da Academia de Ciências da União Soviética	14/02/1988	Falha elétrica	400.000 volumes raros foram destruídos pelo fogo e mais 3,6 milhões ficaram ensopados pela água do combate.
Biblioteca Central de Los Angeles (EUA)	11/10/1988	Trabalho de solda	US\$1.000
	03/09/1986	Criminosa	US\$ 2 milhões em coleções musicais
	29/04/1986	Criminosa	400.000 volumes foram destruídos pelo fogo e 700.000 ficaram ensopados pela água do combate.

Tabela 1: Incêndios, causas e perdas. NFPA 909(1997) e DORGE & JONES (1999).

No caso dos sítios históricos, os incêndios desenvolvidos são potencialmente muito severos. Essa conclusão se justifica pelos danos irreversíveis causados às edificações e aos bens culturais nelas alojados, bem como ao risco de propagação para imóveis vizinhos (CLARET, 2007, p. 14).

Tanto o projeto de prevenção de incêndios quanto a restauração e conservação de edificações em sítios históricos propõe um interessante desafio para a documentação que, em síntese, consiste em tornar disponível de forma objetiva, em geral expressa graficamente, o estado atual da edificação, seus usos e suas limitações para reação às múltiplas solicitações do ambiente.

2.3. Breves noções sobre o modelamento de incêndios

O modelamento de incêndios tem aplicações potenciais de grande valia no projeto de prevenção de incêndios em sítios históricos, uma vez que permite otimizar as intervenções projetadas para a edificação além de permitir a abordagem de geometrias e materiais não convencionais como, em geral, ocorre nessas edificações.

O desenvolvimento de um incêndio em um edifício é ilustrado idealmente na Figura 5 que mostra a relação entre a temperatura dos gases em um compartimento de pequeno volume (um quarto ou uma sala) e o tempo desde o início da ignição. Durante a fase de *início de ignição*, existe muito pouco risco de ocorrência de um evento de consequências sérias para a estrutura física da edificação, embora o risco de danos à vida humana e ao conteúdo do compartimento seja consideravelmente elevado.

Para caracterizar o *início de ignição*, costuma-se utilizar dois parâmetros: o volume de fogo e a temperatura dos gases. O volume de fogo é pequeno, extingüível por extintores corretamente usados por um grupo pequeno de pessoas. As temperaturas variam entre 20°C e 70°C. O início de ignição deve ser considerado em projeto como uma fase de duração muito curta, tipicamente de 1 a 3 minutos. Nesta fase, os equipamentos de proteção ativa como os detectores de fumaça e calor, os chuveiros automáticos e os sistemas de neblina, bem como a brigada de incêndio, devem entrar em operação e é provável a extinção do incêndio.

O início de ignição é seguido por uma fase – denominada de *ignição* – em que o crescimento de temperatura é relativamente lento e os efeitos do incêndio são localizados,

embora uma quantidade significativa de fumaça possa ser gerada com grande redução da visibilidade. O volume de fogo cresce, mas ainda não ocupa todo o ambiente. A decomposição dos materiais é intensa e o ar ambiente passa a conter grande quantidade de gases combustíveis juntamente com os produtos típicos da combustão (CO_2 , CO , partículas sólidas e vapor de água), formando um colchão de gases abaixo do teto do compartimento. A temperatura cresce entre 70°C e 250°C - 300°C conduzindo ao fenômeno denominado *flashover*: a entrada de ar no ambiente, seja pela quebra dos vidros das janelas, seja pela sua abertura por pessoas que visam combater o incêndio, provoca a súbita combustão dos gases com rápida elevação de temperatura capaz de gerar a ignição espontânea do restante do conteúdo do compartimento — é o início da fase de *inflamação generalizada* também conhecida como fase *pós-flashover*.

O *ponto de inflamação generalizada* ou *flashover*, atingido tipicamente entre 3 e 20min do início de ignição, marca a transição de um incêndio localizado para um incêndio generalizado — é o ponto além do qual um combate efetivo é praticamente impossível (é possível apenas conter a propagação do incêndio para outros compartimentos). Antes do *flashover* praticamente não existe risco para a estrutura, mas há risco de danos ao conteúdo do compartimento e à vida humana. Na fase *pós-flashover*, a temperatura cresce rapidamente até que grande parte do material combustível seja consumida (cerca de 60%-80% em um tempo que depende muito da composição da carga de incêndio, mas é tipicamente da ordem de 60 a 90min), quando então a temperatura começa a cair — é a fase denominada de *resfriamento* que pode ser de longa duração (várias horas).

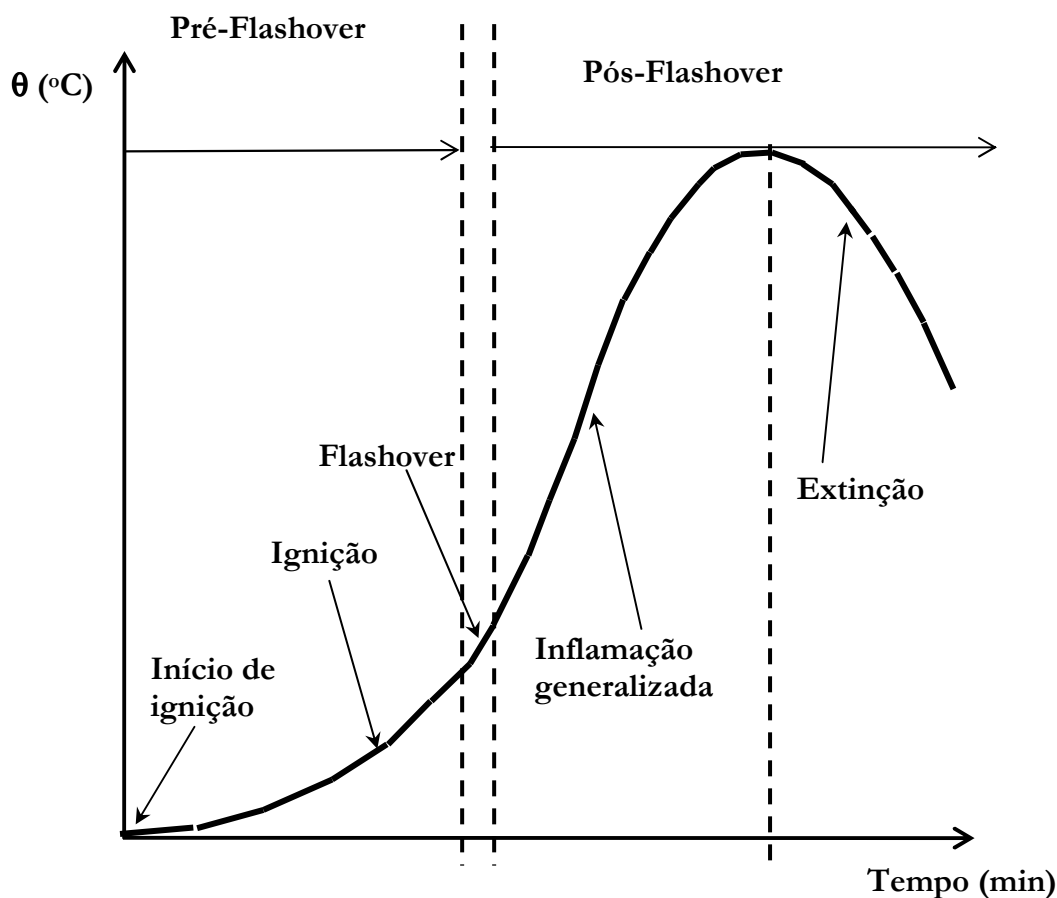


Figura 5: Curva temperatura-tempo para um incêndio natural.

A impressão que se tem na observação de incêndios reais não faz supor a curva temperatura-tempo “suavizada” da Figura 5. De fato, os incêndios reais são únicos a cada vez que ocorrem — *princípio da unicidade dos incêndios reais*, CLARET (2006) —, uma vez que podem ser influenciados por um grande número de parâmetros, alguns tão sutis como a disposição espacial da carga de incêndio.

2.4. Distribuições homogêneas de temperatura

O *princípio da unicidade dos incêndios* expressa a dificuldade de modelar matematicamente os incêndios. A observação de incêndios reais e experimentais mostra

que o seu desenvolvimento é uma função preponderante da quantidade do material combustível de que é feito o compartimento (carga de incêndio fixa) e da que é depositada nele (carga de incêndio móvel) e é função também da ventilação do compartimento o que controla o fornecimento de oxigênio à ignição já iniciada. Os modelos de incêndio que, hoje, têm interesse para projetos são as curvas $\theta(t)$ de temperaturas homogêneas em um compartimento, os modelos de incêndios naturais e os modelos em camadas, particularmente o de duas camadas.

2.4.1. Incêndio da norma ISO-834 ou da NBR 5628/1980

Historicamente, o primeiro modelo de incêndio que se propôs com a intenção de fazer testes de resistência ao fogo foi a curva denominada de “ensaio-padrão” para incêndios compartimentados com carga combustível celulósica cuja expressão é:

$$\theta(t) = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (1)$$

onde t é medido em minutos. Essa curva é monotonicamente crescente e não reflete, de início, o fato de que a carga combustível de incêndios reais se extingue com o tempo. Portanto, a Eq. (1) representa um incêndio muito severo (se a severidade for associada à elevação de temperatura), Figura 6. O gradiente de variação da temperatura com o tempo ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$) na curva do ensaio-padrão é:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1195,68}{(8t + 1)} \quad (2)$$

cuja expressão gráfica consta da Figura 7. Observa-se que, apesar de monotonicamente crescente, a curva do ensaio-padrão (também dito *incêndio-padrão*) tem gradientes de temperatura decrescentes com o tempo. Na origem, os gradientes temperatura-tempo são muito elevados como se observa da Eq. (2) e isto reflete uma semelhança com os incêndios reais, mas, ao final, quando as temperaturas dos incêndios reais são decrescentes, o “incêndio-padrão” mantém as altas temperaturas atingidas nas fases iniciais. A adoção do incêndio-padrão como incêndio de projeto significa a decisão de adotar uma condição de projeto muito severa que deve ser justificada no risco de danos a pessoas, ao meio ambiente e ao patrimônio.

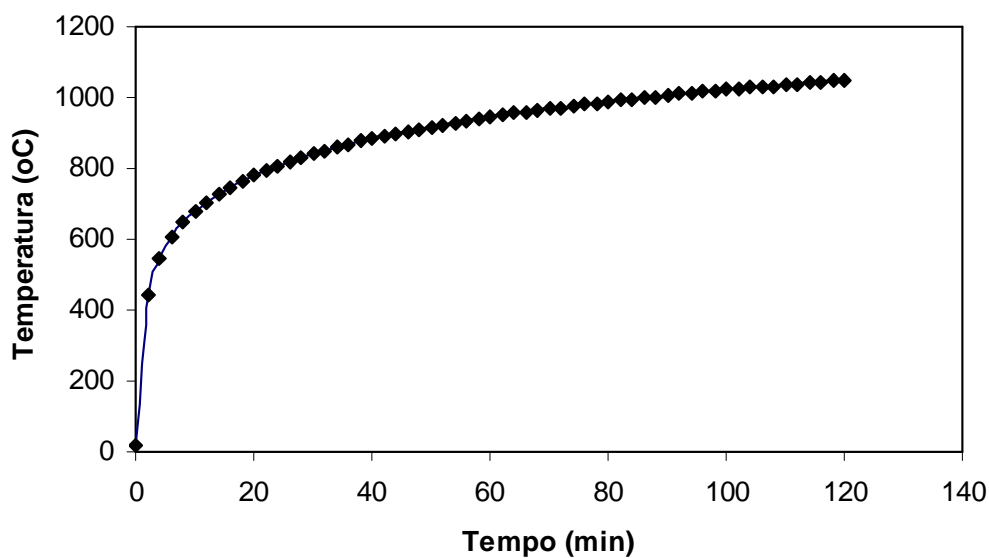


Figura 6: Curva do “incêndio-padrão” da NBR 5628/1980.

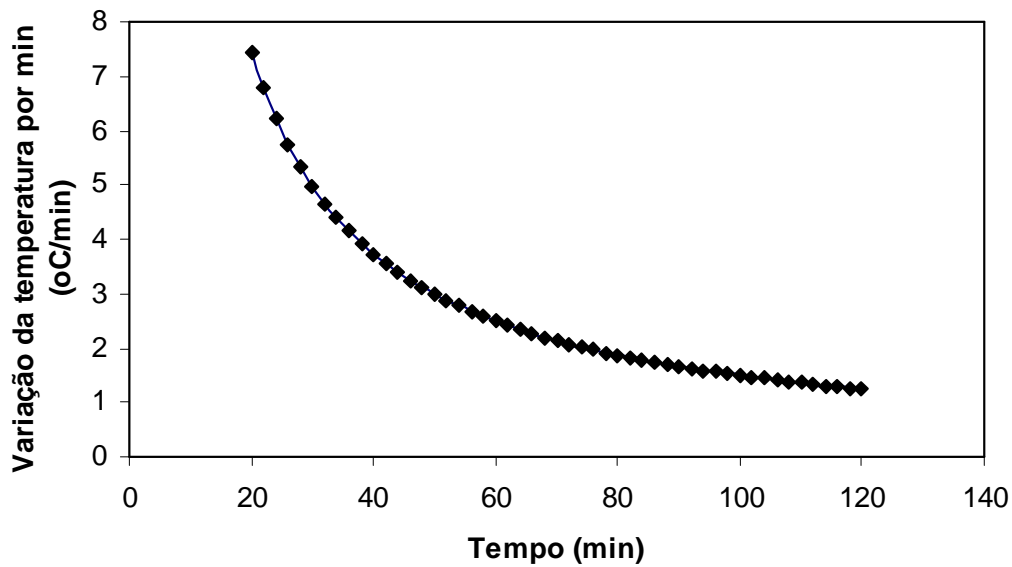


Figura 7: Gradiente temperatura-tempo da curva do incêndio-padrão.

Para cargas de incêndio típicas de hidrocarbonetos, a curva de ensaio-padrão utilizada é a fornecida pela norma BS 476 Part 20 que tem a seguinte expressão, Figura 8:

$$\theta_g = 20 + 1080(1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,0675e^{-2,5t}). \quad (3)$$

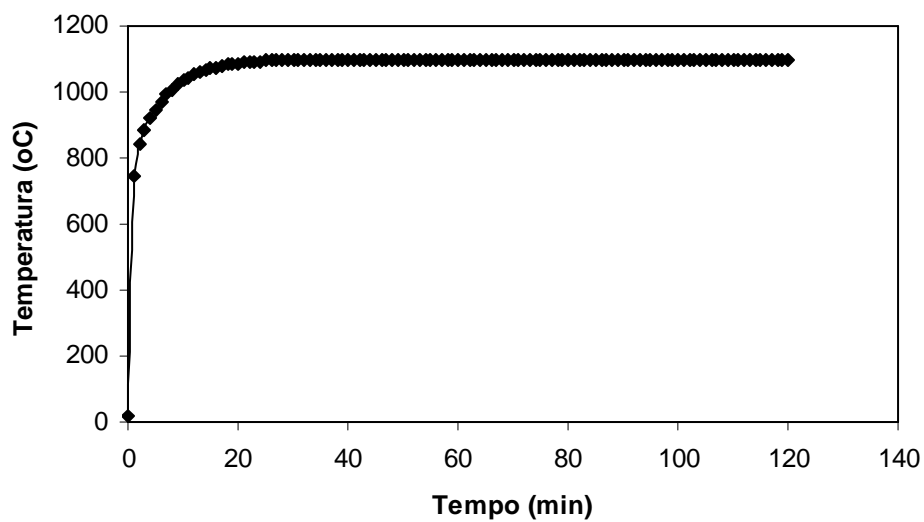


Figura 8: Curva de ensaio-padrão para carga de incêndio de hidrocarbonetos.

2.4.2. Curvas de incêndio natural

O Eurocódigo I Parte 1.2 (1995) introduziu o conceito de incêndios naturais, Figura 9, propondo curvas parametrizadas de aquecimento e de resfriamento, válidas para áreas de piso não superiores a 100m² e pés-direitos de no máximo 4m. A fase de aquecimento tem temperaturas homogêneas dadas pela equação:

$$\theta_g = 1325(1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}) \quad (4)$$

onde t^* é o tempo modificado (h) dado por

$$t^* = t\Gamma \quad (5)$$

sendo Γ o parâmetro adimensional:

$$\Gamma = \left(\frac{O}{0,04} \right)^2 \left(\frac{1160}{b} \right)^2. \quad (6)$$

A Eq. (3) fornece os mesmos resultados da curva do ensaio-padrão para $\Gamma=1$ ($O=0,04$ m^{1/2} e $b=1160$ J/(m² s^{1/2} °C) são as propriedades de referência do forno utilizado na pesquisa original) , mas observa-se que o tempo é dado em horas. O (m^{1/2}) é o fator de ventilação definido por:

$$O = \frac{A_v \sqrt{h_v}}{A_t} \quad (7)$$

sendo A_v a área de aberturas verticais no compartimento, A_t a área das superfícies do compartimento e h_v a altura média ponderada pelas áreas das aberturas verticais, isto é:

$$h_v = \frac{\sum A_{vi} h_{vi}}{\sum h_{vi}}. \quad (8)$$

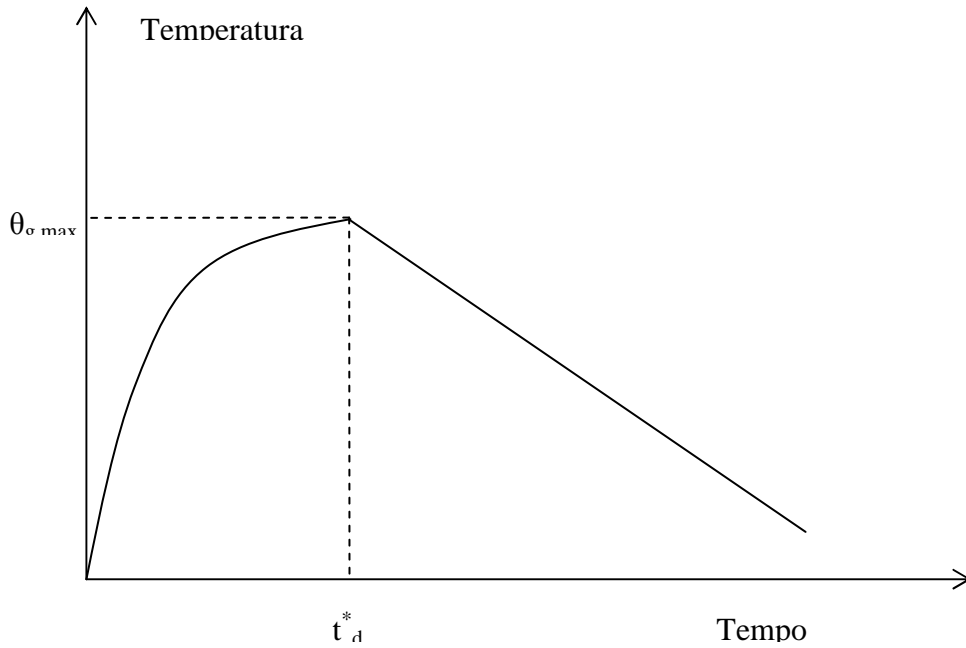


Figura 9: Curva paramétrica de incêndio natural do Eurocódigo 1 Parte 1.2

A grandeza b , propriedade térmica do material de revestimento, presente na expressão do parâmetro adimensional Γ é dada pela expressão:

$$b = \sqrt{\rho c \lambda} \quad (9)$$

onde ρ é a massa específica (kg/m^3) do material de acabamento superficial do compartimento, c é o seu calor específico ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$) e λ é a condutividade térmica desse material ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$). Para compartimentos com vários materiais de revestimento, o Eurocode 1 Parte 1.2 fornece expressões próprias para o cálculo do parâmetro b .

O tempo modificado (h) de duração da fase de aquecimento t_d^* , que depende da densidade de carga de incêndio de projeto do compartimento considerado ($q_{t,d}$ em MJ/m^2), do fator adimensional Γ e do fator de ventilação O , é dado pela expressão:

$$t_d^* = 0,00013 \frac{q_{t,d} \Gamma}{O}. \quad (10)$$

A fase descendente do incêndio natural é dada por um segmento de reta cujo coeficiente angular depende do tempo de duração da fase de aquecimento, isto é:

$$\begin{aligned} \theta_g &= \theta_{g,\max} - 625(t^* - t_d^*) \quad \text{para } t_d^* \leq 0,5; \\ \theta_g &= \theta_{g,\max} - 250(3 - t_d^*)(t^* - t_d^*) \quad \text{para } 0,5 \leq t_d^* < 2,0; \\ \theta_g &= \theta_{g,\max} - 250(t^* - t_d^*) \quad \text{para } t_d^* \geq 2,0. \end{aligned} \quad (11)$$

O modelo de incêndio natural visto acima tem a desvantagem de ser um modelo homogêneo e a condição de homogeneidade restringe a aplicabilidade a compartimentos de volumes relativamente pequenos, no máximo da ordem de 400m^3 . Para volumes maiores, a não homogeneidade da distribuição de temperatura não pode ser ignorada.

2.5. Modelo de duas camadas

2.5.1. A Grandeza do Incêndio

As primeiras idéias de simulação dos incêndios focalizaram sempre a obtenção de curvas $\theta(t)$ adequadas para representar a distribuição de temperaturas no ambiente em função do tempo. Tanto a curva de “ensaio-padrão” quanto as curvas de incêndios naturais têm origem no *início do desenvolvimento* do incêndio e não no *início de ignição*, Figura 10.

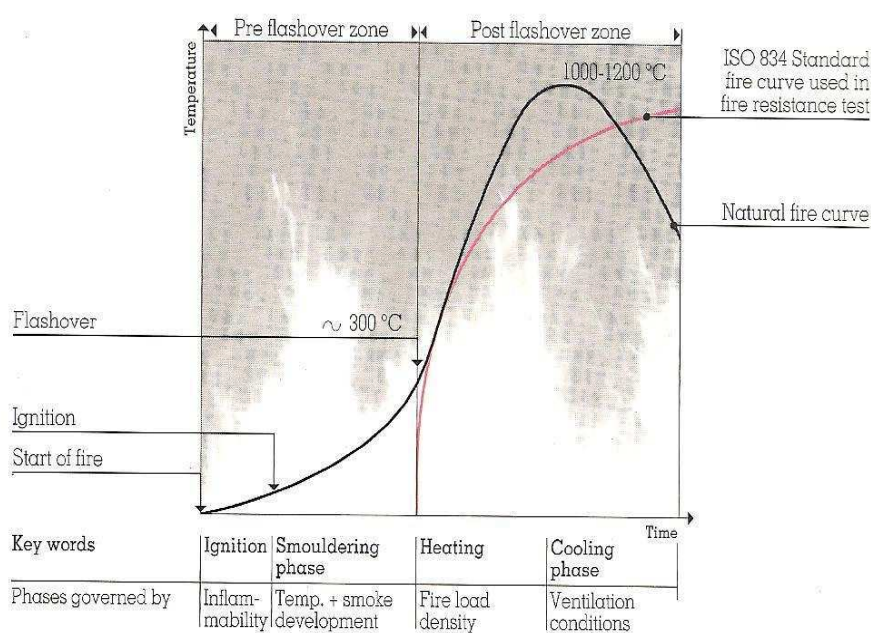


Figura 10: Curvas $\theta(t)$ – origem da escala de medida das temperaturas.

Porém, a fase de início de ignição é importante na simulação do escape e da operação dos equipamentos de proteção ativa. Por outro lado, a elevação de temperatura é um efeito

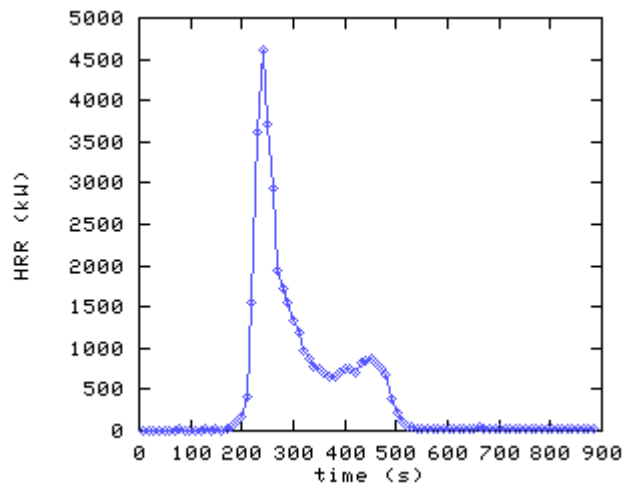
decorrente da quantidade de calor liberada em um incêndio e depende de outras variáveis importantes como as propriedades térmicas dos materiais de acabamento das superfícies, do grau de ventilação e da grandeza da carga de incêndio. As curvas $\theta(t)$ vistas não consideram essas variáveis a não ser indiretamente, no caso das curvas de incêndio naturais, em que elas são consideradas para determinar a duração do incêndio.

Uma abordagem alternativa do modelamento de incêndios consiste em considerar a quantidade de calor liberada pelo incêndio no tempo. Isto é, seja a quantidade de calor liberada pelo incêndio no intervalo de tempo dt . Define-se a *razão de liberação de calor de um objeto - RLC* ou *função de potência do incêndio*⁴ à grandeza Q :

$$Q = \frac{dq}{dt} = f(t). \quad (12)$$

O conecalorímetro é um equipamento que permite medir a razão de liberação de calor de um objeto. Uma curva Q_{xt} (variação da potência do incêndio no tempo) típica é mostrada na Figura 11 correspondente ao ensaio em conecalorímetro de uma cama de madeira do tipo beliche, Figura 12. Observa-se que a RLC máxima se obtém diretamente da curva e, calculando-se a área sob a curva, tem-se a quantidade de calor total liberada pelo objeto. O objeto que inicia um incêndio é um dos elementos admitidos em um *cenário de incêndio* e gera um *incêndio de projeto*.

⁴Com a criação do conecalorímetro por V. Brabauskas, na década de 1980, popularizou-se a descrição de um incêndio pela Heat Release Rate – HRR que aqui se traduz por “razão de liberação de calor - RLC”, mais comumente associada ao objeto que inicia o incêndio, ou a “potência do incêndio”. Note-se que o símbolo usado internacionalmente é Q e não P .



Fonte: FASTData NIST Fire Test Database 75.

Figura 11: Razão de liberação de calor de uma cama do tipo beliche.



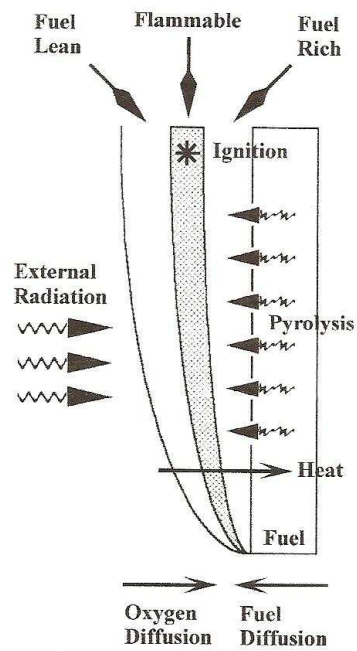
Fonte: FASTData NIST Fire Test Database 75.

Figura 12: Incêndio em cama do tipo beliche.

A expressão *início de ignição* marca o início de uma combustão com chamas. Para muitos sólidos, o *início de ignição* requer a incidência de um fluxo de calor externo sobre o combustível (ignição com chama piloto) de modo a aquecê-lo para que se inicie um processo irreversível de pirólise capaz de manter o processo de combustão na presença do oxigênio do ar. A Figura 13 mostra esquematicamente um modelo unidimensional de um *início de ignição*.

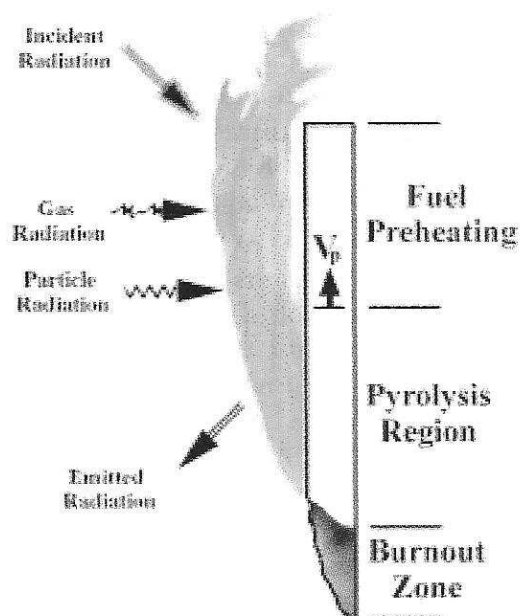
Para um dado material, a ignição iniciada por chama piloto é controlada pela quantidade de calor que atinge a superfície do corpo. O fluxo de calor incidente deve elevar a temperatura da superfície suficientemente para gerar a decomposição térmica ou pirólise do material, criando uma região próxima ao piloto que esteja a uma temperatura acima do limite de inflamabilidade da mistura do ar ambiente com os produtos voláteis da pirólise. Uma vez instalada uma combustão autosustentada, o calor gerado por ela provoca a propagação das chamas, Figura 14, impulsionada pelo efeito de empuxo, admitindo-se a convecção natural no ambiente. Tudo se passa, portanto, como se o objeto em combustão fosse uma bomba que impulsiona gases e partículas sólidas (fumaça) para cima.

Da compreensão desse mecanismo básico de combustão, surgem os modelos de incêndios que se denominam de *modelos em camadas*, ou *zone models*, sendo o mais difundido o *modelo em duas camadas*. O modelo de duas camadas consiste em admitir-se que no ambiente compartimentado a atmosfera divide-se em duas camadas de gases, a saber: a *camada superior* onde os gases têm as temperaturas mais elevadas de todo o ambiente, e a *camada inferior* onde os gases estão a temperaturas relativamente mais baixas. A separação entre ambas se dá por uma superfície imaginária denominada simplesmente de *interface*. Fisicamente, a interface é a região do espaço de menor altura em relação ao piso onde se percebem os primeiros traços do incêndio (gases quentes e partículas sólidas).



Fonte: R. Pehrson. Prediction of Fire Growth on Furniture Using CFD.
PhD Thesis. Worcester Polytechnic Institute. 1998.

Figura 13: Modelo unidimensional de início de ignição.



Fonte: R. Pehrson. Prediction of Fire Growth on Furniture Using CFD. PhD
Thesis. Worcester Polytechnic Institute. 1998.

Figura 14: Propagação vertical de chamas.

A Figura 15 ilustra o modelo de duas camadas em um compartimento. Segundo esse modelo, o que ocorre no ambiente pode ser descrito assim: a ignição se inicia em um determinado objeto (na figura, o objeto é um sofá) e produz gases quentes que se elevam rumo ao forro, formando uma coluna de fumaça que se denomina “pluma”. O oxigênio existente no ambiente mistura-se aos gases o que se chama de *entranhamento de ar na pluma*.

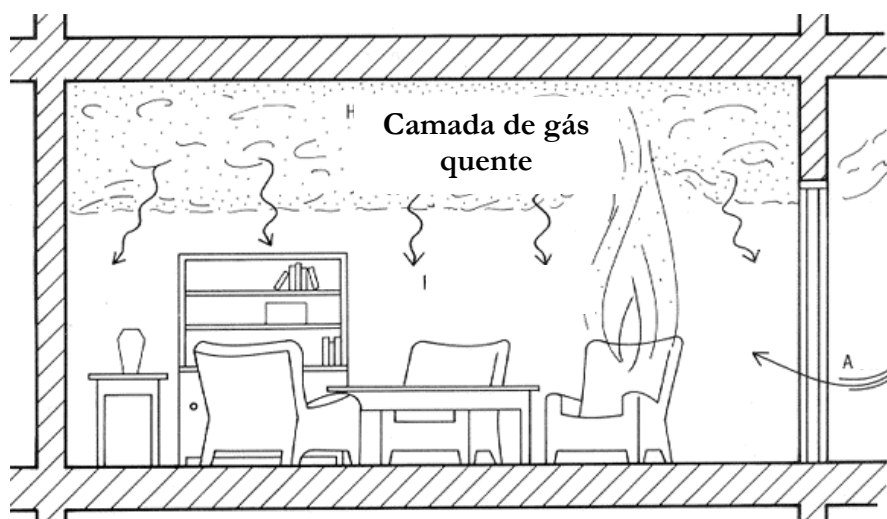


Figura 15: Descrição do incêndio: modelo de duas camadas.

Em geral, a quantidade de oxigênio disponível em um compartimento fechado é insuficiente para provocar a combustão de todo o volume de gases produzidos. Então, forma-se sob o forro uma camada de gases combustíveis misturados a fumaça e a partículas sólidas em suspensão denominada de *camada ou colchão de gases quentes (smoke layer)*. O colchão de fumaça ocupa uma região que se denomina *reservatório de*

fumaça (smoke reservoir) que se forma por uma certa área da cobertura (denominada de *área de acantonamento*) e uma certa altura de *painéis de fumaça*.

Se o processo de ignição continua, a espessura da camada superior cresce, ao mesmo tempo em que a sua temperatura aumenta. Em consequência, os gases situados na parte inferior do compartimento formam uma camada ligeiramente mais fria cuja espessura decresce continuamente, se não houver, de algum modo, exaustão dos gases quentes.

A camada superior pode ter grande volume de gases combustíveis, porque a quantidade de oxigênio no ambiente pode ser insuficiente. Nesse caso, havendo uma súbita injeção de oxigênio no ambiente, seja pela abertura de uma porta ou pela ruptura dos vidros de uma janela, haverá a combustão rápida desses gases, gerando grande volume de chamas na parte superior do compartimento – é o *flashover*⁵, ou “clarão por cima”– e intensa radiação de calor sobre os demais objetos do compartimento que, assim, atingem a temperatura de ignição espontânea, generalizado o incêndio.

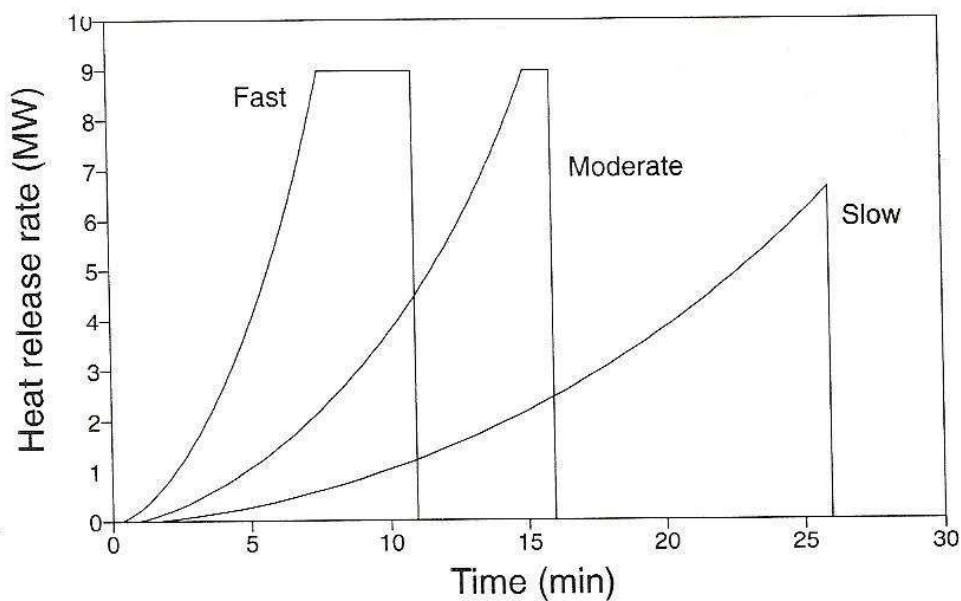
O modelo de duas camadas é muito útil na análise do risco de incêndio em edificações. Muitas conclusões podem ser estabelecidas a partir dele, como, por exemplo, o *tempo disponível para o escape seguro* e as *condições de sustentabilidade* da vida humana em função do tempo de desenvolvimento do incêndio.

No modelo de duas camadas, em geral, é de interesse determinar-se a variação da espessura da camada superior com o tempo de início do incêndio e a temperatura média

⁵A palavra “*flashover*” vem da junção de “*flash*” que significa “lampejo, clarão”, e “*over*” que significa “sobre ou por cima” de alguma coisa. Logo, o *flashover* quer dizer o súbito clarão provocado pelas chamas que decorrem da combustão instantânea dos gases na camada superior do compartimento.

dos gases quentes nessa camada. A camada inferior tem temperaturas relativamente baixas e maior visibilidade.

Nas normas técnicas, os incêndios costumam ser classificados, quanto ao seu desenvolvimento, em estáveis e instáveis. Incêndios estáveis são aqueles que, após um certo nível de desenvolvimento (em geral, o suficiente para a entrada em operação de medidas de proteção ativa), permanecem estabilizados em uma dada potência ou razão de liberação de calor, Figura 16. Nestas curvas, observa-se a fase parabólica ou “ t^2 ” da potência do incêndio e o patamar de estabilização.



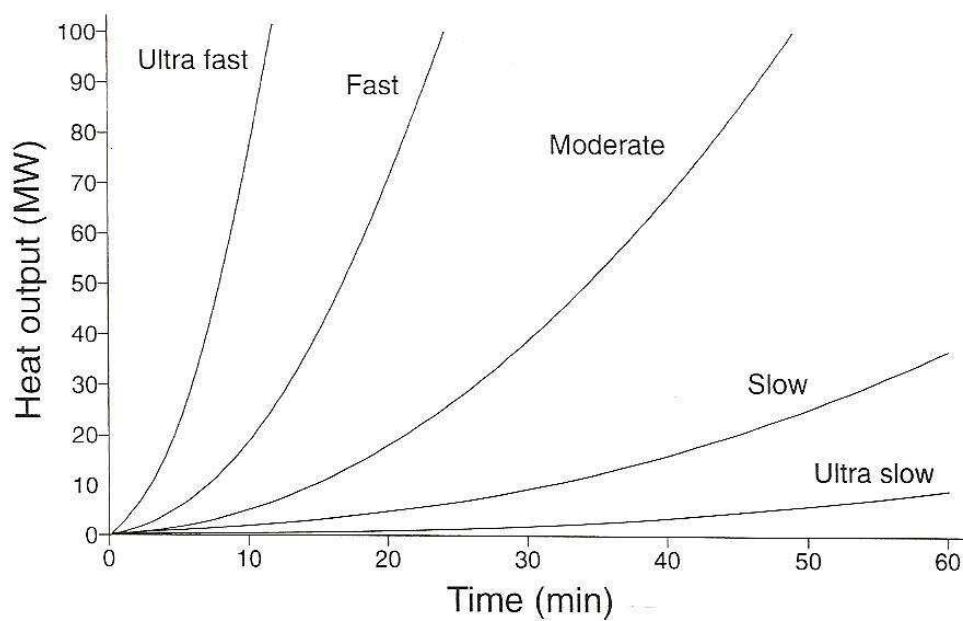
Fonte: A H Buchanan. Fire Engineering Design Guide. Univ. of Canterbury. Canterbury. 1994

Figura 16: Incêndios “ t^2 ” estáveis.

O modelamento da fase de crescimento dos incêndios é feito, então, com o emprego de uma *taxa de desenvolvimento do incêndio k* função da natureza da carga de incêndio do compartimento, Tabela 2. Desse modo, tem-se:

$$Q = \left(\frac{t}{k} \right)^2. \quad (13)$$

A Figura 17 ilustra curvas $Q(t)$ para a fase de crescimento de incêndios denominados lentos, moderados, rápidos e ultra-rápidos. Observa-se que a referência dos tempos é o início de ignição ao contrário dos modelos $\theta(t)$ estudados que têm origem no início de desenvolvimento do incêndio.



Fonte: A H Buchanan. Fire Engineering Design Guide. Univ. of Canterbury. Canterbury. 1994

Figura 17: Fase de desenvolvimento de incêndios modelo “ t^2 ”

Taxa de desenvolvimento de incêndio	k (s/MW^{1/2})	Incêndio real típico
Lento	600	Madeira sólida disposta horizontalmente como em pisos
Moderado	300	Mobília de madeira sólida
Rápido	150	Mobília leve de madeira
Ultra-rápido	75	Móveis estofados

Fonte: A H Buchanan. Fire Engineering Design Guide. Univeristy of Canterbury. Canterbury. 1994

Tabela 2: Taxas de desenvolvimento de incêndio típicas.

Normas como NFPA 92B fornecem formulações para o estudo da camada superior de incêndios estáveis. Estas formulações estão além do escopo do presente trabalho, mas o que foi exposto sobre o modelamento de incêndios já permite concluir sobre que tipos de dados o processo de documentação deve aportar à análise de riscos em incêndio e ao projeto de prevenção de edificações em sítios históricos.

2.6. Documentação e análise de risco de incêndio

A análise de risco de incêndio é a ferramenta que se emprega para determinar o nível atual de risco de incêndio em uma edificação e para determinar o conjunto de medidas de segurança que nela deve ser adotado para reduzir o risco de incêndio a um nível máximo aceitável.

A expressão “risco de incêndio” aqui significa o risco de que uma ignição inicial, aleatória, se desenvolva, generalizando-se em um incêndio severo. No caso dos sítios históricos, considera-se a possibilidade de a generalização vir a atingir as edificações vizinhas.

Para determinar o risco de incêndio, o método proposto pelo LARIn que resultou na Instrução Técnica N. 35 do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais considera a existência na edificação e no seu entorno de parâmetros de risco aos quais se atribuem pesos, denominados de fatores de risco. A Tabela 3 mostra os fatores de risco adotados. Observa-se que a origem dos parâmetros de risco pode estar associada à carga de incêndio, ao compartimento ou à política de preservação.

Origem	Parâmetros	Símbolo	Fator
Carga de incêndio	Densidade de carga de incêndio	q	f ₁
	Altura do compartimento	H, S	f ₂
Compartimento	Distância da unidade do corpo de bombeiros mais próximo	D	f ₃
	Condições de acesso à edificação	-	f ₄
	Perigo de generalização	-	f ₅
Política de preservação	Importância específica da edificação	-	f ₆

Tabela 3: Parâmetros e fatores de risco.

O produto dos fatores de risco associados aos parâmetros de risco presentes em uma edificação gera uma medida da “exposição ao risco de incêndio” da edificação. Trata-se de uma medida determinística do nível de perigo de incêndio existente na edificação.

De forma inteiramente análoga, na edificação e no seu entorno encontram-se instalados parâmetros de segurança cuja intensidade se mede por “fatores de segurança”. A Tabela 4 mostra os parâmetros e os fatores de segurança considerados no presente método. O produto dos fatores de segurança gera a “segurança da edificação”, considerando que todas as medidas de segurança estejam operacionais o tempo todo.

Grupo de medidas	Medidas	Fatores
Medidas sinalizadoras do início de incêndio	Alarme de incêndio manual	S ₁
	Detector de calor e fumaça	S ₂
	Detector de calor e fumaça automático	S ₃
Medidas extintivas	Aparelhos extintores	S ₄
	Sistema fixo de gases	S ₅
	Brig. de inc. plantão expediente	S ₆
	Brig. de inc. plantão permanente	S ₇
	Chuveiros automáticos internos	S ₈
	Chuveiros automáticos externos	S ₉
	Hidrantes – reservatório público	S ₁₀
	Hidrantes – reservatório particular	S ₁₁
	Reserva de água	S ₁₂
Medidas estruturais	Resistência ao fogo ≥ 30	S ₁₃
	Resistência ao fogo ≥ 60	S ₁₄
	Resistência ao fogo ≥ 90	S ₁₅
	Resistência ao fogo ≥ 120	S ₁₆
Medidas políticas	Planta de risco	S ₁₇
	Plano de intervenção	S ₁₈
	Plano de escape	S ₁₉
	Sinalização das saídas	S ₂₀

Tabela 4: Medidas de segurança.

O incêndio em um compartimento da edificação pode ser ativado por fatores de risco, estes de natureza probabilística. No método propostos pelo LARIn, os riscos de ativação podem ser reunidos em três classes, quais sejam:

- (a) riscos decorrentes diretamente da atividade humana que incluem os riscos devidos à natureza da ocupação da edificação e os devidos a falha humana;
- (b) riscos decorrentes das instalações que compreende o das instalações elétricas e de gás;
- (c) riscos devidos a fenômenos naturais, sendo importantes no Brasil o decorrente das descargas atmosféricas, salvo casos especiais que devem ser identificados pelo profissional de projeto.

O produto dos fatores de riscos de ativação resulta no “risco de ativação da edificação”. Por sua vez, o produto da “exposição ao risco de incêndio” pelo “risco de ativação” resulta no “risco de incêndio da edificação”. O balanço entre a “segurança da edificação” e o “risco de incêndio da edificação” resulta em uma medida do coeficiente de segurança ao risco de desenvolvimento de um incêndio severo que deve ser sempre maior que o mínimo admissível.

Dessa breve exposição dos fundamentos do método do LARIn, pode-se concluir que a documentação da edificação deve resultar em um conjunto amplo de dados delineado na Tabela 5. Conclui-se que de uma forma ideal a documentação da edificação deve produzir todos esses dados.

Grupo de dados	Itens a considerar
Ambientais	Meio ambiente
	Condições de acesso de bombeiros e equipamentos
	Tempo de resposta dos bombeiros
Relativos ao projeto arquitetônico	Tipo de construção
	Geometria e interconexão dos espaços
	Subdivisão interna da edificação
	Dimensões
	Número de andares incluindo subsolo
	Afastamento dos vizinhos
	Posição da cobertura em relação aos vizinhos
	Aberturas das fachadas
	Rotas de circulação normal
	Rotas de escape
Relativos aos ocupantes	Outros parâmetros
	Número e agrupamento social
	Distribuição no espaço e no tempo
	Caracterização dos usos
	Mobilidade e estado de atenção dos ocupantes
	Familiaridade com o edifício
	Tipo de atividade
	Pontos de concentração

	Outros parâmetros
Cômodos ⁶	Acabamento de paredes, pisos e forros
	Aberturas: dimensões e afastamentos
	Ventilação
	Nível de ruído interno
	Conteúdo combustível
	Fontes potenciais de início de ignição
	Operações e riscos de ativação
	Possíveis rotas de propagação de fogo
	Possíveis rotas de propagação de fumaça
	Outros parâmetros
Outros	Contacto para novas informações
	Qualidade e periodicidade da manutenção
	Restrições de projeto
	Mudanças futuras do <i>lay-out</i> e do uso
	Medidas de segurança já implementadas

Tabela 5: Levantamento de dados – lista dos itens necessários.

⁶O levantamento é feito nos diversos cômodos de uma edificação; somente a análise posterior poderá definir que cômodos ou conjuntos de cômodos definem compartimentos.

Capítulo 3

Levantamento Arquitetônico

3.1. Levantamento arquitetônico

O levantamento arquitetônico apóia uma série de atividades relacionadas a arquitetura e ao urbanismo como: restauração de edifícios, documentação de sítios e monumentos históricos, análise urbana, planejamento das cidades etc.

Realizar um levantamento arquitetônico significa representar com a precisão requerida os elementos significativos, indispensáveis à caracterização e ao reconhecimento da edificação, e também a simplificação a ser feita, necessariamente, seja pela escala de redução, seja pela representação bidimensional, para uma dada finalidade.

O levantamento constitui um elemento importante em um processo que pretende alcançar um conhecimento completo da edificação, conhecimento este que se desenvolve em várias fases que podem ser resumidas assim (DOCCI, 1987: 191):

- (a) conhecimento preliminar da edificação a cadastrar (formas, dimensões, noções sobre os aspectos históricos e culturais) e escolha das técnicas de levantamento;
- (b) levantamento cadastral, que inclui a representação gráfica do objeto através de esboços cotados e/ou fotografias;
- (c) representação gráfica, que compreende o desenho técnico com nível de detalhe e precisão requerida;
- (d) leitura, análise e aprofundamento sobre a edificação através do levantamento, da documentação histórica e bibliográfica.

Para Cramer (1986:13), o levantamento de um edifício é, fundamentalmente, o processo contrário ao de projeção. As idéias concebidas pelo arquiteto são representadas a partir de uma série de desenhos (plantas, cortes, fachadas, detalhes) e informações (materiais construtivos, sistemas estruturais etc). Um edifício é construído a partir desses dados. Com o passar dos anos, uma edificação sofre modificações, ampliações ou demolições. O papel do levantador consiste em “recapturar esse processo”: do edifício existente devem surgir novas plantas que descrevam exatamente sua forma atual.

Foramitti (1973:5) ressalva a importância de saber diferenciar a forma aparente da forma real de um objeto. A forma aparente é aquela percebida por um espectador a partir de um certo ponto de vista (como por exemplo uma fotografia). A forma real é a que pode ser expressa somente por meio de desenhos precisos em escala. A forma real apresenta dois aspectos: a forma teórica, concebida inicialmente pela arquitetura e a forma efetiva, que representa o estado atual do monumento, com todas as suas irregularidades, modificações e deformações obtidas ainda na construção ou no decorrer do tempo, sendo de interesse ao arquiteto, em trabalhos de conservação, projetos de reforma e restauro, a forma efetiva.

3.2. Tipos de levantamento arquitetônico

Existem diversas técnicas para o levantamento das formas arquitetônicas, sendo que a técnica a ser utilizada depende de fatores, como localização do objeto, extensão, precisão requerida e forma de apresentação dos resultados. O método escolhido deve ser o que apresenta maior viabilidade de execução dentro dos custos e prazos determinados.

Os principais métodos de levantamento são:

- (a) medição direta;
- (b) métodos topográficos;
- (c) 3D *Laser scanning* terrestre;
- (d) GPS;
- (e) fotografia;
- (f) fotogrametria terrestre.

Os métodos de levantamento podem ser classificados de acordo com alguns aspectos como mostra a tabela abaixo:

Métodos de levantamento	Classificações		
	(1) Forma de obtenção dos dados	(2) Local de obtenção dos dados	(3) Determinação dos pontos de interesse
Medição direta	direto	em campo	em campo
Métodos topográficos	indireto	em campo	em campo
<i>3D Laser scanning</i>	indireto	em campo	posteriormente
GPS	direto	em campo	em campo
Fotografia	indireto	nas imagens	posteriormente
Fotogrametria	indireto	nas imagens	posteriormente

Tabela 6: Classificação dos métodos de levantamento. (GROETELAARS, 2004).

O tipo de produto desejado é um importante fator determinante do método de levantamento a ser escolhido, já que os diferentes métodos produzem diferentes produtos.

Métodos de levantamento	Principais produtos obtidos
Medição direta	desenhos
Métodos topográficos	dados numéricos, desenhos
<i>3D Laser scanning</i>	nuvem de pontos, modelos geométricos 3D
GPS	dados numéricos, desenhos
Fotografia	fotos corrigidas, desenhos
Fotogrametria	dados numéricos, desenhos, modelos geométricos 3D fotorrealísticos ou não, fotos retificadas e ortofotos

Tabela 7: Métodos de levantamento e seus principais produtos. (GROETELAARS, 2004).

O tipo do objeto e a finalidade do cadastro também são fatores determinantes para a escolha dos procedimentos e técnicas a serem adotados. Edificações de pequenas dimensões e com pouca complexidade podem ser levantadas facilmente com o método da medição direta. Já em construções complexas, de grandes dimensões, que requerem precisão elevada, devem ser adotados outros métodos mais eficazes e precisos como a Fotogrametria ou o *3D Laser scanning*.

Na prática, os métodos de levantamento integram-se em vários casos. Como, por exemplo, muitos cadastramentos efetuados com o método direto têm medidas levantadas com os instrumentos topográficos. Analogicamente, o levantamento fotogramétrico recorre freqüentemente ao levantamento topográfico, seja para situar as estações, seja

como método de controle. O responsável pelo levantamento deve ter, portanto, o pleno domínio de todos os métodos, a fim de que possa decidir qual ou quais desses métodos empregar para cada caso específico (DOCCI, 1987: 192).

Resumidamente podemos concluir que a escolha adequada da técnica e dos procedimentos a serem adotados no levantamento depende do conhecimento, por parte do levantador, dos seguintes aspectos:

- (a) finalidade do levantamento;
- (b) características dimensionais e qualitativas do objeto;
- (c) métodos de levantamento disponíveis;
- (d) forma de apresentação dos produtos

3.2.1. Medição direta

A medição direta é a técnica mais comum e antiga de levantamento. É efetuada com o auxílio de instrumentos simples de medição linear (trenas e escalas), combinadas com dispositivos de controle da verticalidade (fios de prumos de face e de centro) e da horizontalidade (níveis de mangueira e de pedreiro, também chamado de nível de bolha), como observado na figura 18. Os instrumentos utilizados nessa técnica exigem o acesso a todos os pontos de interesse da edificação, entre os quais são realizadas as medições.



Figura 18: Instrumentos de medição direta: trena, fio prumo, escala e bolha de nível.

Neste método, destacamos como vantagem a obtenção imediata de medidas, a utilização de recursos de fácil acesso e baixo custo, o contato direto e tátil com a edificação e a

adequação ao cadastramento de edificações de dimensões não muito grandes. Porém, o método é lento e requer muito tempo para interpretação de croquis e elaboração de desenhos técnicos, principalmente nos casos de edificações complexas, podendo ocorrer também a propagação de erro no levantamento. Além disso, pode ser necessária a utilização de andaimes ou recursos similares para aquisição de algumas medidas, tornando o processo demorado e/ou mais caro.

Este método na maioria das vezes é associado ao da fotografia, visto que é necessário várias visitas a edificação levantada para solucionar dúvidas a respeito de medidas e desenhos, dúvidas estas que podem ser, algumas vezes, resolvidas a partir de uma fotografia. Em edificações com mais de um pavimento também ocorre a dificuldade em fazer com que todas as plantas se encaixem no desenho final. Por fim, considerando as edificações históricas, que em sua maioria, devido às técnicas construtivas aplicadas, não possuem paredes regulares e perpendiculares, a dificuldade na aquisição de medidas e posicionamentos corretos é considerável.

Um exemplo que ilustra as descrições acima foi o levantamento da República Ninho do Amor, localizada na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais. A república possui quatro pavimentos, três acima do nível da rua e um subsolo utilizado para festas, além de uma área descoberta aos fundos que se encontra em nível inferior ao subsolo.

Todas as plantas da casa foram produzidas com o método da medição direta o que levou cerca de um mês de intenso trabalho, mas, para a produção das fachadas foram utilizadas fotografias como base já que devido ao gabarito da edificação não foi possível retirar suas medidas relacionadas a altura, como mostra a figura 19. Com as fotografias posicionadas e com algumas medidas retiradas como pé direito, espelho, alturas de portas, peitoris etc., foi realizado o levantamento. A fotografia da fachada não pode ser tomada perpendicular a mesma devido ao tamanho da caixa da rua.

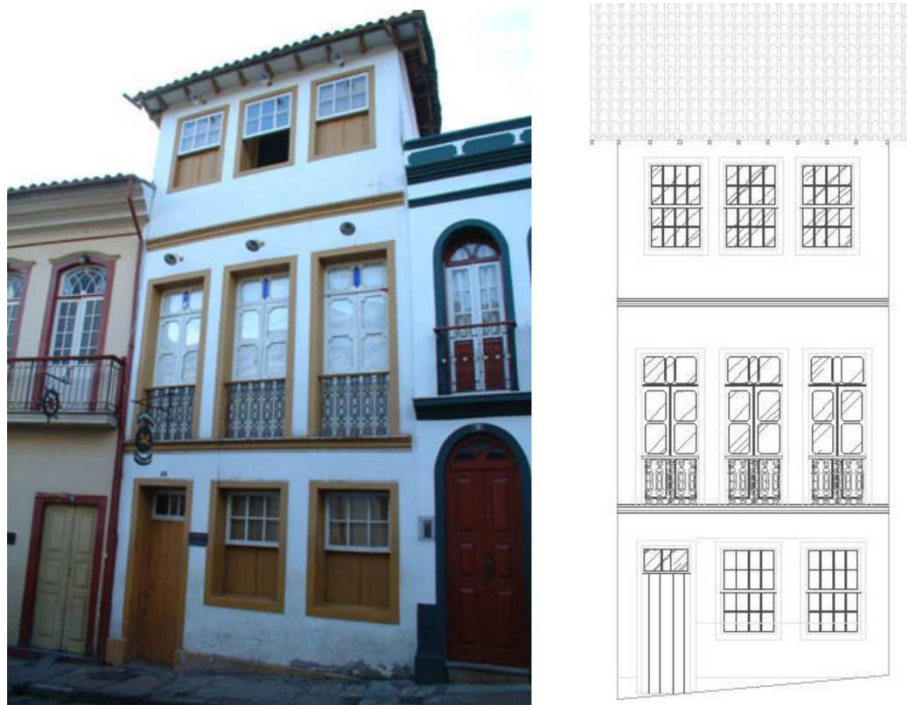


Figura 19: Fotografia da fachada principal da República Ninho do Amor e vetorização a partir da fotografia.

3.2.2. Métodos topográficos

O método topográfico consiste em um conjunto de técnicas e processos que permitem a medição de ângulos e distâncias com a utilização de instrumentos adequados, dentre eles os teodolitos, os distanciômetros e as estações totais, figura 20.



Figura 20: Instrumentos do método topográfico: teodolito, distanciômetro e estação total.

É um sistema de aquisição de dados que possibilita a determinação das coordenadas cartográficas de um conjunto de pontos que representem geometricamente uma parcela da superfície de um determinado terreno, com rigor e aproximação necessária, figura 21.

Neste tipo de levantamento, as medições devem estar amarradas a pontos locados anteriormente. Qualquer erro na medição desses pontos será propagado para a locação dos pontos posteriores.

As maiores desvantagens do método topográfico são: a necessidade de campos visuais que permitam a visualização dos pontos a serem levantados, a necessidade do uso de croquis, a lentidão para se obter formas de superfícies com grande número de pontos de interesse e o custo relativamente elevado do levantamento. Além disso, é uma técnica que não permite a obtenção dos dados em tempo real, uma vez que é necessário o processamento dos dados de campo e o posterior desenho. É usado geralmente como método complementar às técnicas de medição direta e fotogramétrica, no levantamento de pontos de controle.

Este método é utilizado com intensa frequência por arquitetos e engenheiros para posicionamento das edificações com relação ao terreno, as plantas produzidas também podem ser trabalhadas com diversos softwares e gerarem modelos 3D, como ilustra a figura 22.

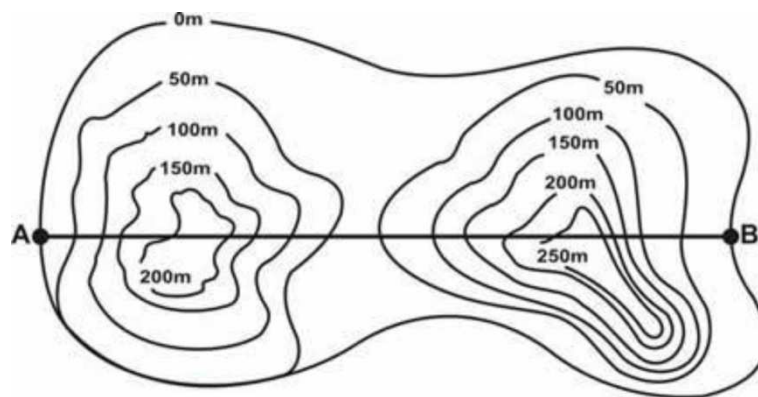


Figura 21: Planta topográfica.

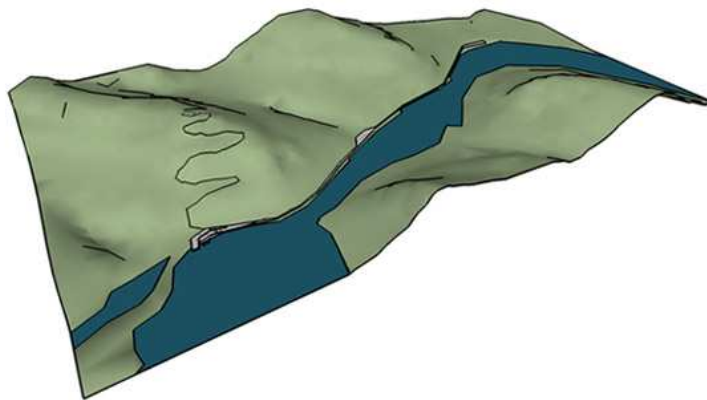


Figura 22: Planta topográfica tridimensional.

3.2.3. 3D Laser Scanning

O sistema de levantamento por varredura a *laser* é uma tecnologia desenvolvida nos últimos anos, primeiramente, para fins industriais, mas que tem se mostrado uma poderosa técnica de levantamento e modelagem de objetos de diversos tipos e situações, como tamanho e complexidade variados (centros urbanos, edificações, detalhes arquitetônicos, esculturas etc.). É um sistema de modelagem 3D das partes externas dos objetos, onde suas superfícies são representadas através de um conjunto de pontos (nuvem de pontos). Pode ser instalado em diversas plataformas, sejam terrestres ou aéreas.

O equipamento *laser scanner* terrestre é composto basicamente por três unidades: o próprio *scanner* (geralmente fixado em um tripé), um microcomputador portátil (unidade de controle) e uma bateria (que fornece energia para o *scanner*), figura 23.



Figura 23: Modelo de um aparelho de *scanner*.

O *laser scanner* funciona basicamente da seguinte forma: os dados coletados pelo sistema são transferidos imediatamente para um computador, o qual possui um software específico para o processamento dos sinais emitidos e capturados, de modo a determinar no espaço a posição de cada um dos pontos a partir dos quais os raios são refletidos. Este conjunto de pontos levantados constitui um modelo geométrico do objeto chamado de “nuvem de pontos”, figura 24.



Figura 24: Exemplo de imagem capturada por *scanner* – nuvem de pontos.

O levantamento utilizando este método é caracterizado pela rapidez e precisão do trabalho, porém é uma tecnologia ainda cara e que pode ser dificultada devido a presença de obstáculos localizados próximo ao objeto levantado.

3.2.4. GPS

O Sistema de Posicionamento por Satélite (*Global Position System*) é um sistema de navegação por satélite desenvolvido pela Força Aérea dos EUA durante as décadas de 70 e 80, e colocado em operação na década de 80. Pode ser usado em quaisquer condições meteorológicas para determinar posição (latitude, longitude e altitude), velocidade e tempo em relação a um sistema de referência definido para qualquer ponto, sobre ou próximo, da superfície da terra (SOUZA, 2001:25).

A precisão e a rapidez desse método fazem do GPS um instrumento utilizado para diversas aplicações como, por exemplo, navegação, levantamentos cadastrais urbanos e rurais. Porém, uma das limitações do GPS diz respeito à possibilidade de obstrução do

sinal dos satélites por edifícios, árvores, pontes, etc., impedindo seu emprego em tais situações.

É um método ainda pouco utilizado para levantamentos na área da arquitetura e urbanismo devido a maior facilidade e acesso aos demais métodos descritos acima.



Figura 25: Modelo de aparelho GPS.

3.2.5. Fotografia

A fotografia é parte essencial na documentação e confecção de desenhos em escala e no desenvolvimento de inventários (CRAMER, 1986:97). Através da fotografia é possível registrar aspectos particulares da obra, de difícil representação por outros métodos. A fotografia reproduz uma grande quantidade de pontos (visíveis de determinado ângulo) do objeto fotografado, não efetuando seleção ou síntese como no desenho (DOCCI, 1987: 257).

A fotografia pode auxiliar o serviço de levantamento no sentido da produção de croquis, quando não é necessário um desenho rigoroso em escala, servindo de base para anotações e observações. Também, para complementação de informações de um levantamento, como por exemplo, na representação de detalhes arquitetônicos e, por fim, para levantamento de formas planas ou com pouco relevo (fachadas, paredes etc.).

Essas aplicações utilizam técnicas simples que podem ser adotadas como método complementar às técnicas de levantamento topográfico ou medição direta, tanto para

facilitar o desenho de croquis como para facilitar o traçado de detalhes de difícil representação pelos métodos convencionais. Porém, para a obtenção de produtos com maior precisão e aplicações variadas que independem da forma do objeto, devem-se utilizar outros métodos.

Quando não há a preocupação com escalas e medidas e com imagens tomadas de ângulos corretos, as fotografias pode ser colocada em uma trama com o auxílio de algum programa como o CorelDraw e posteriormente vetorizada gerando modelos com um bom grau de detalhamento para documentações mais simples, figura 26.

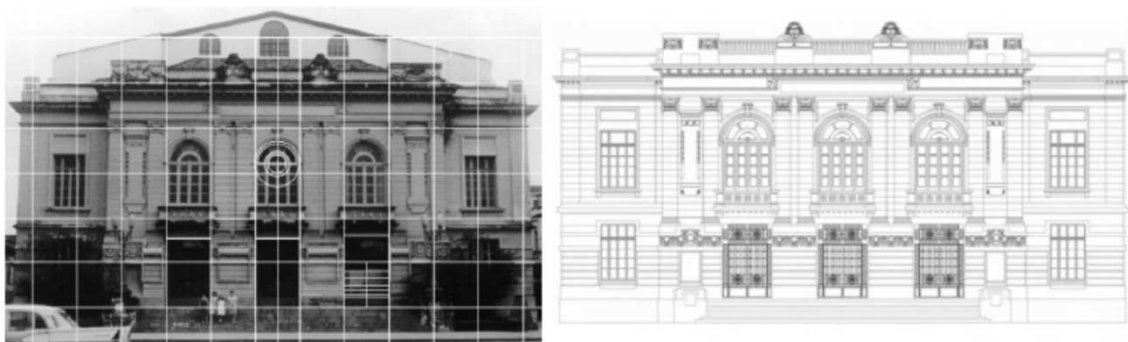


Figura 26: Figura processada no *software CorelDraw* e vetorizada no *software AutoCad*.

3.2.6. Fotogrametria digital

A fotogrametria digital é uma técnica que permite a reconstituição métrica e morfológica do objeto examinado ainda pouco difundida no Brasil, mas têm despertado o interesse crescente das entidades governamentais responsáveis pela preservação de prédios e sítios históricos.

Por ser um assunto consideravelmente extenso cabe a colocação de um capítulo referente ao tema, como será visto a seguir.

Capítulo 4

Fotogrametria

4.1. Fotogrametria

Dentre as inúmeras definições de Fotogrametria podemos destacar:

“... a ciência e tecnologia de se obter informação confiável, através de imagens adquiridas por sensores.” (BRITO & COELHO, 2002).

“A fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obter informação confiável dos objetos físicos e do meio ambiente, mediante processos de registro, medição e interpretação de fotografias e de modelos de energia radiante eletromagnética e outros fenômenos.” (ASP - American Society of Photogrammetry -, 1980).

E, por fim, em poucas palavras, podemos sintetizar o principal conceito de Fotogrametria na seguinte descrição:

... é uma técnica de extrair de fotografias, as formas, as dimensões e as posições dos objetos nelas contidos.” (DRAP, 1997).

4.2. Contextualização

O primeiro salto qualitativo e quantitativo relacionado a fotogrametria foi dado, no ano de 1849, por um oficial do Corpo de Engenheiros do exército francês chamado Aimé Laussedat. Ele foi o primeiro a utilizar fotografias para auxiliar a confecção de mapas, por este motivo ele é considerado como o “Pai da Fotogrametria”. Ele usava fotografias no lugar de desenhos. Estas eram tomadas dos extremos de uma base conhecida, sendo a posição de um objeto determinada por interseção. Laussedat atribuiu ao método o nome de Metrofotografia.

No ano de 1854, com seu artigo *Mémoire sur l'emploi de la chambre claire dans les reconnaissances topographiques*, ele assentou sobre bases sólidas as incipientes idéias fotogramétricas, fazendo a técnica ser estudada de maneira científica.

Em uma exposição na cidade de Paris, no ano de 1867, Laussedat exibiu o primeiro “fototeodolito” e seus planos para o mapeamento daquela cidade, com a utilização de fotografias como base dos trabalhos.

As aplicações militares das fotografias, também não demoraram a acontecer. Dentre muitos trabalhos realizados, podem ser citados: em 1855, Nadar (Gaspard Felix Tournachon) usou um balão a oitenta metros de altura para obter a primeira fotografia aérea; em 1859, o imperador Napoleão III ordenou que Nadar obtivesse fotografias da cidade de Bièvre, para o reconhecimento a ser empregado na preparação para a Batalha de Solferino; durante a Guerra de Secessão Americana (1853), fotografias foram tomadas a partir de balões; em 1860, James Wallace Black (1825-1896) realizou a tomada de fotografias aéreas da cidade de Boston (EUA).

Com a chegada do avião, um grande impulso foi dado à Fotogrametria. Em 23 de outubro de 1906, o brasileiro Alberto Santos Dumont, em uma experiência vistoriada pela Comissão Científica do AeroClube da França, alçou vôo com o 14-bis. A partir daí, poderiam ser obtidas fotografias de áreas muito mais amplas, tornando os trabalhos menos onerosos. Contudo, a plataforma aérea não foi utilizada de imediato, pois eram necessários vários aperfeiçoamentos e adaptações.

O primeiro registro de fotografia aérea, para uso em mapeamento, obtida por um avião foi feita pelo Capitão Tardivo, oficial britânico. No ano de 1913, Tardivo apresentou, em uma reunião da Sociedade Internacional de Fotogrametria, um trabalho descrevendo o processo. A partir deste momento a técnica da fotogrametria foi difundindo e evoluindo crescentemente por todo mundo.

Vale ressaltar que inúmeros foram os fatos e nomes importantes relacionados a este processo, o que torna este relato apenas uma pequena contextualização da história da fotogrametria.

Atualmente, enquanto a fundamentação matemática da Fotogrametria permanece praticamente inalterada, suas implementações e aplicações sofreram grandes mudanças. A utilização adequada da Fotogrametria, visando a obtenção de produtos precisos e

confiáveis, pressupõe o conhecimento de seus fundamentos teóricos e de outras disciplinas auxiliares, tais como: a Geometria Descritiva, a Ótica, a Fotografia e, a Ciência da Computação.

4.3. Fotogrametria Digital

Uma das classificações adotadas para a fotogrametria é quanto à evolução dos equipamentos e materiais envolvidos nos processos, podendo a mesma ser: fotogrametria analógica, fotogrametria analítica ou fotogrametria digital; sendo a última utilizada na presente pesquisa.

De forma geral, a fotogrametria digital é um processo que permite extrair das fotografias de um determinado objeto, a sua geometria: formas e dimensões, com a qualidade e precisão requeridas.

Em fotogrametria digital trabalha-se com fotos ou imagens no formato digital. A obtenção destas fotos digitais pode ser através de *scanners*, de alta precisão geométrica e fidelidade de cor ou, diretamente, a partir de câmeras digitais que estão surgiram no mercado nestes últimos anos.

As câmeras fotogramétricas digitais são mais um passo altamente revolucionário da fotogrametria e de todo o sensoriamento remoto. Eliminam todo o trabalho de se escanear os filmes e obtêm diretamente vários tipos de imagens.

O uso da fotogrametria na restauração do patrimônio histórico há cerca de 20 anos atrás, era praticamente inviabilizado pelo custo e pela demora na execução dos projetos, porém hoje com o avanço tecnológico, uma maior versatilidade é encontrada quando se trata do assunto. As novas tecnologias garantem a mesma resposta geométrica com materiais mais simples.

“Muitos profissionais como restauradores, arquitetos, planejadores urbanos, historiadores, engenheiros e preservacionistas, podem ser privilegiados com o uso da citada

técnica, pela sua eficiência, vantagens e grande potencial aplicativo em sua utilização no registro e documentação de edifícios e monumentos históricos, considerando esta documentação como sendo o processo sistemático de aquisição, tratamento, indexação, armazenamento, busca/recuperação, disponibilização e divulgação de dados e informações gráficas e não gráficas, sobre as edificações, para os mais variados fins”
(BORGES, 1990).

Com o advento da tecnologia de digitalização de imagens e processamento de imagem, o uso da fotogrametria com finalidade de captação de dados relacionados ao Patrimônio Histórico tem aumentado rapidamente e muitas publicações relacionadas ao tema têm sido produzidas, principalmente na Europa.

A fotogrametria tem sido reconhecida como um importante instrumento aplicado a planejamento, gravação, reconstrução e revitalização do patrimônio histórico mundial, além da relação custo-benefício, outro fator de importante destaque é que imagens desenvolvidas através do uso de fotogrametria possuem recorde em detalhes como a textura de azulejos, mármore, pinturas e outros elementos decorativos, que não são de fácil levantamento usando outras técnicas.

As construções históricas que, no passado, tiveram momentos de glória na vida das cidades e hoje se encontram abandonadas e em avançado processo de deterioração precisam ser recuperadas, não só como resgate da cultura e preservando traços de uma época, mas permitindo, também, a possibilidade do estabelecimento de novos usos, sejam eles comerciais ou residenciais.

Enfim, os avanços em fotogrametria digital têm acelerado o arquivamento e análise de dados relacionados ao patrimônio histórico mundial, preservando ícones culturais e religiosos para as futuras gerações, além de gerarem arquivos com um elevado grau de detalhamentos, que são essenciais como um seguro contra destruição por catástrofes naturais ou culturais.

4.4. Vantagens da Fotogrametria

“Nos edifícios mais antigos, e até mesmo em construções mais recentes, as dificuldades para a realização de algum projeto de revitalização/restauração começam geralmente com a inexistência de documentação, a imprecisão das plantas existentes ou seu mau estado de conservação. Na maioria das vezes os edifícios sofreram acréscimos através dos anos, e mesmo as plantas originais não conferem em dimensionamento com a situação atua”. (BORGES, 1990)

Geralmente o que se encontra quando se trata de documentação de imóveis/monumentos históricos são vários levantamentos, que para serem analisados e sintetizados em um único documento levariam mais tempo que realizar um novo levantamento global. Além do fato de que realizar um levantamento tradicional não é financeiramente viável se considerarmos o número de pessoas envolvidas e o tempo gasto para a realização do mesmo. Outra questão de significativa relevância é a presença de obstáculos físicos que dificultam ou até mesmo impossibilitam a realização de levantamentos arquitetônicos. Assim, em resumo, podemos citar as seguintes vantagens da utilização da fotogrametria em comparação a outras técnicas:

- (a) o baixo tempo exigido para a realização do trabalho de levantamento;
- (b) o baixo custo da execução;
- (c) a possibilidade da imediata utilização do produto final;
- (d) a grande variedade de informações obtidas;
- (e) a facilidade de acesso a qualquer parte da obra a ser levantada;
- (f) a precisão do levantamento.

4.5. Fotogrametria no Brasil

Em 1824, chegava ao nosso país o desenhista francês Antoine Hercules Romuald Florence, que, seguindo a meta de construir um sistema de reprodução, pesquisou a possibilidade de obter imagens através da luz do Sol e descobriu um processo fotográfico

que chamou de *Photographie*, em 1832, totalmente isolado e sem conhecimento do que realizavam seus contemporâneos europeus, Florence obteve o resultado fotográfico.

Ao remontarmos para o ano 1890, encontramos a criação de uma instituição que seria uma das maiores realizadoras de trabalhos em Fotogrametria, esta instituição foi, originalmente, chamada de Comissão da Carta Geral, posteriormente de Serviço Geográfico do Exército, atualmente, de D.S.G. (Diretoria do Serviço Geográfico).

Um dos primeiros trabalhos a utilizar a técnica fotogramétrica no Brasil foi realizado pelo professor Pereira Reis. Este, em 1893, executou a carta do então Distrito Federal através do Método das Interseções⁷, elaborado por Laussedat.

No ano de 1912, o então Major Alfredo Vidal convenceu o prefeito do Rio de Janeiro, General Bento Ribeiro, a criar, na Fortaleza da Conceição, uma seção de Estereofotogrametria.

Em 1914, o mesmo general autorizou a compra de dois estereoautógrafos Orel-Zeiss e a contratação de um técnico europeu para coordenar os trabalhos da recém criada seção. O técnico chamado foi o Tenente Coronel do exército austríaco Emíle Wolf. Esta grande figura para a fotogrametria nacional realizou, neste mesmo ano, um trabalho experimental de mapeamento do morro do Cantagalo, Rio de Janeiro. Em 1915, fez trabalho mais complexo ao realizar os levantamentos preliminares da Ilha do Governador, também no Rio de Janeiro. Com o começo da Primeira Guerra Mundial, Wolf se viu obrigado a retornar às funções no exército de seu país.

Wolf criou, no Brasil, um aparelho restituidor chamado de Estereógrafo Wolf, de custo reduzido e de relativa facilidade de construção. Dando seguimento aos trabalhos iniciados por Wolf, foi construído pelo fotogrametrista brasileiro General Benjamim Arcoverde, o Auto esterégrafo, aparelho que por muitos anos foi utilizado pela D.S.G.

⁷ Onde a posição de um objeto é determinada por interseção das imagens.

Em 1922, foi realizado um trabalho de grandes proporções de mapeamento do Distrito Federal, na escala de 1:50.000. Este trabalho teve a supervisão de Wolf, que já havia retornado ao Brasil.

Posteriormente à fundação da D.S.G., entidades civis começaram a instalar divisões de fotogrametria, vale citar o pioneirismo da organização privada Condor, para a qual foram trazidos excelentes técnicos e aparelhos da Casa Zeiss.

Como complementação ao estudo, vale relatar, de maneira resumida, o XV Congresso Internacional de Fotogrametria, acontecido no Rio Centro, Rio de Janeiro, de 17 a 29 de junho de 1984. Este foi o primeiro congresso a ser realizado na América Latina; em um país do chamado, à época, Terceiro Mundo; no Hemisfério Sul. O evento contou com a participação de pelo menos 2.000 pessoas, com 754 resumos e com 650 trabalhos completos.

Podemos nos arriscar a concluir que este foi o principal marco para a História da Fotogrametria no Brasil, já que o nosso país foi palco de apresentação de trabalhos na vanguarda das técnicas fotogramétricas de então.

Quanto ao uso da fotogrametria para o levantamento do seu acervo histórico e cultural no Brasil, a técnica não é muito utilizada e difundida, no entanto, o Comitê Internacional de Fotogrametria Arquitetural (CIPA), trabalha com essa tecnologia há mais de 40 anos.

“Apesar dos progressos na área da informática nos últimos anos, multiplicando o desenvolvimento de diferentes tipos de software e diversificando aplicações na área da Fotogrametria digital, a prática da documentação de monumentos históricos utilizando esta tecnologia ainda continua muito aquém do que se poderia desejar. A maioria dos trabalhos continua sendo realizada na área do ensino e pesquisa”. (BORGES, 1990).

Sendo assim, o que gera questionamento não é o fato da eficiência e praticidade da fotogrametria, fato este já comprovado, mas se o usuário final da documentação

fotogramétrica arquitetônica de um determinado objeto/monumento histórico utiliza este produto para um trabalho subsequente, ou se simplesmente a documentação em questão é efetivamente utilizada como registro e arquivo histórico, já que a maioria dos profissionais citados anteriormente desconhece em sua maioria as vantagens da fotogrametria na documentação do patrimônio histórico.

Os principais trabalhos relacionados a fotogrametria no Brasil são existem alguns trabalhos como os de MARTINS *et al* (1998), GOMES *et al* (1999), SILVA e DALMOLIN (2000), MENDONÇA e FERRAZ (2001), GROETELAARS e AMORIM (2005).

4.6. Metodologia

A fotogrametria digital se faz, basicamente, com uma câmara fotográfica digital, uma estação *scanner* a laser e marcadores. As imagens digitais são trabalhadas por um software modelador cuja função é transformar a imagem original em uma imagem corrigida em escala real a qual preserva as dimensões do protótipo. Para isto, o *software Photomodeler* será utilizado como base da pesquisa.

Nesse projeto, o método de fotogrametria digital é o centro da atenção. Desse modo, em síntese, o principal foco é assimilar a tecnologia de fotogrametria digital o que, em outros termos, significa conhecer a “metodologia” delineada acima. Assim, podem ocorrer desenvolvimentos no processo de fotogrametria digital, a partir da presente pesquisa, considerando alguns trabalhos já desenvolvidos como base para a divulgação do método, o que servirá de teste de avaliação da técnica e de meio de criticar e impulsionar positivamente sua evolução.

4.6.1. Photomodeler

Photomodeler é um software que tem ganhado diversos prêmios e é utilizado por profissionais em todo o mundo para gerar modelos 3D e fazer medições 3D, a partir de fotografias 2D.

Os procedimentos geralmente adotados para a restituição fotogramétrica digital podem ser divididos em três fases principais:

- (a) planejamento do levantamento;
- (b) aquisição de dados no campo;
- (c) processamento dos dados.

O planejamento do levantamento é uma etapa fundamental para assegurar a obtenção da precisão e qualidade compatível com a finalidade do levantamento. Nesta etapa todos os detalhes do trabalho em campo devem ser previamente estudados para evitar problemas nas etapas seguintes. Aqui são definidos os instrumentos a serem usados e a locação aproximada das estações da câmara para permitir uma cobertura completa do objeto, além de observar os cuidados necessários para a tomada das fotografias considerando a escala e o nível de precisão desejada no levantamento. Os parâmetros que influenciam diretamente estes aspectos são:

- (a) distância focal da câmara;
- (b) distância da câmara para o objeto, sendo que câmaras posicionadas próximas ao
- (c) objeto permitem captar uma gama maior de detalhes;
- (d) resolução da imagem;
- (e) sensibilidade do filme, em caso de não se usar câmeras digitais;
- (f) abertura do diafragma;
- (g) tempo de exposição.

O levantamento fotográfico é uma etapa extremamente importante e influencia diretamente a precisão dos resultados. Um cuidado importante refere-se ao posicionamento da câmara com relação ao objeto. Isto vai depender da técnica escolhida

para restituição. Há dois tipos de restituição: as que trabalham com apenas uma fotografia (monorestituição) e as que utilizam várias fotografias (restituição a partir de fotografias convergentes).

Na monorestituição, recomenda-se utilizar fotografias tomadas perpendicularmente ao plano principal dos objetos (ou próximas a isso), que permitirão a criação de fotos retificadas de melhor qualidade, devido a uma menor distorção de perspectiva. No entanto, é possível restituir o objeto a partir de uma foto oblíqua sem obter um resultado tão fiel as verdadeiras dimensões do objeto.

Na restituição de várias fotografias, deve-se tirar pelo menos três fotografias de cada lado do objeto, sendo uma perpendicular à face principal, para ser usada em ortofotos e captura da textura e outras duas próximas à 45° em relação à face.

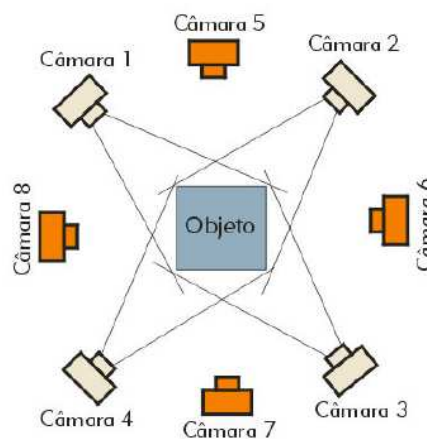


Figura 27: Posicionamento indicado das câmeras para tomadas fotográficas.

Terminada a fase de campo, inicia-se o trabalho em escritório, o processamento dos dados, que consiste na determinação dos parâmetros de orientação interna e externa para obtenção dos produtos desejados pela restituição fotogramétrica.

Os parâmetros de orientação interna da câmara (a distância focal, a posição do ponto principal e as distorções das lentes) podem ser obtidos de duas formas: a partir do certificado de calibração fornecido pelo fabricante ou a partir do resultado obtido pela calibração. Com esses dados, é possível reconstruir o sistema interno da câmara, ou seja,

as imagens são dispostas em posição semelhante em que se encontrava na câmara no momento da tomada fotográfica.

Após a determinação dos parâmetros de orientação interna, pode-se importar as fotografias no *Photomodeler*. Se as fotografias forem obtidas por câmaras analógicas, faz-se necessário revelar o filme e digitalizar as imagens em um *scanner*. No caso de fotos tiradas com câmaras digitais, basta descarregar as imagens no computador e iniciar o trabalho de restituição.

Não cabe ao presente trabalho descrever minuciosamente os procedimentos necessários para a restituição do objeto com a utilização do citado *software*, visto que isto demandaria em uma extensa explicação e terminaria por desviar a pesquisa de seu principal objetivo que é demonstrar e discutir os resultados obtidos, já que também, para tal finalidade, existem tutoriais específicos de auxílio.

Capítulo 5

Aplicações do *PhotoModeler* à documentação

5.1. Aplicações

No caso da aplicação a arquitetura vários trabalhos já referenciados anteriormente com resultados diferentes foram estudados, onde pode-se resumir os produtos obtidos em:

- (a) modelos geométricos tridimensionais simples;
- (b) modelos geométricos tridimensionais fotorrealísticos (com aplicação de texturas);
- (c) vetorização de fotografias retificadas;

Esta gama de produtos pode contribuir consideravelmente para a preservação do patrimônio histórico do Brasil no sentido da documentação de monumentos e sítios existentes e até mesmo de edificações ou monumentos que não mais existem mais que possuam um acervo fotográfico, para base de trabalhos de restauração e recuperação do acervo histórico de um determinado sítio e também para simulações de ações e intervenções que podem colocar em risco os monumentos na realidade.

Através da utilização de fotografia (figura 28) pode-se produzir modelos tridimensionais simples (figura 29) ou mais complexos (figura 30 e 31) e, a partir desses modelos obter a ortofoto (figura 32) das elevações desejadas como observado abaixo:



Figura 28: Fotografia da fachada principal da Capela Nossa Senhora da Escada, Salvador - BA .

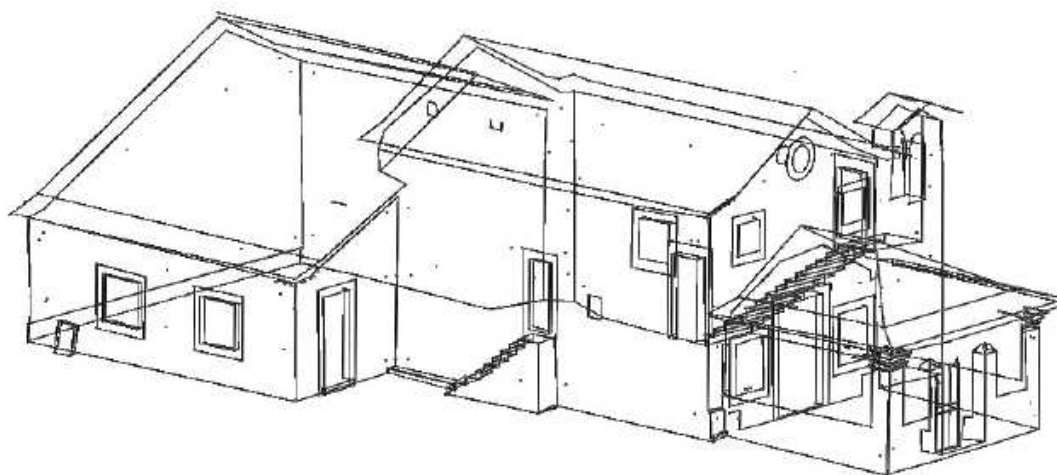


Figura 29: Modelo tridimensional em estrutura de arame da Capela Nossa Senhora da Escada.



Figura. 30: Modelo tridimensional fotorrealístico com a fachada principal da Capela Nossa Senhora da Escada.



Figura 31: Modelo tridimensional fotorrealístico com a fachada posterior da Capela Nossa Senhora da Escada.



Figura 32: Ortofoto da fachada principal da Capela Nossa Senhora da Escada.

Estes recursos já seriam suficientes para uma documentação rigorosa e detalhada de uma determinada obra com valor histórico relevante, porém outras propostas de utilização do software pode ser utilizado com a utilização de apenas uma fotografia (monorestituição). Com a retificação de imagens, distorções que prejudicariam uma possível vetorização da fotografia são corrigidas, como mostra a figura 33.



Figura 33: Exemplo de uma fotografia com distorções e posteriormente retificada.

Com as imagens retificadas, figura 34, e com a utilização de um programa de desenho, como por exemplo, o *AutoCad*, é possível fazer a vetorização das imagens capturando mais ou menos detalhes de acordo com a necessidade e a finalidade da utilização das imagens, figura 35, que podem ser apenas para a documentação propriamente dita como também para a produção de um material base para trabalhos de restauração e recuperação de monumentos, figura 36.



Figura 34: Ortofoto das fachadas do Pelourinho – Salvador - BA.



Figura 35: Imagem vetorizada das fachadas do Pelourinho – Salvador - BA.



Figura 36: Material para mapeamento de danos referente a projetos de restauração.

Além de produzir vetorizações referentes a partes externas de monumentos, a retificação de imagens pode ser utilizada para reproduzir partes internas, como mostram as figuras 37, 38, 39 e 40, o que é de grande importância no que diz respeito à documentação do interior de igrejas devido à enorme quantidade de detalhes em seus altares, púlpitos, tetos, portadas, pilares e ornamentações em geral. Nestes casos, pode-se usar como produto apenas a vetorização bem como utilizar partes da fotografia junto com a vetorização para aumentar o grau de detalhes e captar características como cores, texturas, estado de conservação e até mesmo para reproduzir objetos de difícil vetorização.



Figura 37: Imagem de um sarcófago vetorizado com partes texturizadas.



Figura 38: Imagem do interior de uma igreja vetorizado com partes texturizadas.

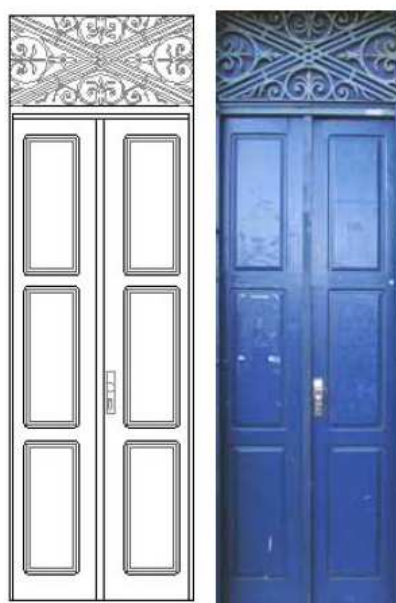


Figura 39: Imagem vetorizada e imagem retificada de uma porta com bandeira.



Figura 40: Imagem retificada e imagem vetorizada de um altar.

Os produtos obtidos pela fotogrametria digital podem também ser utilizados em um sentido mais amplo, do ponto de vista urbanístico dos sítios históricos, para estudos mais abrangentes como a evolução dos sítios históricos, uso e ocupação do solo, impactos ambientais e visuais, percepção da paisagem urbana, relação entre áreas livres e áreas construídas etc. Nesses casos é comum utilizar uma combinação entre fotografias aéreas ou imagens de satélites e fotografias terrestres para aplicação de texturas gerando modelos fotorrealísticos (figura 41).



Figura 41: Exemplo de modelo tridimensional fotorrealístico do centro da cidade de Karlsruhe (Alemanha).

A partir do anterior exposto fica claro a gama de possibilidades de aplicação e utilização da fotogrametria em um momento onde a importância e necessidade de proteção à memória e identidade cultural ganham notoriedade, o que justifica sua divulgação de forma intensificada e desmistificada.

Capítulo 6

Experiência pessoal e conclusão

6.1. Considerações iniciais

À primeira vista o *software PhotoModeler* foi extremamente fascinante, primeiro por todas as vantagens atribuídas a fotogrametria já colocada e demonstradas anteriormente e, em segundo lugar, por poder aplicar esta tecnologia a uma área de particular interesse e de grande foco nos dias atuais, além de contribuir efetivamente na questão do Patrimônio Histórico Nacional.

Não houve nenhum tipo de dificuldade relevante no decorrer das primeiras pesquisas realizadas a cerca do presente tema, onde foi encontrado um volume satisfatório de informações no exterior e uma pequena, mas de extrema qualidade, quantidade no Brasil.

Depois dessa pesquisa inicial e teórica foi tentado alguma realização prática com o programa, porém, com o decorrer das tentativas de aplicação as primeiras dificuldades foram aparecendo e crescendo gradualmente com o aprofundamento das ações.

Primeiramente devido a uma questão burocrática relacionada à aquisição do *software*, visto que se trata de um produto importado com vários procedimentos que antecedem a compra, e, também, porque apesar dos materiais de divulgação encontrado estes não continham nenhum tipo de informação referentes a utilização do programa, davam apenas instruções gerais e as pessoas responsáveis pelos materiais ou não demonstravam interesse em ajudar, ou não eram encontradas, sendo que, a única pessoa encontrada responsável pela orientação de um trabalho referente a fotogrametria e arquitetura, que foi a maior fonte de resultados referentes ao *software* utilizados na presente pesquisa, apesar de orientar não produzia diretamente os resultados práticos, ajudando com informações teóricas valiosas.

Apesar do interesse manifestado, foi possível realizar apenas alguns testes básicos para assimilação de noções iniciais do *software* uma vez que o programa apresenta alguns ajustes complexos para um iniciante como a calibração da câmera, o posicionamento dos equipamentos para a aquisição de fotos com ângulos corretos, a presença de barreiras físicas próximas aos monumentos o que impede a tomada fotográfica etc.

Enfim, devido a estes fatores, somados a dificuldade de aprender uma nova tecnologia apenas com o auxílio de um tutorial e o pouco tempo disponível, o que levou a um aprendizado incompleto do programa, não foi possível aprofundar na questão prática, o que não consta como um objetivo, apenas segue alguns testes iniciais e fica a intenção novos projetos visando correções e um maior aprofundamento prático.

6.2. Primeiros testes

Para a realização dos experimentos no *PhotoModeler* foi utilizada a versão mais recente do *software* disponível no mercado: a versão 6.0. Foi necessário inicialmente alguns testes para assimilar o *software* e testar sua funcionalidade. Para tal a utilização de tutoriais do próprio programa foi fundamental.

Inicialmente foi realizado um trabalho simples baseado em três imagens de uma caixa, em diferentes vistas.



Figura 42: Três vistas das imagens utilizadas no primeiro teste.

Como resultado, foi possível obter a restituição das imagens em modelo 3D em estrutura de arame e em modelo 3D com textura. Segue a seguir o resumo dos procedimentos adotados para a produção dos resultados citados:

- (a) primeiramente as imagens foram importadas para um novo projeto onde foi utilizado os parâmetros de uma câmera já existente no próprio *software*, figura 43;



Figura 43: Imagens escolhidas e importadas para uso no *PhotoModeler*.

(b) usando as ferramentas de desenho Ponto e Linha foi marcado nas fotografias os aspectos ou elementos que se desejava modelar, figura 44, e, em seguida, foi usado a função de Referenciação para “dizer” ao *Photomodeler* quais marcas em cada fotografia representam o mesmo local sobre o objeto, figura 45;

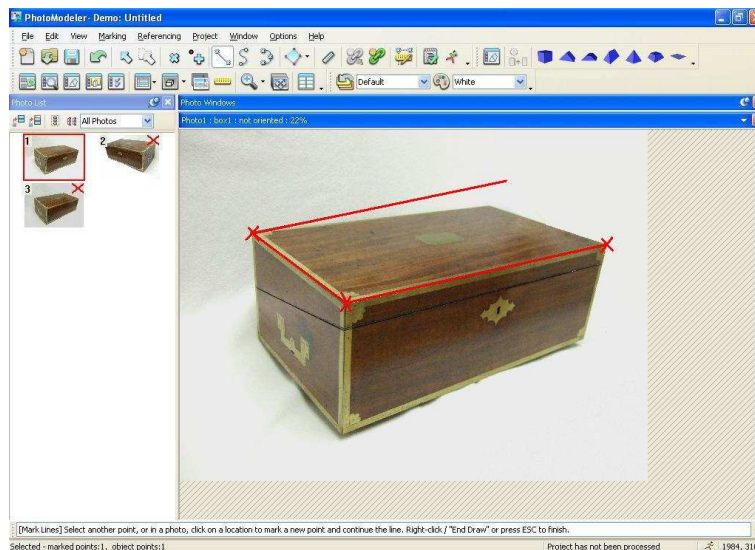


Figura 44: Uma a uma as imagens foram modeladas.



Figura 45: Imagens com pontos referenciados.

- (c) com todos os pontos e linhas desejados devidamente marcados e referenciados foi possível visualizar o modelo 3D em estrutura de arame da caixa, figura 46;

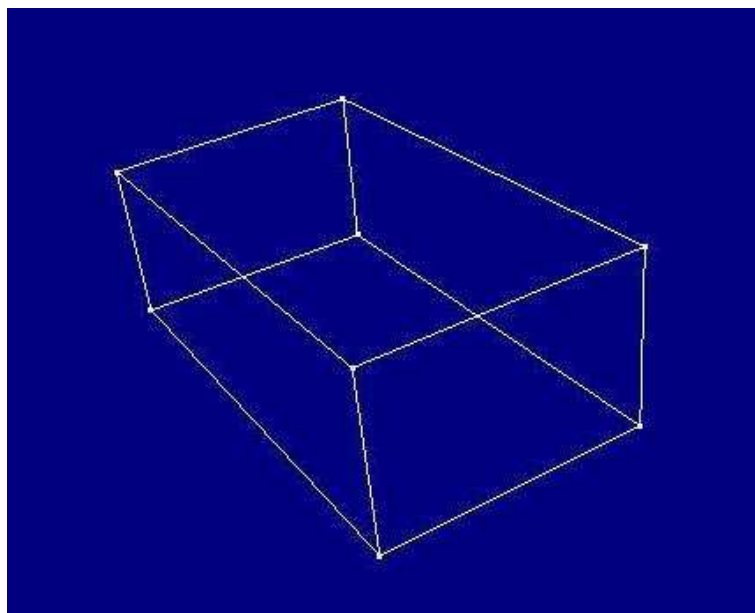


Figura 46: Modelo 3D em estrutura de arame.

- (d) em seguida, as texturas das imagens foram aplicadas e corrigidas sobre o modelo de arame, figura 47, 48 e 49;

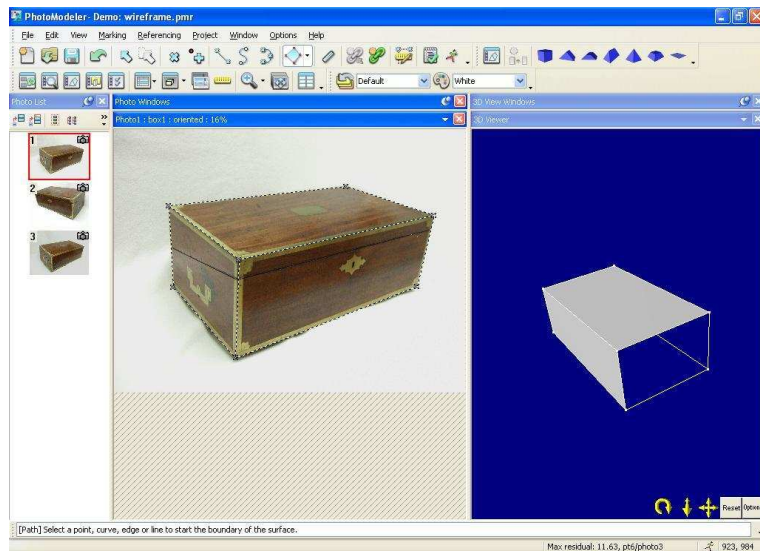


Figura 47: Fechamento das partes do modelo 3D em estrutura de arame.

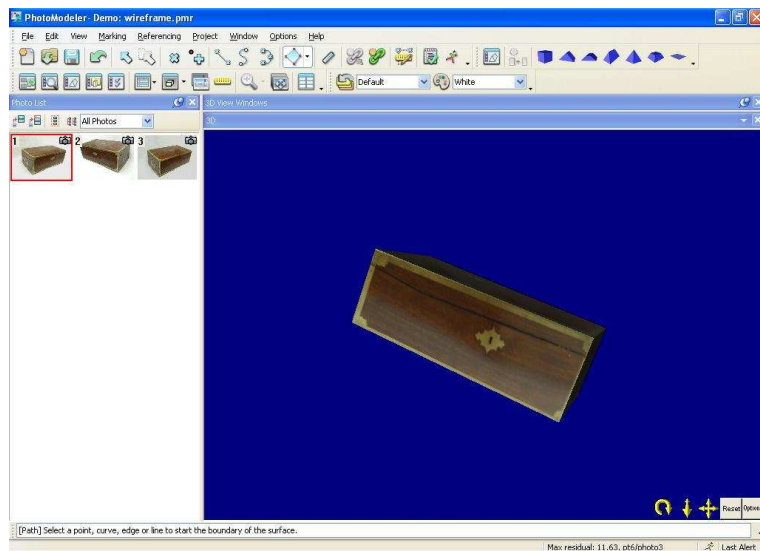


Figura 48: Modelo 3D texturizado de forma não satisfatória.

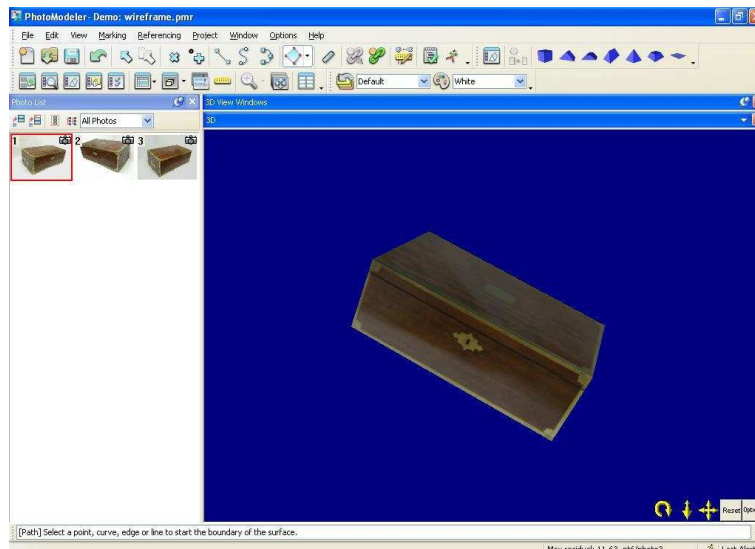


Figura 49: Modelo 3D texturizado.

- (e) através da ferramenta Escala foi escolhido a unidade de medida. Uma linha de medida conhecida foi especificada, e, assim, toda a imagem automaticamente todas as outras medidas se ajustaram ao tamanho real, figura 50;



Figura 50: Linha de medida conhecida selecionada com unidade e distância sendo aplicados.

- (f) os produtos obtidos pelo *PhotoModeler* podem ser exportados em vários formatos de arquivos, tais como: DXF(2D), para desenhos; DXF(3D), IGES ou RAW, para modelos geométricos tridimensionais em estrutura de arame e superfícies; 3DS, OBJ, WRL, X, para modelos geométricos com textura aplicada; JPG, TIFF, BMP,

TGA, PCX, PNG, PCT, PSP, IFF, CALL, para as ortofotos e fotos retificadas e TXT, para arquivos de dados alfanuméricos, contendo as coordenadas dos pontos e outras informações sobre o projeto.



Figura 51: Modelos de ortofotos da caixa.

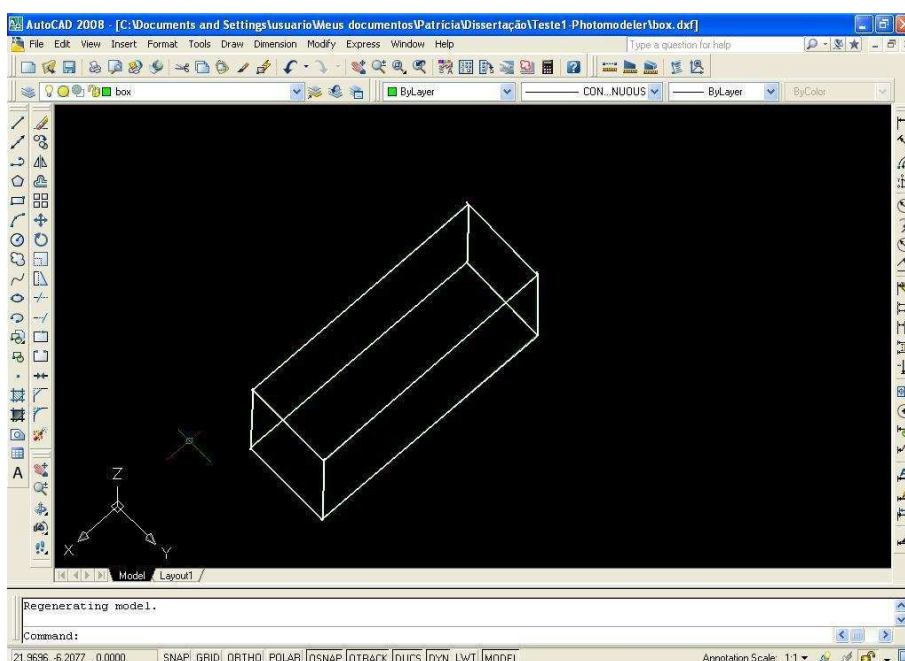


Figura 52: Modelo 3D exportado e sendo utilizado em outro *software*, no caso *AutoCad*.

Após este primeiro teste, outro similar foi realizado com o objetivo de fixar os procedimentos seguidos, dessa vez, utilizando duas imagens com um maior número de objetos em cada: duas caixas e um prisma, figura 53. Todas as etapas descritas

anteriormente foram seguidas produzindo como resultado a imagem texturizada, figura 54, dos elementos das fotos e sua estrutura de arame já reutilizada em outro *software*, figura 55.

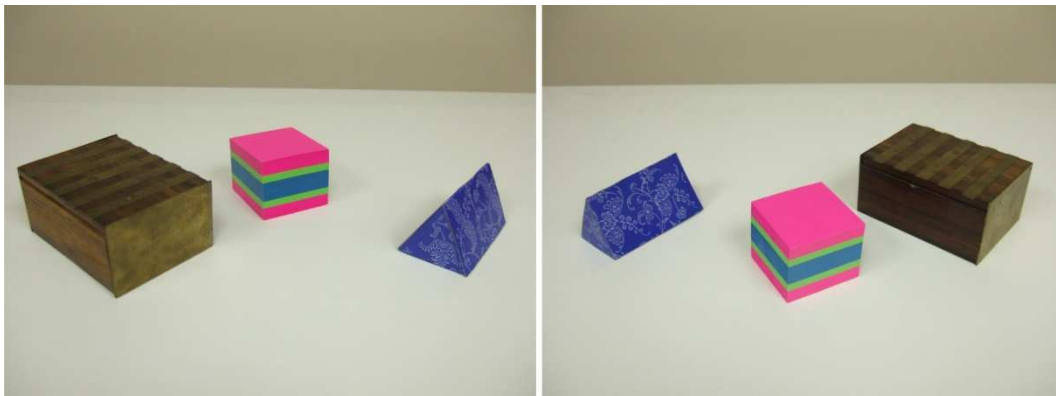


Figura 53: Imagens utilizadas no teste.

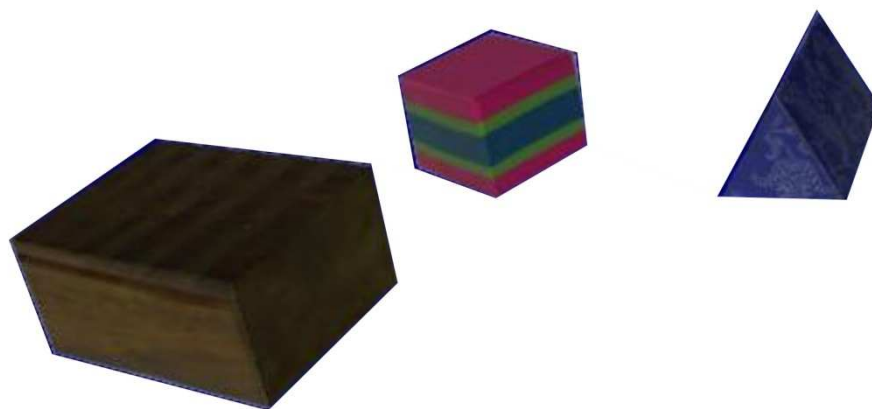


Figura 54: Modelo 3D texturizado.

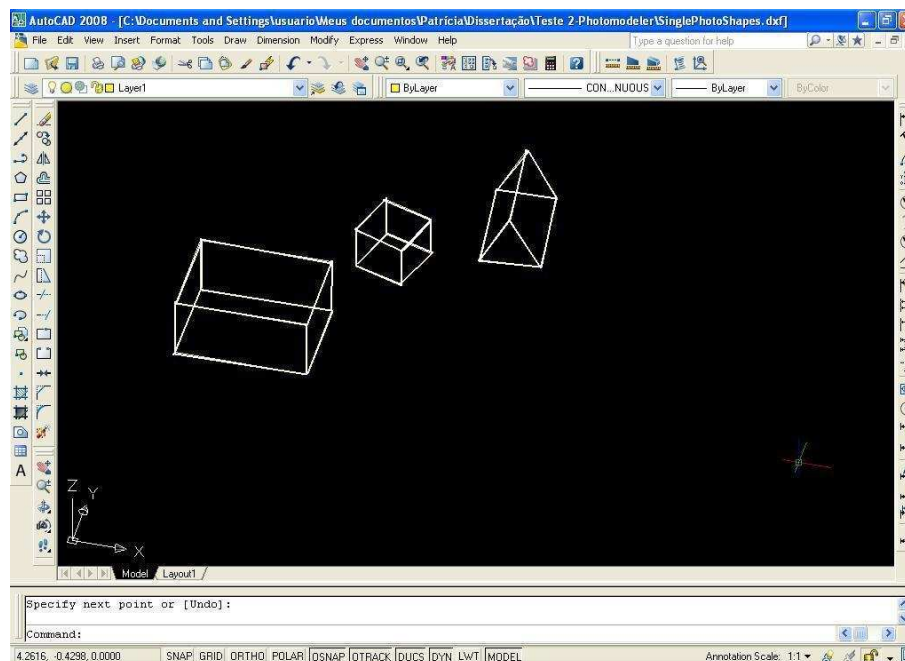


Figura 55: Modelo 3D exportado e sendo utilizado em outro *software*, no caso *AutoCad*.

6.3. Testando medidas

Como um dos principais objetivos do presente trabalho é associar o software *PhotoModeler* a sua utilização como ferramenta eficaz e segura de auxílio no levantamento arquitetônico, foi construído uma maquete física para testar a veracidade dos resultados produzidos no programa com relação a sua real medida. Devido a pequena dimensão da maquete comparada a uma estrutura real, apenas 3 fotografias foram utilizadas, figura 56, porém, caso fosse uma situação real, quanto maior o número de imagens, maior as chances de diminuir o erro obtido.



Fig. 56: Imagens utilizadas no teste.

As imagens foram capturadas com uma câmera já cadastrada no programa, facilitando o trabalho, visto que, todos seus parâmetros relevantes já estavam disponíveis no software. Considerando os procedimentos básicos e a ordem natural de obtenção de resultados primeiro foi realizado o modelo 3D em estrutura de arame, figura 57, e posteriormente o modelo 3D com textura, figura 59.

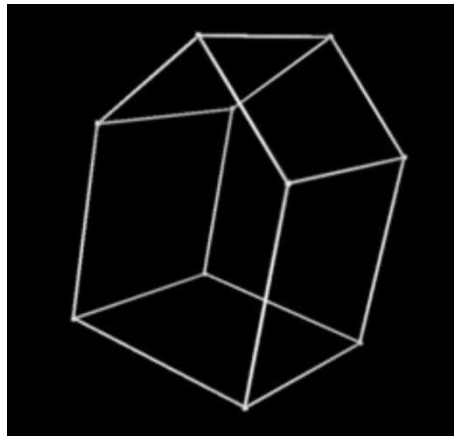


Figura 57: Modelo 3D em estrutura de arame.

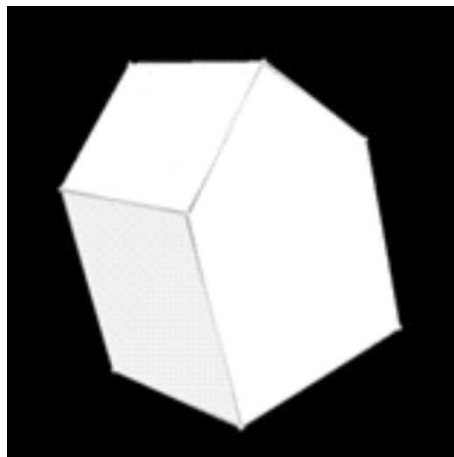


Figura 58: Modelo 3D com as partes fechadas para receber a textura.



Figura 59: Modelo 3D texturizado.

A maquete utilizada no experimento possuía as seguintes dimensões:

- (a) arestas horizontais e verticais com 5 centímetros;
- (b) arestas oblíquas com 3,54 centímetros.

Após a escolha da unidade de medida e do reajuste da imagem considerando a medida de uma aresta conhecida e comparando as medidas reais com as obtidas na maquete virtual foi constatado como maior erro 0,1 cm, considerando que a medida real era de 5 cm e a medida do modelo 3D em estrutura de arame do programa era de 5,101 cm, o que comprova a eficácia e veracidade dos resultados encontrados utilizando o software ao ser comparado com a realidade.

Medida real (maquete física)	Medida simulada (maquete virtual)	Diferença (cm)
5 cm	5 cm	-
5 cm	4,9657 cm	0,0343
5 cm	5,1007 cm	0,1007
5 cm	4,9265 cm	0,0735
5 cm	4,961 cm	0,039
5 cm	5,101 cm	0,101
5 cm	4,959 cm	0,041
3,54 cm	3,632 cm	0,092
3,54 cm	3,6075 cm	0,0675

3,54 cm	3,4857 cm	0,0543
3,54 cm	3,456 cm	0,084

Alem desses resultados também foi possível elaborar a imagem retificada das vistas da maquete, figura 60.

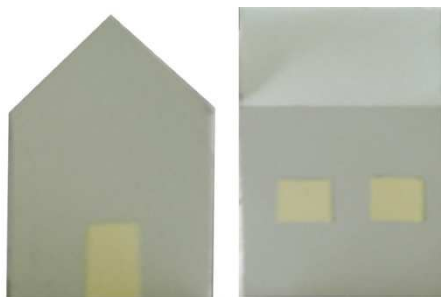


Figura 60: Modelo de ortofotos da maquete.

6.4. Aplicação a casos reais

Muito diferente de testes realizados com imagens de pequenos objetos ou maquetes é a realização de testes com monumentos e edificações reais, pois são inúmeros os fatores que podem prejudicar o resultado final desejado no sentido de servirem como barreiras ou como empecilhos a tomadas fotográficas como:

- (a) o tamanho da caixa de rua que muitas vezes possuem dimensões pequenas não permitindo tomadas fotográficas perpendiculares ao objeto;
- (b) a presença de barreiras fixas como árvores, postes, mobiliários urbano etc.;
- (c) a presença de barreiras móveis como pessoas, carros, animais etc.;
- (d) o adensamento urbano com lotes cada vez mais próximos dificultando tomadas fotográficas corretas de todas as fachadas, no caso de edificações;
- (e) a topografia do terreno que algumas vezes cria dificuldade em tirar fotografias de uma mesma posição;
- (f) o tamanho de algumas edificações que não permitem serem fotografadas por uma única imagem.

(g) o problema da segurança que acaba criando a necessidade de alguns monumentos serem protegidos por muros ou barreiras afins o que também impede a visualização completa dos mesmos.

(h) treinamento de pessoas para executar os serviços de computador (modelamento).

Tudo isso enfatiza a grande importância de um planejamento detalhado das ações antes de ir a campo e posteriormente é necessário o domínio tanto do *software* como do equipamento utilizado para a captura das imagens.

Devido a estes fatores e como anteriormente exposto foi produzido alguns resultados insatisfatórios do ponto de vista do processo de documentação mais que ilustram essas dificuldades e contratempos.

Nas imagens a seguir é possível observar a presença de diversos fatores que comprometem a tomada fotográfica tais como: árvore, pedestres, placas e logomarcas, entulho, carros, postes, fiação, muros, topografia do terreno e a proximidade dos lotes vizinhos, figuras 61, 63 e 65.

Além disso, as imagens foram capturadas por uma câmera não cadastrada no software o que gerou uma dificuldade no sentido de calibração e entrada de parâmetros da mesma.

As imagens foram trabalhadas no *PhotoModeler* gerando um modelo com distorções tanto nas dimensões como na percepção das texturas, figuras 62, 64 e 66, devido a presença desses obstáculos que não permitiram a tomada fotográfica com ângulos indicados.

Outro fator que pode ser observado em todos os testes é a dificuldade para obtenção de fotografias de partes altas como, por exemplo, o telhado, o que leva a necessidade de utilização de andaimes, escadas etc.



Figura 61: Algumas imagens utilizadas.

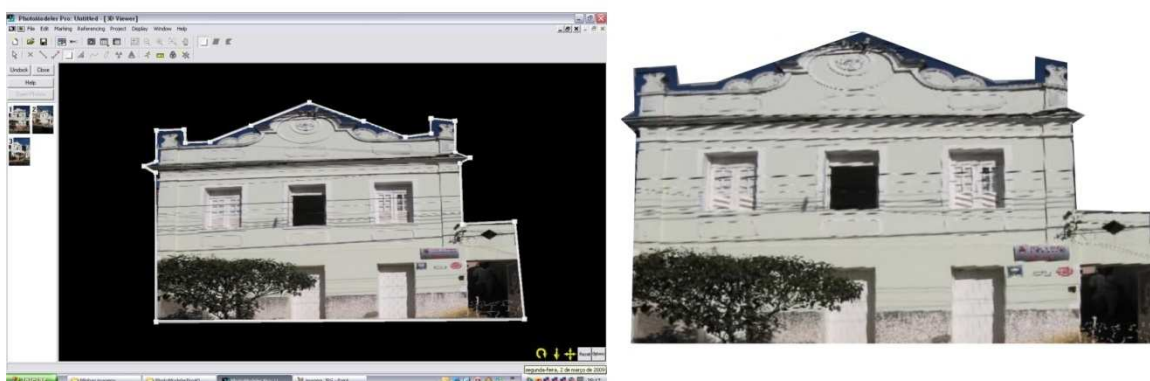


Figura 62: Modelo sendo trabalhado no programa e ortofoto.

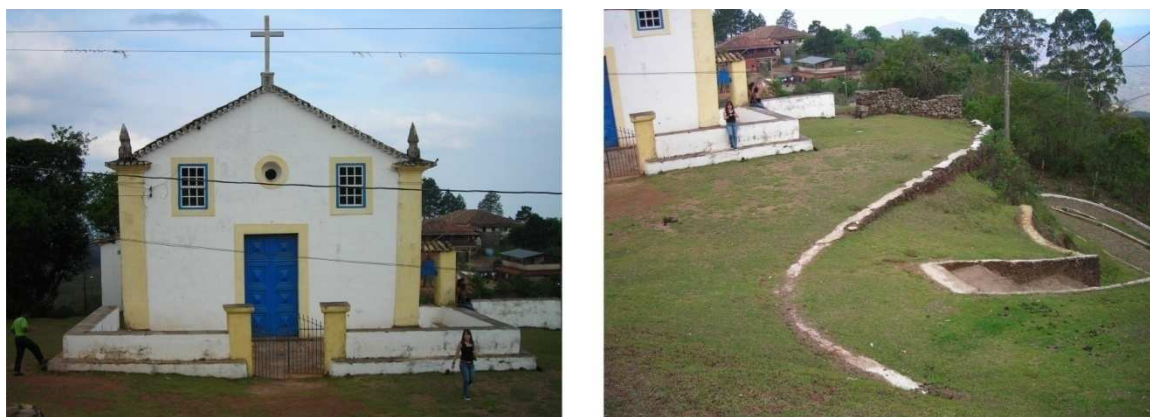


Figura 63: Algumas imagens utilizadas.



Figura 64: Modelo sendo trabalhado no programa e ortofoto.



Figura 65: Algumas imagens utilizadas.



Figura 66: Modelo sendo trabalhado no programa e ortofoto.

Baseado nesta pequena experiência prática foi possível observar as ações que possivelmente foram realizadas de forma incorreta para evitar erros futuros. Daí, em resumo, segue algumas recomendações:

- a) trabalhar, de preferência, com uma equipe treinada para auxiliar em todas as atividades, desde atividades de campo até o processamento dos dados;
- b) possuir uma base teórica e prática relacionada a fotogrametria e ao uso do *software*, através de pesquisas e realização de testes, o que leva um tempo relativamente longo, para ter domínio do programa;
- c) fazer visitas ao monumento escolhido para produção de material de auxílio as atividades tais como: croquis, plantas, fotografias etc.;
- d) criar marcas de referência no monumento para facilitar o processamento dos dados;
- e) definir com antecedência os locais das tomadas fotográficas com os ângulos adequados para evitar futuras distorções;
- f) tirar o máximo de fotografias possíveis de detalhes como esquadrias e ornamentos para facilitar a criação de modelos fotorrealísticos;

6.5. Conclusão

Todos os métodos descritos para levantamento arquitetônico na presente pesquisa são úteis e produzem resultados satisfatórios, sendo cada um com suas particularidades que os tornam importantes e funcionais.

Seria difícil e até mesmo pretensioso julgar um método melhor que o outro, mesmo porque eles resultam em mais satisfatórios através da utilização simultânea de um ou mais métodos, porém devido a benefícios relacionados com custo, tempo e qualidade dos resultados fica claro o potencial da fotogrametria digital nos dias atuais.

A utilização desta nova tecnologia possibilita a documentação arquitetônica com a obtenção de uma série de produtos de qualidade, que podem ser aplicados a diversos usos, tornando o seu emprego viável por parte dos órgãos voltados para a gestão do patrimônio arquitetônico.

A existência no mercado de vários programas comerciais de baixo custo destinados a modelagem 3D e retificação, sendo que o *PhotoModeler* é apenas um deles, e venda de câmaras digitais pré-calibradas também pode incrementar o uso de fotogrametria arquitetural por não-fotogrametristas.

Em síntese, este trabalho mostrou que o software *PhotoModeler* é uma ferramenta em potencial para a restauração e conservação de monumentos históricos utilizando tecnologia de baixo custo. Benefício financeiro, rapidez e armazenamento de grande volume de dados em um pequeno espaço e a capacidade de restauração apenas dos elementos de interesse em distintos períodos de tempo são vantagens que incentivam a continuidade dos trabalhos de pesquisa e divulgação nesta área.

Da análise crítica aos trabalhos utilizados como fonte teórica da pesquisa pode-se notar que todos demonstraram satisfação com os resultados obtidos e também comprovam a afirmação de que os métodos utilizados simultaneamente somam suas potencialidades para resultados mais satisfatórios e precisos.

Capítulo 7

Bibliografía

7.1. Bibliografia

SOUZA, Wladimir Alves de. Coord. Guia dos Bens Tombados, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Expressão e Cultura. 1984.

CLARET, A. M., 2007. Risco de Incêndio em Sítios Históricos. Programa Monumenta (Ministério da Cultura), Série Cadernos Técnicos, v. 5. Brasília.

YILMAZ, H. M., YAKAR, M., GULEC, S. A., DULGERLER, O. N., 2007. Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage* 8:428-433.

CHONG, A. K; McFADGEN, B. G.; MAJID, Z. B; McKINLAY, H., LUTHER, S., McHUTCHON, N., KHAW, C. J, WANG, S. J., AHMAD, A. B, 2002. Digital Architectural Photogrammetric Recording of Historical Buildings and Monuments. *New Zealand Surveyor*, 293: 25-30.

BORGES, M.L.V.B., 1990. "Fotogrametria Arquitetural e Urbana aplicada à preservação, restauração e documentação de edifícios e sítios históricos", projeto datilografado para o curso de especialização em Fotogrametria Arquitetural, Florianópolis, SC.

BERTO, A.F. "Medidas de proteção contra incêndio: aspectos fundamentais a serem considerados no projeto arquitetônico dos edifícios". São Paulo, 1991. Dissertação (Mestrado) – FAUUSP.

MELLO, Márcia M. Couto. Capela Nossa Senhora da Escada. Estudo desenvolvido para a disciplina Técnica de Conservação e do Restauro I, do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura da UFBA, 2001.

SANDERS, T. R. B. Objetivos e princípios da normalização. Tradução de Francisco S. Barreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 135 p.

BRITO, J.; COELHO, L. Fotogrametria Digital. Instituto Militar de Engenharia. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, Brasil: 2002. Disponível em: <<http://e-foto.sourceforge.net/cap1.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2008.

CRAMER, Johannes. Levantamiento topográfico en la construcción: Medición y reconocimiento. Tradução José Luis Moro. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S. A., 1986. 156p. Título original: Handbuch der Bauaufnahme.

DOCCI, Mario. MAESTRI, Diego. Il Rilevamento Architettonico. Storia metodi e disegno. 2. ed. Bari: Laterza & Figli, 1987. 330p.

DRAP, P. – Photogrammétrie et Modèles Architecturaux. 1997. Tese – Université d'Aix-Marseille III, Marseille. Disponível em: <<http://moma.gamsau.archi.fr/PierreDrap/These/Intro/Sources/ThesePresentationGenerale.html>>. Acesso em: 12 out. 2008.

FORAMITTI, Hans. La photogrammetrie au service des conservateurs. 12. ed. Roma: ICCROM, 1973, 32p.

GROETELAARS, Natalie Johanna; AMORIM, Arivaldo Leão de. Levantamento Fotogramétrico Digital da Capela de Nossa Senhora da Escada. In: SIGRADI 2004 - CONGRESSO IBEROAMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL DE GRÁFICA DIGITAL, 8., 2004, São Leopoldo. Anais... São Leopoldo: UNISINOS, 2004.

LIMA, V. J.; AULBACH, F.; BETREUERIN, M. F. Capela Nossa Senhora da Escada- Abschlussarbeit Aufbaustudium Denkmalpflege. 2004. Monografia (Especialização em Conservação de Monumentos) - Technische Universität Berlin.

RIBEIRO, J. Fotogrametria Digital. Dep. de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, 2002.

SANTANA, Jussilene. Pretérito imperfeito: incêndios condenaram importantes acervos

ao desaparecimento precoce. In: Correio da Bahia, 02 de Outubro de 2002. Disponível em: <<http://www.correiodabahia.com.br/2002/10/02/noticia.asp?link=not000063040.xml>>. Acesso em: 2 set. 2008.

TEMBA, P. Fundamentos da Fotogrametria. Departamento de Cartografia da UFMG, 2000.

TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia. Um estudo sobre as técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para levantamentos 3d a curta Distância. Geodesia Online. Florianópolis, v.4, n.1, p.1-16, 2003. Disponível em: <geodesia.ufsc.br/geodesiaonline/arquivo/2003/04.1/AT2003.htm>. Acesso em: 12 mar. de 2008.

WIEDEMANN, A.; MOREÉ, J.; TAUCH, R. Archimedes3D - An Integrated System for the Generation of Architectural Orthoimages. CIPA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 19., 2002, Potsdam. Anais... Potsdam: IAPRS. Disponível em: <www.al-wie.de/lit/Cipa2003WMT.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2008.

ULM, Kilian. Improved 3d city modeling with cybercity-modeler (CC-Modeler™) using aerial, satellite imagery and laserscanner data. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2003. Vol. 34.