

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO EM TECNOLOGIA MULTIMÉDIA

ESPAÇOS MUSEOLÓGICOS VIRTUAIS
A *VILLA* ROMANA DO RABAÇAL, ESTUDO DE CASO

Vera da Silva Dias Moitinho de Almeida

Licenciada em Educação Visual

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos para a obtenção
do grau de Mestre em Tecnologia Multimédia

Dissertação realizada sob a supervisão de
Professor Doutor António Augusto de Sousa, *Professor Auxiliar da FEUP*

Porto, Junho de 2007.

Le seul véritable voyage n'est pas d'aller vers d'autres paysages, mais d'avoir d'autres yeux.

MARCEL PROUST

I haven't been everywhere, but it's on my list.

SUSAN SONTAG

Resumo

Esta dissertação tem como objectivo apresentar e avaliar a utilização e o cruzamento de várias Tecnologias de Informação e Comunicação e sistemas digitais associadas a gráficos 3D, no desenvolvimento de produtos multimédia em contextos arqueológicos e museológicos.

Como tal, analisam-se as questões tecnológicas inerentes ao desenvolvimento de um protótipo especificamente criado para o efeito. Ou seja, de uma aplicação multimédia interactiva, em tempo-real, com uma restituição hipotética em três dimensões de um sítio arqueológico específico (a *Villa Romana do Rabaçal*) e influenciada pelo espírito dos videojogos, como estratégia de motivação. Da mesma forma pretende-se que o protótipo seja intuitivo, eficiente, apelativo e diversificado na veiculação dos diferentes tipos de informação e respectivas inter-relações.

A presente dissertação pretende assim contribuir para a criação e o desenvolvimento de projectos semelhantes, fornecendo uma estrutura clara de orientação, bem como a descrição das respectivas fases do trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Museu Virtual, Arqueologia Virtual, Reconstrução Virtual, VRML, Gráficos 3D, Multimédia, Estereoscopia, Fotogrametria, Simulação, Interactividade, Visualização.

Abstract

The aim of this thesis is to present and evaluate the use of different Information and Communication Technologies as well as 3D computer graphics, in the development of multimedia applications for both archaeology and museums.

These lead to the creation of a specific prototype to analyse some of the major technological issues: an interactive multimedia real-time application, with a virtual 3D hypothetical restitution of a specific archaeological site (the Roman *Villa*, in Rabaçal), motivated in this case by the spirit of video-games. This prototype developed herein is also intended to be intuitive, efficient, graphically appealing and to include different kinds of information and visualization.

Therefore, by trying to provide a clear overview and description of the main guidelines, the present study attempts to contribute towards the creation and development of similar projects in the future.

KEYWORDS: Virtual Museum, Virtual Archaeology, Virtual Restitution, VRML, 3D Graphics, Multimedia, Stereoscopy, Photogrammetry, Simulation, Interactivity, Visualization.

Agradecimentos

A lista de agradecimentos é longa e peço desde já desculpa àqueles que sem querer omiti.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor António Augusto de Sousa, pela confiança depositada, constante disponibilidade e clareza nas sugestões e críticas, sempre construtivas, que tanto contribuíram para a conclusão da presente dissertação.

Aos meus professores de Mestrado, Prof. Eurico Carrapatoso e Prof. João Paiva (FCUP), pelo interesse demonstrado.

Ao incansável Director do Museu e Estação Arqueológica do Rabaçal, dr. Miguel Pessoa, pela motivação, empenho e abertura demonstrados perante este desafio; e a todos os que trabalham, colaboram e de algum modo contribuem para a sua valorização: Sónia Vicente, Ricardo Neto, Lino Rodrigo (do Museu Nacional de Etnografia); Junta de Freguesia do Rabaçal; Câmara Municipal de Penela: Mário Duarte, Marta Ramos.

Aos arquitectos Isabel e Pedro Cabrito, Prof. José Carlos Miranda, Dra. Ana Isabel e João Almeida (do Museu Nacional de Arqueologia), Alexandrino Gonçalves, Paulo Bernardes e à secção de Multimédia da Biblioteca de Arte, da Fundação Calouste Gulbenkian pela preciosa contribuição técnica.

Devo um especial agradecimento ao meu coordenador de Bolsa de Investigação Científica no IPA, Dr. José Mateus, que acreditou neste projecto e me deu a oportunidade de o incluir no âmbito dos

trabalhos de investigação do CIPA. A todos os meus colegas de trabalho, pelo entusiasmo e ambiente proporcionado, particularmente Telmo Pereira (a quem tantas vezes recorri para tirar dúvidas sobre Arqueologia), Dra. Paula Mateus, Dr. Simon Davis, Patrícia Mendes, José Macedo, Hugo Oliveira, David van Dise, David Gonçalves, Randi Danielson e Dr. Wim van Leeuwen. E ao Director do Instituto Português de Arqueologia, Dr. Fernando Real.

Gostaria igualmente de agradecer às muitas pessoas que me ajudaram com os seus ensinamentos, gestos, atitudes e experiências de vida, que incluem:

A minha família, em especial o meu pai António, sogros Teresa e Carlos Madeira (que, afinal de contas, foi quem começou por me ‘provocar’, falando-me do Rabaçal com o seu entusiasmo contagiante), irmãos André e Natacha, cunhados Tiago Madeira e Maria João, João Madeira e Paulo, Rita Madeira e Rui, sobrinhos André 1, André 2 e Diego, primos Nuno Moitinho/Sofia/Joana/Vicente e Luísa e padrinho Luís Braga da Cruz.

A minha mãe, Ana Maria, avós maternos Maria da Graça e José Sebastião e avô paterno Luíz, já falecidos.

E, claro, todos os meus amigos: Alexandra Ribeiro Simões e Leonor, Ana Mota e Raúl, Família Neto, Fausto Almeida e Ana, Fernanda Madeira, Guida Andrês, Inês Manta/Zé e Maria do Mar, Isabel Aranda e Francisco, Isabel Vieira e Inês, João Paulo Simões, João Ribeiro, Luís Carvalho/Martim e Sebastião e Susana Villar.

Por fim, devo a minha gratidão e desculpas ao meu fantástico marido, Pedro Madeira, pela sua ilimitada amizade e compreensão, que sempre me deu coragem e apoiou, e acabou por passar todo este tempo a aturar-me e a preocupar-se comigo; e ao meu filho *Super-Tomás, o rapaz estupendo* a quem devo horas sem fim de cumplicidade e brincadeiras. Espero que um dia me venham a perdoar.

Índice

RESUMO	5
ABSTRACT	7
AGRADECIMENTOS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE QUADROS	18
ÍNDICE DE ESQUEMAS	19
1 INTRODUÇÃO	21
1.1 A <i>VILLA</i> ROMANA DO RABAÇAL	23
1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	26
2 ESPAÇO MUSEOLÓGICO VIRTUAL	27
2.1 REALIDADE VIRTUAL	29
2.2 VR E ESPAÇOS MUSEOLÓGICOS	32
2.3 SUMÁRIO	37
3 SUPORTE BÁSICO TECNOLÓGICO	39
3.1 PRODUÇÃO E PÓS-PRODUÇÃO DE IMAGEM	40
3.2 PRODUÇÃO E PÓS-PRODUÇÃO DE ÁUDIO	45
3.3 MODELAÇÃO E VISUALIZAÇÃO 3D	46
3.3.1 Modelação 3D de Terreno	46
3.3.2 Modelação 3D de Objectos	48
3.3.2.1 Modeladores Genéricos	48

3.3.2.2	Modelação 3D de Objectos com Base em Imagens	49
3.3.2.3	Digitalização 3D	50
3.3.3	Visualização 3D de Objectos	52
3.3.3.1	Visualização 3D com Base em Imagens	53
3.3.3.2	Visualização com Efeito Estereoscópico	54
3.4	MONTAGEM DE OBJECTOS MULTIMÉDIA	58
3.5	LINGUAGENS DE MODELAÇÃO, PROGRAMAÇÃO E ANOTAÇÃO	59
3.5.1	VRML	59
3.5.1.1	Estrutura de um Documento VRML	61
3.5.1.2	Iluminação	63
3.5.1.3	Sensores e Animações	64
3.5.2	EAI	65
3.5.3	HTML	66
3.5.4	Javascript	67
3.5.5	Actionscript	68
3.6	VISUALIZADORES E <i>PLUG-INS</i>	69
3.7	SUMÁRIO	72
4	ESTRATÉGIAS DE IMPLEMENTAÇÃO DE CONTEÚDOS MULTIMÉDIA	73
4.1	ESTRUTURA HIERÁRQUICA	76
4.2	LAYOUT GRÁFICO E INTERACTIVO	80
4.3	OBJECTOS MULTIMÉDIA	82
4.4	INTERACTIVIDADE	91
4.5	AVALIAÇÃO E REFINAMENTO	91
4.6	SUMÁRIO	91
5	RABAÇAL VIRTUAL	93
5.1	IMPLEMENTAÇÃO	93
5.1.1	Página Início	93
5.1.2	Página Passeio Virtual	94
5.1.2.1	Janela 3D	95
5.1.2.2	Barra Catálogo	104

5.1.3	Página Tipo-A	105
5.1.4	Página Localização	106
5.1.5	Página Objectos Presentes	107
5.2	OBJECTOS MULTIMÉDIA	110
5.3	SUMÁRIO	111
6	AVALIAÇÃO	113
6.1	HARDWARE, PLATAFORMAS E SISTEMAS OPERATIVOS	113
6.2	INQUÉRITOS	115
6.2.1	Metodologias de Avaliação	115
6.2.2	Procedimentos	116
6.2.2.1	Exploração Livre	116
6.2.2.2	Roteiro de Exploração I	117
6.2.2.3	Questionário I	117
6.2.2.4	Roteiro de Exploração II	121
6.2.2.5	Questionário II	122
6.3	SUMÁRIO	123
7	CONCLUSÃO	125
	REFERÊNCIAS	129
	ANEXO	135
	INQUÉRITO	137

Índice de Figuras

Figura 1.1	Estado actual da <i>Villa</i>	25
Figura 1.2	Trabalhos de restauro: Paredes (esq.) e mosaicos (drt.)	25
Figura 2.1	Triângulo da Realidade Virtual, segundo [Thalmann_b]	30
Figura 2.2	Tele-imersão	30
Figura 2.3	Virtual <i>versus</i> Real	31
Figura 2.4	Sistema CAVE (esq. e centro) e <i>Virtual Theatre</i> (drt.)	33
Figura 2.5	AugRoom (esq.) e Ename974 (drt.)	33
Figura 2.6	Archeoguide: Imagem real do sítio (esq.) e imagem projectada e sobreposta (drt.)	34
Figura 2.7	Archeoguide: Utilização do sistema (esq.) e esquema de visualização (drt.)	34
Figura 2.8	www.thebritishmuseum.ac.uk	34
Figura 2.9	QTVR: www.louvre.fr (esq.) e www.mughalinia.co.uk (drt.)	35
Figura 2.10	QTVR: www.conimbriga.pt (esq.). Filme: www.uaum.uminho.pt (drt.)	35
Figura 2.11	http://lsm.di.uc.pt/forum : Página de entrada (esq.) e modelo 3D virtual (drt.)	35
Figura 2.12	www.casadosesqueletos.web.pt : Página de entrada (esq.) e modelo 3D virtual (drt.)	36
Figura 2.13	www.ljubljana.si/en/ljubljana/virtual_ljubljana/default.html	36
Figura 2.14	www.museumarabesk.nl (esq.) e www.dinodata.net/kids/vmus.htm (drt.)	37
Figura 3.1	Interface do Photoshop: Restituição digital de um lambril	41
Figura 3.2	Interface do Fireworks: Desenho vectorial de botões	41
Figura 3.3	Interface do Freehand: Paginação de <i>layout</i> em PDF	42
Figura 3.4	Interface do Flash: Edição e montagem da Barra Catálogo	42
Figura 3.5	Interface do Premiere: Edição e montagem do vídeo do restauro de mosaicos	44
Figura 3.6	Interface do CoolEdit: Edição e montagem dos sons captados	45
Figura 3.7	Ortofotografia no MrSID Viewer (esq.) e malha triangular no TNT Mips (drt.)	47
Figura 3.8	Interface do 3DS Max: Restituição digital de uma ânfora	49
Figura 3.9	Identificação do objecto (esq.) e marcas de referência (drt.), no D-Sculptor	50
Figura 3.10	Sequência de fotografias, no VR Worx	53

Figura 3.11	Sobreposição parcial binocular [Kalawsky93]	54
Figura 3.12	Campo visual normal de uma pessoa [Kalawsky93]	54
Figura 3.13	Estereoscópio de Brewster, séc. XIX (esq.) e <i>ViewMaster</i> , séc. XXI (drt.)	55
Figura 3.14	Estereoscopia Lenticular: Cartão com par de imagens	55
Figura 3.15	Método de visualização	56
Figura 3.16	Estereoscopia de Plano Bissector [Durand]	56
Figura 3.17	Método de visualização	57
Figura 3.18	Método de visualização	57
Figura 3.19	Edição de imagem estereoscópica, no Anaglyph Maker	58
Figura 3.20	Desenvolvimento do layout gráfico e interactivo global	59
Figura 3.21	Directionallight (esq.), Pointlight (centro) e Spotlight (drt.) [Ames97]	64
Figura 3.22	ActionScript embebido num documento Flash	69
Figura 3.23	Visualização de um jarro no Cortona	71
Figura 4.1	Aplicação de superfície	85
Figura 4.2	Aplicação de textura	85
Figura 4.3	Ortofotografia aplicada ao modelo 3D do terreno	85
Figura 4.4	Níveis de percepção de detalhe da Ortofotografia	86
Figura 4.5	Extrusão da planta da <i>Villa</i> em AutoCad (esq.) e detalhe em negativo (drt.)	87
Figura 4.6	Fragmento de cerâmica (esq.), desenhos técnicos (centro) e restituição digital de ânfora (drt.)	88
Figura 4.7	Textura aplicada a malha poligonal com 10.000 (esq.) e 1.250 (drt.) polígonos	89
Figura 4.8	Malha poligonal com 10.000 (esq.) e 1.250 (drt.) polígonos	89
Figura 4.9	<i>Flat Shading</i> aplicada a uma malha poligonal com 10.000 (esq.) e 1.250 (drt.) polígonos	89
Figura 4.10	<i>Smooth Shading</i> aplicada a uma malha poligonal com 10.000 (esq.) e 1.250 (drt.) polígonos	90
Figura 4.11	Estereoscopia Anaglífica	90
Figura 5.1	Página Início	94
Figura 5.2	Página Passeio Virtual	95
Figura 5.3	Numeração dos vértices dum quadrado (esq.) e dum cubo (drt.)	96
Figura 5.4	Sistema de coordenadas VRML	97
Figura 5.5	Gradação das tonalidades da cor do céu	97

Figura 5.6	Passeio diurno: Vista aérea, lado Poente	98
Figura 5.7	Ficheiro de imagem *.png de uma árvore (esq.) utilizado num Billboard (drt.)	98
Figura 5.8	Passeio diurno: Entrada (esq.) e peristilo (drt.)	99
Figura 5.9	Passeio diurno: Objectos no peristilo - ânfora (esq.) e pote (drt.)	100
Figura 5.10	Botões para Informações Adicionais e Passeios Nocturno (esq.) e Diurno (drt.)	101
Figura 5.11	Botões para informações adicionais de objecto (esq.) e local (drt.)	102
Figura 5.12	Passeio nocturno: Entrada (esq.) e peristilo (drt.)	102
Figura 5.13	Passeio nocturno: Vistas do peristilo	103
Figura 5.14	Características espaciais de um documento de som	103
Figura 5.15	Barra Catálogo	104
Figura 5.16	Página Tipo-A, com janela de Navegação (esq.). Detalhe das janelas de Glossário (sup. drt.) e de Cronologia (inf. drt.)	106
Figura 5.17	Página Localização: Janela História e Geografia (esq.) e janela Planta da <i>Villa</i> (drt.)	107
Figura 5.18	Páginas Objectos Presentes: Fotografia (esq.) e reconstrução virtual 3D, VRML (drt.)	108
Figura 5.19	Página Objectos Presentes: Fotografia estereoscópica anaglífica	109
Figura 6.1	Sexo (esq.) e Idade (drt.) dos inquiridos	115
Figura 6.2	Actividade Profissional (esq.) e Experiência em Ambientes Virtuais (drt.)	115
Figura 6.3	Questionário I, grupo A de questões	118
Figura 6.4	Questionário I, grupo B de questões	119
Figura 6.5	Questionário I, grupo C de questões	120
Figura 6.6	Questionário I: Classificações	121
Figura 6.7	Roteiro cronometrado de exploração da <i>Villa</i>	122

Índice de Quadros

Quadro 3.1	Documentos de áudio	43
Quadro 3.2	Documentos de vídeo	43
Quadro 3.3	Características gerais dos programas de produção e pós-produção de imagem	44
Quadro 3.4	Características gerais do CoolEdit	45
Quadro 3.5	Elementos 3D, utilizados na aplicação	46
Quadro 3.6	Características gerais dos programas de modelação e visualização 3D de terreno	48
Quadro 3.7	Características gerais do D-Sculptor	49
Quadro 3.8	Características gerais do VR Worx	53
Quadro 3.9	Características gerais do Anaglyph Maker	58
Quadro 3.10	Características gerais do Dreamweaver	59
Quadro 3.11	Características gerais do VRML	60
Quadro 3.12	Formatos suportados pelo VRML	61
Quadro 3.13	Características gerais do Javascript	67
Quadro 3.14	Características gerais do Cortona VRML Client	71
Quadro 4.1	Características gerais	84
Quadro 5.1	Coordenadas dos vértices de um quadrado (esq.) e de um cubo (drt.)	96
Quadro 5.2	Visualização e representação dos objectos	108
Quadro 5.3	Terreno	110
Quadro 5.4	Arquitectura	110
Quadro 5.5	Objectos	110
Quadro 5.6	Vídeo	111
Quadro 5.7	Som	111
Quadro 5.8	Impressão	111
Quadro 6.1	Características gerais	114
Quadro 6.2	Plataformas de teste	114

Índice de Esquemas

Esquema 3.1	Estrutura básica utilizada nos ficheiros VRML	61
Esquema 3.2	Características do Nó	62
Esquema 3.3	Tipo de conteúdos utilizados nos ficheiros VRML	63
Esquema 3.4	Tipos de Iluminação	63
Esquema 3.5	Tipos de Sensores	64
Esquema 3.6	Exemplo de circuito de saída e entrada de eventos	65
Esquema 3.7	Comunicação através de uma EAI	66
Esquema 3.8	Verificação do tipo de conteúdo de um documento, por um visualizador da Internet	70
Esquema 4.1	Ciclo de criação, desenvolvimento e conclusão da aplicação	75
Esquema 4.2	Estrutura hierárquica da aplicação: Mapa Geral	77
Esquema 4.3	Estrutura hierárquica da aplicação: Mapa 1 (M1), detalhe	78
Esquema 4.4	Estrutura hierárquica da aplicação: Mapa 2 (M2), detalhe	79
Esquema 4.5	Estrutura hierárquica da aplicação: Mapa 3 (M3), detalhe	80
Esquema 4.6	Tipo de conteúdos e ligações utilizados nos ficheiros HTML	81

1

Introdução

Esta dissertação teve a sua génese como resposta a uma iniciativa do Director do Museu da *Villa Romana* do Rabaçal, Dr. Miguel Pessoa, que pretendia desenvolver um sítio na Internet - e posteriormente um CD-ROM - que servisse como ferramenta e veículo de divulgação do Museu, bem como do sítio arqueológico associado. A intenção seria alargar o acesso à informação relativa à descoberta e aos achados da referida *Villa Romana*, no sentido de preservar e difundir a herança histórica, cultural e natural. Para tal, pretendia-se:

- Que a informação fosse abordada a vários níveis: Arqueológico, Histórico, Antropológico, Etnográfico, Topográfico, Geográfico, Artístico e Tecnológico. Naturalmente, sempre com base em dados arqueológicos, cartográficos, documentais e outros;
- Reforçar o uso de Arqueologia Virtual, em que os modelos utilizados [Smishek04] pudessem ser utilizados para fins científicos (investigação), pedagógicos e lúdicos;
- Que o acesso a esta herança ou legado histórico e cultural (*e-Heritage*), estivesse facilmente disponível para um público diversificado de profissionais, de amadores ou de simples curiosos.

Sendo o desafio a mostra da *Villa Romana* do Rabaçal ao grande público de uma forma atractiva, eventualmente lúdica, mas sem perda de conteúdo, torna-se assim necessário estudar as alternativas tecnológicas existentes e as que se proporcionam para a apresentação dos conteúdos correspondentes.

Tendo como ponto de partida a proposta anteriormente referida, o passo seguinte seria a integração das mesmas premissas num contexto mais alargado, no âmbito dos trabalhos conducentes a esta Dissertação de Mestrado.

A possibilidade de utilização e cruzamento de várias Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) associadas ao grafismo 3D, na criação de uma aplicação multimédia concreta, especialmente para utilização em contextos arqueológicos e museológicos, virá a materializar-se neste trabalho de dissertação. Mais precisamente, através da criação de um protótipo de uma aplicação multimédia interactiva, em tempo-real, com uma restituição hipotética em três dimensões do sítio arqueológico em questão e influenciada pelo espírito dos videojogos [Bidarra03], como estratégia de motivação. O protótipo deverá ser intuitivo sendo, neste caso e ao contrário dos videojogos, a informação facilmente visualizada e não ocultada; deverá ser também eficiente, apelativo e variado na veiculação dos diferentes tipos de informação e respectivas inter-relações.

O recurso a algumas das tecnologias associadas ao grafismo 3D, mais precisamente à linguagem de modelação VRML¹, prende-se com os seguintes factores: por se tratar de um formato prático e eficiente, na medida em que permite descrever objectos e mundos 3D complexos e interactivos, mas de uma forma mais simples; por existirem vários visualizadores VRML gratuitos, disponíveis na Internet e compatíveis com diferentes plataformas e sistemas operativos; e, devido ao pouco peso dos seus documentos, poderem estes facilmente ser acedidos através da Internet.

As vantagens da utilização de tecnologias do tipo VRML na reconstituição e na restituição em 3D tornam-se óbvias, se a compararmos com a visualização de uma série de imagens estáticas ou em movimento 2D de um mesmo local². O caso vertente refere-se a uma restituição virtual - naturalmente hipotética - dos espaços da *Villa Romana do Rabaçal* (apenas da *pars urbana*, ou seja, da área residencial), da sua localização num espaço geográfico, bem como de alguns objectos ali encontrados. A solução 3D oferece a possibilidade de navegar e interagir dentro de um universo virtual, enquanto que na solução 2D as imagens são planas e mostram pontos de vista pré-definidos. Em resumo, um ambiente virtual, por exemplo com VRML, pode ser [Chaves01, Thalmann_a,b]:

- Imersivo - As ferramentas de navegação associadas e a simulação de profundidade permitem explorar pontos de vista infinitos, criando uma maior sensação de imersão;
- Interactivo - Comunicação de eventos e acções num mesmo mundo ou entre mundos distintos, em tempo-real. A interactividade não como um objectivo em si mesmo, mas como

1 Por volta de Setembro de 2004, ou seja, no início do desenvolvimento desta dissertação, surgiu a hipótese de utilizar o X3D (www.web3d.org/x3d), mas como esta linguagem de programação ainda se encontrava numa fase demasiado embrionária, principalmente no que se refere a questões ligadas à interactividade, optou-se, então, pela VRML.

2 Neste caso, um sítio arqueológico praticamente inexistente, mas que outrora foi uma próspera propriedade romana rural. Conservam-se apenas parte das paredes em altura, constituindo uma planta perfeitamente delineada.

um meio, entre outros, para interessar e envolver o visitante;

- Navegável - A experiência é controlada pelo utilizador e não pelo computador, numa perspectiva de navegação livre. Permite assim a exploração dos elementos que mais interessem ao utilizador, ou a fruição pura e simples da “descoberta”, retomando o conceito de “exploração arqueológica”;
- Integrativo de recursos e conteúdos multimédia - Pode incluir outros objectos 2D e 3D, animações, vídeos, sons, ligações a outros documentos e sítios na Internet ou quaisquer outros conteúdos, para enriquecer a experiência;
- Complementar - A navegabilidade e a interactividade permitem o acesso a vários níveis de informação, completando e ampliando a experiência vivida no espaço físico do sítio arqueológico, e do espaço museológico convencional associado³. A tecnologia não substitui de modo algum a vivência real, mas constitui uma ferramenta para o seu enriquecimento. Qualquer uma das experiências pode ser o ponto de partida para a outra.

Por conseguinte, o objectivo primordial do trabalho consiste em testar e validar as ideias, mas com recurso a programas informáticos que, na sua generalidade, são familiares aos designers multimédia e utilizando um computador de gama média.

Relativamente ao trabalho escrito resultante, este também deverá ser capaz de auxiliar qualquer interessado em desenvolver aplicações multimédia semelhantes, ao descrever a escolha e utilização de determinadas metodologias, tecnologias e ferramentas informáticas, na reconstituição virtual de um sítio arqueológico em três dimensões e respectiva navegação e interactividades.

Ressalve-se, no entanto, que em nenhuma fase desta tese se pretende apresentar como trabalho final um produto acabado, mas sim um protótipo de uma aplicação multimédia, que comprove as características mencionadas.

1.1 A *Villa Romana do Rabaçal*

A *Villa* romana do Rabaçal era parte integrante do território da antiga *civitas* e localizava-se junto da via romana que ligava Olisipo (Lisboa) a Bracara Augusta (Braga), no troço entre Sellium (Tomar) e Conímbriga (Condeixa-a-Velha) [Pessoa04]. Presentemente, integra a Freguesia do Rabaçal, no Concelho de Penela, Distrito de Coimbra. É o mais importante achado arqueológico romano deste Concelho, principalmente devido à sua dimensão e ligação histórica com a cidade romana de Conímbriga, da qual dista apenas 12 km.

3 Neste caso, o Museu da *Villa Romana do Rabaçal*.

A data provável da sua construção terá sido a segunda metade do século IV d.C. Citando [Pessoa04], o projecto de construção da *Villa* «obedece, segundo J. L. Madeira, ao traçado de eixos com orientação Norte/Sul - Este/Oeste. São eixos que definem o equilíbrio volumétrico na elevação do edifício cujo plano geral é estruturado a partir da sua rotação». O mesmo autor refere ainda que «o plano é desenvolvido num módulo base de 4,43m, ou seja, 15 pés romanos (pé=29,57cm)», módulo este «igual ao utilizado no Macellum de Gerasa (actual Jordânia), construído no séc. II d.C.».

Refira-se que, o correcto posicionamento geográfico da *Villa* e a relação desta com a iluminação solar, tomam uma especial importância na identificação e interpretação do seu traçado e consequente restituição virtual dos espaços e ambientes.

De uma forma geral, a construção cumpre as normas fundamentais recomendadas por Vitruvius (século I a.C.) [Maciel96] [Rua98] ao nível da segurança, distribuição dos edifícios, proporção⁴, simetria⁵ e módulos. Uma das características visíveis mais originais da sua construção diz respeito à planta radial octogonal, a alguns baixos-relevos e a todo o conjunto de mosaicos presente.

Viria a ser abandonada cerca de meio século depois, devido às invasões bárbaras, tendo já nos séculos XV e XVI sido parcialmente reutilizada como cemitério.

Mais tarde, os estudos arqueológicos de localização da construção foram facilitados, uma vez que segundo [Pessoa04] se sabia da «existência de vestígios romanos no local, pelo menos desde 1904, dada a referência de Santos Rocha, no catálogo do Museu Municipal da Figueira da Foz. O padre Bento Vieira torna a referir a existência de vestígios, na sua resposta ao inquérito, lançado aos párocos do distrito de Coimbra, pelo Instituto de Arqueologia da Universidade de Coimbra. Jorge Alarcão refere-se-lhes na sua obra “Portugal Romano”. Também os que amanhã a terra vão dando notícia oral do aparecimento de materiais antigos, que são tesselas de mosaico, fragmentos de baixos-relevos, de telhas e de loiças de cozinha». Ainda segundo o mesmo autor, «as escavações sistemáticas e continuadas começaram decisivamente no ano de 1984, decorrentes do projecto de investigação iniciado em 1979 sobre o povoamento no *territorium* do *municipium* de Conimbriga, e prolongaram-se até à actualidade».

A *Villa* apresenta-se, actualmente, num estado de bastante degradação (Figura 1.1) que se deve a vários factores, dos quais não é de menor importância o facto de ter disponibilizado materiais de construção para habitações próximas e de ter sido soterrada ao longo dos séculos.

4 Vitruvius refere-se a *Euritmia*, ou seja, a bela proporção.

5 Vitruvius refere-se a *Symmetria*, ou seja, o sistema de proporções que continuamente estabelecem uma dialéctica entre as partes e o todo [Maciel96].



Figura 1.1 Estado actual da *Villa*.

Presentemente estão visíveis uma parte da *pars urbana*, o balneário, uma parte da *pars rustica* (anexos para armazéns, alojamento para homens livres, escravos e animais) e o sistema elevatório de água. A parte habitacional conserva ainda alguns mosaicos completos, estando a sua planta perfeitamente delineada no terreno, através do que resta das paredes (Figura 1.2). A relativamente pouca quantidade de objectos de valor encontrados deve-se, presumivelmente, ao facto da *Villa* ter sido abandonada na iminência das invasões bárbaras.



Figura 1.2 Trabalhos de restauro: Paredes (esq.) e mosaicos (drt.).

O desenvolvimento do protótipo de aplicação apresentado neste trabalho, incide, como já foi dito, apenas na *pars urbana* da *Villa Romana*, no que concerne à restituição em 3D. Integra, contudo, elementos (objectos, referências, entre outros) que dizem respeito ao contexto arqueológico na sua totalidade.

Sendo este um trabalho de aplicação de tecnologias multimédia ao serviço da arqueologia e da museologia, parte das referências às diversas ferramentas informáticas utilizadas ou apenas mencionadas circunscrevem-se, naturalmente, a esses campos multidisciplinares.

1.2 Organização da Dissertação

Os trabalhos relacionados com a elaboração desta dissertação desenvolveram-se em três fases distintas:

A primeira fase teve como objectivo fazer uma pesquisa alargada e revisão de aplicações multimédia para CD-ROM e para a Internet, bem como de literatura sobre os temas: 3D, VRML, VR, Estereoscopia, Fotogrametria, Internet, Multimédia, Design, Arqueologia, Museologia, Educação e Usabilidade, como suporte para a fase seguinte.

A segunda fase prendeu-se com a criação, desenvolvimento e avaliação de um protótipo, com base nas pesquisas anteriormente feitas e como suporte de validação da tese que se propõe demonstrar.

Na terceira fase procedeu-se à elaboração do presente trabalho escrito, justificativo do protótipo desenvolvido e organizado em sete grandes capítulos.

O presente capítulo, efectua um breve enquadramento dos assuntos-chave a tratar e a definição dos objectivos.

O capítulo 2 começa com uma breve contextualização da evolução do espaço museológico, seguindo para uma revisão breve do estado da arte de ambientes virtuais 3D na Internet, em contexto museológico.

A análise e descrição das tecnologias e ferramentas utilizadas é feita no terceiro capítulo. Aqui incluem-se: programas de modelação e visualização 3D, programas de edição de imagem e vídeo, programas de montagem interactiva, linguagens de programação (VRML, Javascript, *External Authoring Interface*, entre outras), visualizadores e *plug-ins*.

No quarto capítulo procede-se à explanação das estratégias a adoptar na fase de implementação do protótipo, desde a sua criação à sua conclusão e, no quinto capítulo, argumenta-se sobre as metodologias adoptadas, com base nas tecnologias e nas estratégias utilizadas, na fase de implementação do protótipo.

A avaliação dos objectivos inicialmente propostos, baseada no teste e validação da aplicação e na elaboração de um inquérito, do qual se pretende tirar algumas conclusões, é apresentada no sexto capítulo.

Por último, surge o capítulo das Conclusões, onde é feita uma revisão crítica do trabalho e se extraem as principais conclusões das partes integrantes, orientando as perspectivas para trabalhos futuros.

2

Espaço Museológico Virtual

Segundo [Hooper02], *et al.*, no século XX os museus sofreram uma alteração profunda, devido à conjugação de uma série de factores: as novas teorias e práticas educativas e pedagógicas, competitividade do mercado nos sectores do turismo e lazer e, por fim, a democratização da sociedade de informação e do acesso ao conhecimento.

A explosão das novas tecnologias levou a que a informação circulasse mais rapidamente e em diferentes formatos, transformando os paradigmas de comunicação e questionando os métodos tradicionais de gerar e transmitir informação [Pujol04].

As técnicas de exposição foram incorporando os avanços da comunicação e há já algum tempo que os museólogos se aperceberam das potencialidades das TIC como um novo caminho a explorar para levar a cabo a sua missão [Solanilla01]. Este novo paradigma de relacionamento museu-público, simultaneamente de construção e de transmissão do conhecimento, levou a que a oferta expositiva no seu espaço físico interior e exterior tivesse de ser repensada.

A inclusão de elementos considerados de ‘cultura de massa’ para divulgar resultados de investigação científica nem sempre foi pacífica [Barretto93]. No entanto, o progressivo aumento de adesão dos visitantes dos museus às novas tecnologias tem-se revelado interessante na conciliação entre o denominado “saber erudito” e as novas formas de compreender.

Através do recurso às Tecnologias de Informação e Comunicação, a concepção do espaço museoló-

gico e dos seus limites volta a alterar-se, criando oportunidades para extravasar o seu próprio espaço físico. Consequentemente, os espólios dos museus e demais informação passam a poder estar virtualmente presentes na Internet, em CD-ROM ou em Quiosques Multimédia, de uma forma menos estática e mais interactiva, criando a oportunidade de alcançar um público bastante mais vasto. Citando [Mendes03] «a observação directa dos objectos e o seu próprio manuseamento, entre outros, nos museus da ciência, da técnica e da indústria, dedicados à civilização material, mesmo que se trate de réplicas, constitui uma mais-valia pedagógica, oferecida pelos museus, que poderá servir de antídoto a uma educação, por vezes ainda muito livresca e demasiado abstracta».

Um dos conceitos mais inovadores que as TIC propõem no âmbito dos novos discursos sobre museologia é justamente a introdução de interactividade na génese expositiva, ou seja, a possibilidade de interacção entre o utilizador e os conteúdos expostos, estabelecendo novas regras do jogo entre os museus e os seus públicos. A sua eficácia é tanto mais atingida quando consegue satisfazer as expectativas da equipa que o implementa e do utilizador.

No contexto da Internet, o papel tradicional de museu, enquanto emissor de conteúdos face ao visitante, receptor passivo desses conteúdos, não deverá restringir-se aos limites do seu espaço físico. É necessário [Solanilla01] criar uma nova dimensão narrativa e comunicativa ou, na verdade, uma nova forma de gerar o discurso expositivo cheio de possibilidades e aberto à experimentação. Essa oferta poderá ser complementada com novos produtos e serviços, transcendendo as paredes do museu ao mostrar realidades que este não consegue conter, aproveitando a possibilidade de uma presença e participação continuada por parte do utilizador e de forma a captar um público mais alargado.

De acordo com [Barceló00], a Realidade Virtual não pode ser devidamente utilizada, sem que haja alterações nas concepções museológicas de exposição. A Realidade Virtual requer mais mudanças, uma vez que propõe diferentes paradigmas de comunicação museológica, substituindo a passividade por interactividade, a contemplação de valores artísticos pela construção de conhecimentos e o elitismo pela diversidade social e intelectual. Ainda segundo o mesmo autor, as tecnologias associadas podem ser utilizadas para simular a realidade de forma interactiva, uma vez que constroem modelos virtuais com características próprias. Como tal, deverão ser compreendidos e analisados dinamicamente, quer do ponto de vista da concepção, quer da utilização.

Muitas pessoas não têm possibilidade de visitar determinados museus ou sítios arqueológicos, seja por estes se encontrarem encerrados para obras de restauro, conservação, mudança de exposição, avançado estado de degradação/desaparecimento [Thalman_a], ou por questões geográficas, culturais, financeiras, etc; mesmo em casos em que a visita é fisicamente possível, [Taxén05] esta termina com o abandono definitivo do local. Por outro lado, o visitante apenas tem acesso a parte do espólio das colecções através de publicações e exposições [Bernardes03], frequentemente temporárias, sendo que as peças se vão degradando devido ao transporte, luz, ar, temperatura e humidade.

Com a expansão da Internet e com as vantagens inerentes ao nível da sua arquitectura, serviços e estrutura económica, tornou-se possível a publicação *on-line* de uma enorme variedade de informação, passando o utilizador a poder participar mais activamente na construção dos saberes, através de um maior controlo sobre a quantidade e tipo de dados acedidos.

O presente capítulo iniciou-se com uma análise e descrição sumárias do conceito de espaço museológico virtual, enquanto extensão do espaço físico convencional. Prossegue com uma introdução ao conceito de Realidade Virtual e termina com algumas considerações sobre o Estado da Arte de Ambientes Virtuais 3D, nomeadamente na Internet, em contexto museológico.

2.1 Realidade Virtual

Há cerca de meio século que se tem vindo a desenvolver uma série de tecnologias na área da computação gráfica e, mais recentemente, de sistemas de imersão. No entanto, foi só em 1989 que Jaron Lanier introduziu o termo *Virtual Reality* (VR). Este refere-se especificamente à capacidade de uma pessoa imergir e, eventualmente, interagir num mundo artificial gerado por computador, reproduzido em três dimensões.

Nem sempre os termos utilizados têm significados tão distintos, acabando muitos aspectos por ser até coincidentes ou por apenas apresentar diferenças subtis. Mas por ser o termo mais abrangente, doravante será o adoptado.

Existem vários tipos e níveis de imersão [Thalmann_a, b], pelo que esta não implica apenas o uso de dispositivos VR, tais como capacetes, óculos ou luvas. Apesar da falta de visão periférica (maior envolvimento no próprio espaço virtual) dos monitores vulgares, podemos falar de imersão mental e emocional, complementares da imersão visual ou sensorial.

De acordo com o mesmo autor, a VR engloba três grandes aspectos: a imersão, a interactividade e o tempo-real (Figura 2.1). A imersão refere-se à sensação de se estar dentro de um espaço tridimensional virtual; a interactividade refere-se à possibilidade de navegar e manipular objectos nesse espaço; sendo que, o tempo-real se refere à capacidade das acções alterarem de imediato determinadas características desse mesmo espaço.

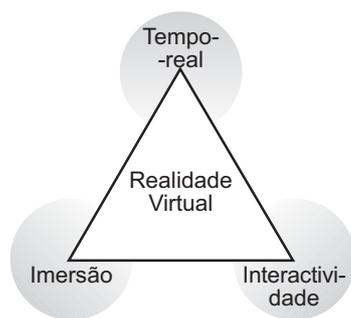


Figura 2.1 Triângulo da Realidade Virtual, segundo [Thalmann_b].

As experiências de ambientes virtuais são, em primeiro lugar, experiências visuais, mostrados num monitor de computador ou através de sistemas e dispositivos estereoscópicos, que podem ser mais ou menos complexas. Algumas simulações incluem informações sensoriais adicionais, tais como sons escutados através de colunas ou auscultadores. Outras, mais avançadas e experimentais, conseguem incluir uma resposta (*feedback*) táctil limitada.

Actualmente, Jaron Lanier está a coordenar um projecto de investigação em VR, mais precisamente em Tele-imersão (no âmbito do NTII, *National Tele-Immersion Initiative*. Figura 2.2), que cria um novo paradigma de interacção homem-computador, na forma como sintetiza redes e tecnologias multimédia.



Figura 2.2 Tele-imersão.

O objectivo consiste em criar um novo tipo de sistema de comunicação para ser utilizado no futuro. A comunicação seria também em tempo-real, mas imersiva, no sentido em que dois utilizadores geograficamente separados passariam a partilhar um ambiente simulado, tal como se estivessem no mesmo espaço físico.

Contudo, a ideia de que o objectivo da Realidade Virtual consiste em imitar a realidade, banaliza as possibilidades da VR e também leva a alguma desilusão, quando ela não é conseguida. Mas, apesar de alguns sistemas e ambientes de VR não serem muito convincentes no que se refere a imitar a

realidade, o mesmo já não acontece com a simulação e representação de determinados aspectos da realidade (Figura 2.3). Esta é uma das vertentes que se pretende explorar neste trabalho.

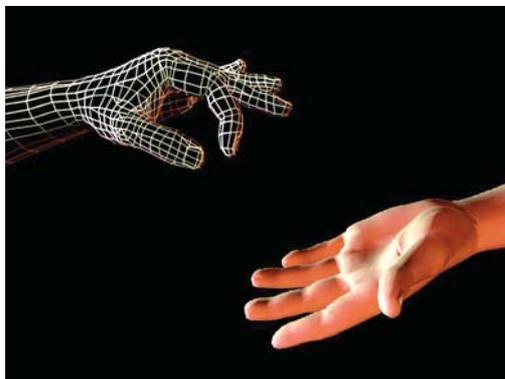


Figura 2.3 Virtual versus Real.

O rápido e constante desenvolvimento das características e capacidades dos computadores (*hardware e software*), da Internet (maior largura de banda e comunicação em tempo-real), das aplicações sem fios e do GPS, assim como da democratização do universo digital, vieram alterar a nossa relação com o espaço e o tempo.

Consequentemente, o modo como trabalhamos, buscamos e utilizamos a informação também mudou. O recurso às inúmeras tecnologias, nas mais variadas áreas, tem vindo a generalizar-se. No que se refere às tecnologias 3D e VR, a sua utilidade comprova-se em:

- Diferentes campos da Arqueologia - Nomeadamente, na Geoarqueologia; Arqueologia Náutica e Subaquática; Bioarqueologia; Paleoecologia; Arqueometria; Antropometria; Estudos de ossos, fósseis e múmias; Captação, manipulação e análise de dados 3D - digitalização de objectos (laser, fotogrametria, etc.); Reconstrução de espaços (terreno e arquitectura); Recriação hipotética de ambientes (épocas e costumes) e objectos (cerâmica, ossos, etc.); Análise geométrica (*Computer Aided Shape Analysis*); Tecnologias de mapeamento e espaciais (SIG, entre outras); Modelação genética da população;
- Educação e no lazer - Museu; Sala de aula e *e-Learning*; Investigação; Salvaguarda e divulgação do património; Bases de dados; Bibliotecas, Arquivos e Portais Digitais; Turismo; Publicidade, Televisão e Cinema; Jogos; Aplicações para a Internet; Apresentações multimédia;
- Astronomia, Medicina, Química, Engenharia, Arquitectura, Design de Equipamento, Defesa e Ordenamento do Território, entre outras.

Com o actual desenvolvimento e implementação das redes de Banda Larga, os sites com aplicações 3D têm vindo a tornar-se esteticamente mais apelativos, nomeadamente por uma modelação mais

cuidada e mais perfeita dos espaços e dos objectos, pelas texturas mais detalhadas, pela iluminação mais realista, entre outros.

No entanto, muitos dos exemplos disponibilizados, relativos às tecnologias 3D ou VR, contêm apenas referências visuais não interactivas. Isto significa que grande parte dos sítios disponibilizam apenas “amostras” limitadas de aplicações, umas mais complexas que outras, desenvolvidas com base nessas tecnologias.

Em resumo, as tecnologias 3D e VR encontram-se em franca expansão, integrando múltiplos vectores tecnológicos e sendo aplicadas nas mais diversas áreas. O que demonstra versatilidade e utilidade multidisciplinar e traduz a essência das tecnologias multimédia. Contudo, a aplicação das referidas tecnologias no desenvolvimento de sítios da Internet de acesso generalizado, é ainda incipiente. O actual universo da Internet limita ainda o acesso a experiências de imersão, de navegabilidade e de interactividade em ambientes virtuais (sejam eles ligados a trabalho ou o lazer), já possíveis de concretizar com tecnologias de fácil acesso, reduzindo conseqüentemente as potencialidades multimédia.

2.2 VR e Espaços Museológicos

Os exemplos a seguir referidos manifestam um enorme potencial e interesse científico, pedagógico e lúdico. Todavia, nem sempre se tratam de projectos de fácil implementação *in situ*, devido à sua complexidade e custos elevados, ou podem ser usufruídos na Internet, por dificuldades obviamente de ordem tecnológica.

No sistema CAVE¹ [Schulze05], o visitante anda dentro de espaços e ambientes recriados através da projecção de imagens nas paredes translúcidas, criando uma maior envolvimento do que as visualizações em monitores. Quanto ao Virtual Theatre, apesar de induzir o visitante a um desempenho passivo, este sistema pode ser interessante nomeadamente na visualização de paisagens naturais ou construídas (Figura 2.4).

Ambos os sistemas permitem projecções à escala 1:1, aumentando o grau de realismo e o nível de compreensão dos objectos no seu contexto original físico ou virtual.

1 CAVE, abreviatura de *Cave Automatic Virtual Environment*.



Figura 2.4 Sistema CAVE (esq. e centro) e Virtual Theatre (drt.).

O AugRoom (*Augmented Room*. Museu de Arqueologia D. Diogo de Sousa, em Braga) [Pereira04], o Ename974 (Flandres, Bélgica) [Callebaut03] (Figura 2.5) e o Archeoguide [Archeoguide02] (Figuras 2.6 e 2.7) são alguns exemplos de sistemas híbridos que se situam entre o AR² e o VR e que fornecem informação de imagens reais complementadas com imagens projectadas e sobrepostas *in situ*. Estes exemplos requerem, no entanto, a utilização de capacetes ou óculos HMD³.



Figura 2.5 AugRoom (esq.) e Ename974 (drt.).

2 AR, abreviatura de *Augmented Reality*. Wellner et al., introduziu este termo em 1993, em oposição ao VR. O seu objectivo incide no aumento das capacidades do mundo real, através de novas formas de manipulação de informação.

3 HMD, abreviatura de *Head Mounted Display*.



Figura 2.6 Archeoguide: Imagem real do sítio (esq.) e imagem projectada e sobreposta (drt.).



Figura 2.7 Archeoguide: Utilização do sistema (esq.) e esquema de visualização (drt.).

No que respeita aos exemplos encontrados na Internet e associados a espaços museológicos, grande parte estão apenas disponíveis com textos e imagens estáticas (frequentemente JPEGs⁴. Figura 2.8), imagens panorâmicas de 360° (QTVR. Figuras 2.9 e 2.10 esq.) ou pequenos filmes (Figura 2.10 drt.), não permitindo [Thalmann_a] uma navegação livre nos locais ou objectos em tempo-real ou outros tipos de interactividade ou visualização.



Figura 2.8 *www.thebritishmuseum.ac.uk*.

4 JPEG ou JPG, abreviatura de *Joint Photographic Experts Group*. Formato de compressão de imagem.

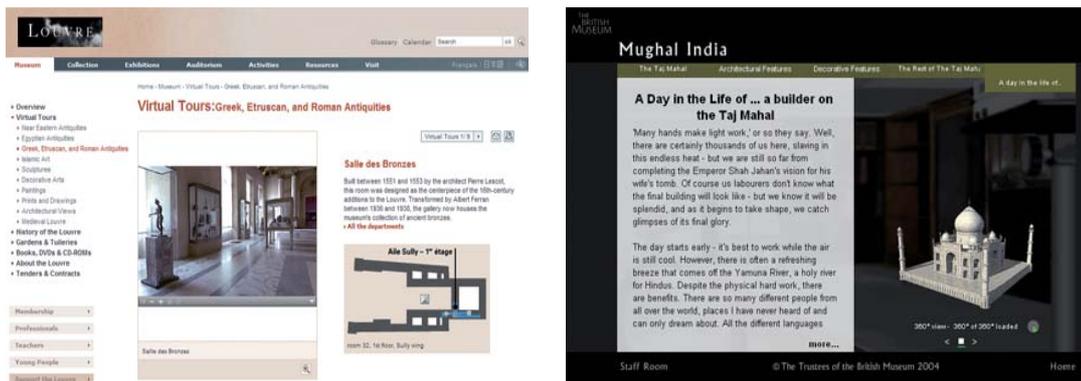


Figura 2.9 QTVR: www.louvre.fr (esq.) e www.mughalindia.co.uk (drt.).



Figura 2.10 QTVR: www.conimbriga.pt (esq.). Filme: www.uaum.uminho.pt/estrutura/inf_realidaV.htm (drt.).

Não obstante vários projectos existentes na Internet denotarem bastante mérito no seu trabalho e rigor na execução, constata-se que, na generalidade dos *sites* onde é permitida a exploração livre do local, a interactividade limita-se ao factor navegação (avançar, recuar, etc.) [Gonçalves03], não facultando ligações directas a informações adicionais ou outros conteúdos multimédia sobre o que se está a explorar (Figuras 2.11 e 2.12).



Figura 2.11 <http://lsm.di.uc.pt/forum>: Página de entrada (esq.) e modelo 3D virtual (drt.).

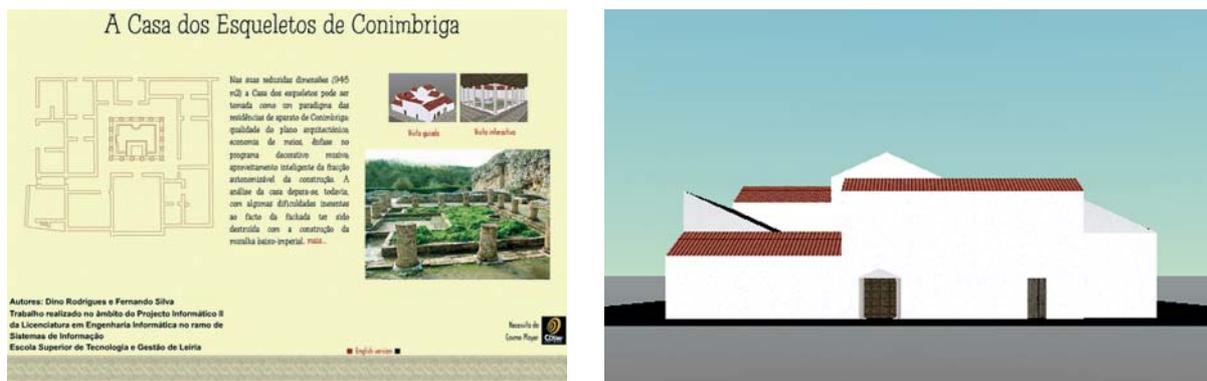


Figura 2.12 *www.casadosesqueletos.web.pt*: Página de entrada (esq.) e modelo 3D virtual (drt.).

Noutros casos, tanto a visualização como a navegação ficam muito aquém das expectativas: as texturas exteriores são apenas imagens de baixa resolução, aplicadas essencialmente a primitivas simples (secção 3.5.1 *VRML*), não aproveitando as potencialidades dos LODs⁵ e denotando um nível de detalhe insatisfatório; existem falhas graves ao nível da detecção de colisão, podendo resultar em passeios absurdos (Figura 2.13); ou, ainda, pecam por ser muito pesadas, provocando uma navegação sincopada e lenta.



Figura 2.13 *www.ljubljana.si/en/ljubljana/virtual_ljubljana/default.html*

Verificam-se, no entanto, excepções (Figura 2.14) onde existe informação estática relativa aos objectos, apesar de não ser dada a possibilidade de interagir com eles individualmente.

5 LOD, abreviatura de *Level Of Detail*, nível de detalhe.

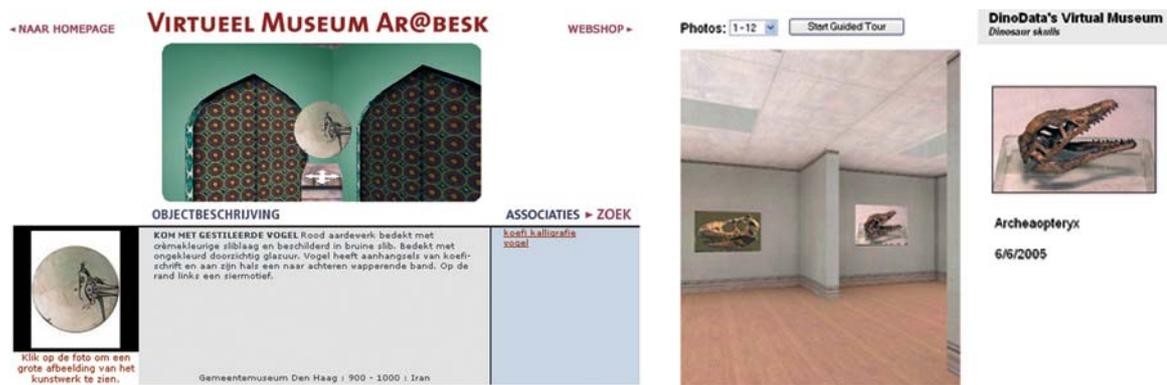


Figura 2.14 www.museumarabesk.nl (esq.) e www.dinodata.net/kids/vmus.htm (drt.).

No final, rapidamente se constatou que nem todos os documentos habitualmente rotulados de “3D” na Internet possuem o mesmo tipo de funcionalidades. Enquanto que as tecnologias verdadeiramente 3D, nomeadamente VRML e X3D, permitem a livre e arbitrária exploração de cenas, as tecnologias que simulam o 3D (tais como o QuickTime VR, o Shockwave3D e as animações em Flash) não constroem verdadeiras estruturas tridimensionais. Ora, nestes casos, os modelos são tipicamente simulados a partir da montagem de sucessões de fotografias 2D, com pontos de vista pré-determinados, de um determinado objecto ou espaço. Não obstante, tanto os museus na Internet como os seus utilizadores parecem estar mais familiarizados com esta última tecnologia [Entlich06].

Apesar de alguns projectos desenvolvidos requererem, para uma utilização plena, a compra do produto e a leitura a partir de um dispositivo informático (disco rígido, CD, PDA, etc.), são vários os projectos disponíveis na Internet onde é notório o enorme potencial que existe na utilização destas tecnologias, quer no acesso aos museus e respectivas exposições e colecções, como na democratização do conhecimento.

2.3 Sumário

Neste capítulo procedeu-se a uma breve contextualização da evolução do espaço museológico tradicional e tecnológico, expositivo e interactivo, físico e virtual.

Posteriormente, procedeu-se à explanação do conceito de Realidade Virtual, que inclui a imersão, a interactividade e o tempo-real, e de alguns dispositivos de visualização de ambientes virtuais.

Finalmente, fez-se uma breve revisão do Estado da Arte de Ambientes Virtuais 3D na Internet, em contexto museológico, de onde se concluiu que as potencialidades da criação de ambientes virtuais interactivos são grandes. No entanto, embora a utilização destes abra novas perspectivas e caminhos, a sua maturação exige um esforço de reflexão crítica sobre o significado e as potencialidades deste meio de comunicação e tipo de linguagem na sociedade do conhecimento.

Apesar da progressiva consciencialização das potencialidades das TIC como um novo caminho a explorar, reforçada pela crescente adesão dos públicos às novas tecnologias, a generalidade dos museus ainda não começou a tirar partido das inúmeras vantagens das tecnologias associadas a ambientes virtuais 3D na Internet.

3

Suporte Básico Tecnológico

Segundo [Pujol04], a percepção que o público tem da tecnologia está sempre condicionada por factores técnicos, sociais, cognitivos e outros, mas existe um elemento recorrente: a visualização. Esta é mais do que uma simples contemplação passiva das coisas: é uma construção activa baseada na simulação da realidade. O seu uso depende das ferramentas associadas, ou seja, do tipo e do nível de interacção. Assim e com o intuito de:

- Disponibilizar um leque diversificado de informação,
- Explorar virtualmente objectos e espaços de acesso público, frágeis, difíceis, interditos ou já inexistentes,
- Permitir ao utilizador visualizações dinâmicas, imersivas e interactivas, a partir de vários pontos de vista,
- Apostar numa forte componente visual,

de uma forma fácil, eficiente, apelativa e via Internet, é necessário recorrer a diversos programas e linguagens de programação, consoante as suas características e potencialidades, para criar e desenvolver aplicações com visitas virtuais atractivas a locais museológicos.

Existem no mercado inúmeros programas de modelação 3D, de edição de imagem e de áudio. No entanto, a escolha das tecnologias e programas a seguir descritos foi, em grande parte, condicionada pelos seguintes factores: compatibilidade com as plataformas e os sistemas operativos mais comuns;

familiaridade aos designers multimédia; acessibilidade dos recursos tecnológicos multimédia mais económicos ou gratuitos, tanto no desenvolvimento da aplicação como no seu usufruto; e adequação aos fins pretendidos.

A construção de uma aplicação multimédia, do tipo da que se depreende neste documento, envolve várias tarefas. Por conseguinte, neste capítulo é feita uma abordagem tecnológica genérica dos diferentes programas utilizados no desenvolvimento do protótipo (produção e pós-produção de imagem e áudio; modelação e visualização 3D; visualizadores e *plug-ins*), bem como uma breve caracterização dos mesmos e descrição dos processos mais relevantes utilizados. No caso das linguagens de programação, de anotação e de modelação utilizadas (VRML, Javascript, Actionscript, HTML, EAI), a análise individual e a descrição das respectivas formas de integração é feita de uma forma mais detalhada.

3.1 Produção e Pós-produção de Imagem

As necessidades e os objectivos pretendidos na criação, na edição e na optimização das imagens estáticas, das animações e dos vídeos são determinantes na escolha dos programas. Desta forma e uma vez que se pretende dar um especial enfoque nas questões relacionadas com a visualização, a selecção dos programas baseia-se, essencialmente, na compatibilidade e flexibilidade entre programas; na utilização generalizada pelos profissionais da área do multimédia; e na capacidade de edição e gestão de documentos complexos.

Surge, então, a necessidade de proceder à edição de imagens bitmap complexas, para posterior aplicação nos modelos 2D e 3D (por exemplo, na reconstituição e restituição de elementos decorativos e de artefactos a partir de fragmentos existentes) e no *layout* gráfico, que inclui: a manipulação, o tratamento e o processamento de imagem eficiente e, sempre que possível, com acções automatizáveis para reduzir o tempo de edição; a gestão e o controlo da cor, ao nível do pixel; o retoque e a correcção cromática, de luminosidade, de contraste, geométrica (perspectiva distorcida); entre outras.

O mercado dispõe de vários programas de edição de imagem, nomeadamente o GIMP (multiplataforma; gratuito e com código aberto), o Picasa (gratuito; mais vocacionado para a gestão de imagens; apenas compatível com o Windows e com o visualizador de Internet Microsoft Explorer) ou o PhotoPlus (pago; apenas para PC), mas que se apresentam sobretudo como versões demasiado automáticas ou simplificadas do Photoshop, tornando árdua a edição de imagens tão complexas. Por este motivo, o Photoshop (Figura 3.1) surge como uma escolha adequada por: ser um programa profissional, líder de mercado; ter um enorme número de *plug-ins* úteis; ser frequentemente utilizado por designers multimédia, por fotógrafos profissionais e pela indústria cinematográfica; tornar as suas capacidades e funcionalidades associadas, sem dúvida, numa ferramenta essencial.

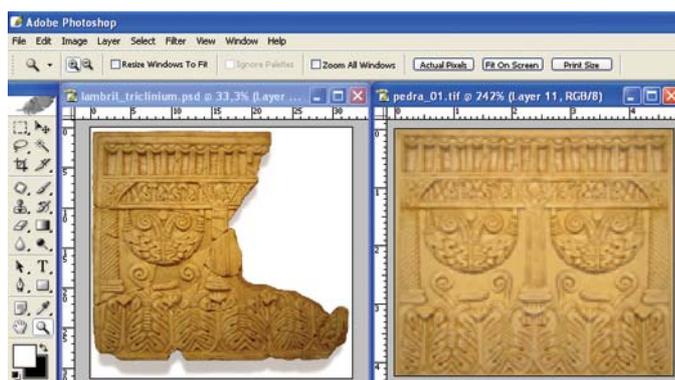


Figura 3.1 Interface do Photoshop: Restituição digital de um lambril.

Por algumas das funcionalidades do Fireworks relacionadas com a criação, com a edição, assim como com a optimização de imagens vectoriais, de imagens bitmap e de texturas estarem mais vocacionadas para a Internet, também se recorre a este programa (Figura 3.2). É, no entanto, possível alcançar os mesmos objectivos, prescindindo deste programa e utilizando apenas o Photoshop e o Freehand.

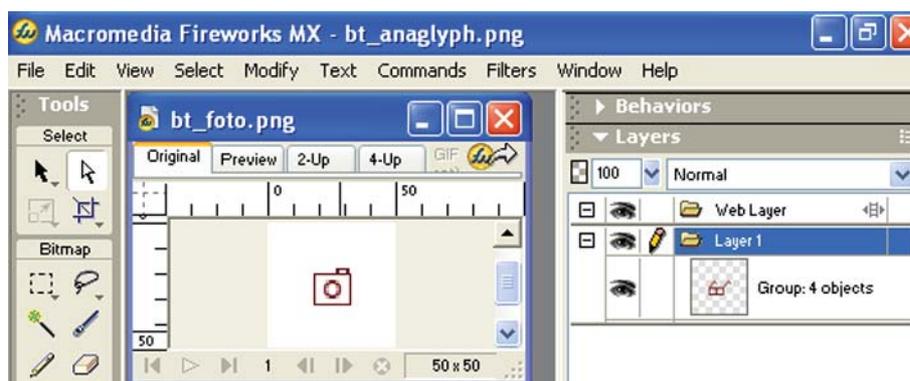


Figura 3.2 Interface do Fireworks: Desenho vectorial de botões.

Para a criação e edição de imagens vectoriais e a paginação de *layouts* (com inclusão de imagens bitmap, previamente editadas no Photoshop ou no Fireworks), quer para impressão como para a Internet, torna-se necessária a utilização de um programa: que seja uma referência dos designers multimédia, totalmente compatível e complementar com os outros programas de edição de imagem e que reúna todas as características e funcionalidades necessárias. Por conseguinte, em virtude de alguns dos programas que o mercado nos disponibiliza se encontrarem mais vocacionados para a ilustração, como é o caso do Illustrator, ou serem versões simplificadas do Freehand, por exemplo o DrawPlus, a utilização do Freehand (Figura 3.3) torna-se vantajosa.

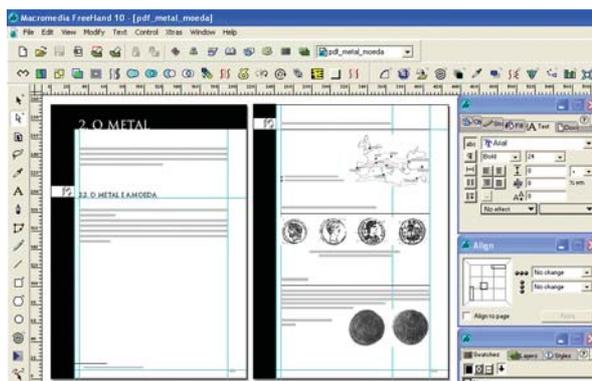


Figura 3.3 Interface do Freehand: Paginação de *layout* em PDF.

Programas como o Bauhaus Mirage (especializado em animação 2D), o Swish (com funcionalidades interessantes, mas fragmentadas por demasiados programas da marca), o Animation Shop (apenas permite fazer GIF's animados) ou o KoolMoves (versão simplificada do Flash), entre outros, embora denotem algumas potencialidades, contrariamente ao Flash apresentam a grande desvantagem de não reunirem todas as características num só programa. O Flash é um programa de referência para todos quanto desenvolvem profissionalmente animações ou sítios na Internet, tendo o formato *.swf se tornando um *standard* para animações (Figura 3.4). As compatibilidades com outros programas e formatos de documentos, os automatismos e as funcionalidades internas ou com recurso a *plug-ins* ou *scripts*, disponibilizados tanto para a criação, como para o desenvolvimento e para a montagem de conteúdos 2D complexos com interactividade avançada, com animações, com vídeo e com sons, surgem como algumas das suas muitas potencialidades.

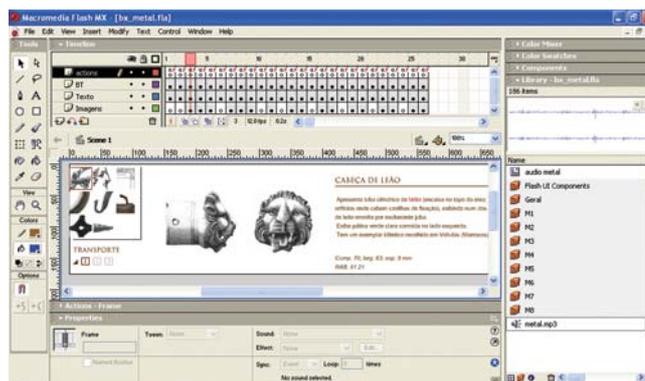


Figura 3.4 Interface do Flash: Edição e montagem da *Barra Catálogo*.

Outra vantagem consiste na possibilidade de utilização de inúmeros formatos de documentos multi-média. Sendo que o Flash suporta a importação dos documentos de áudio apresentados no Quadro 3.1.

	Windows	Macintosh	Formato
	X	X	MP3
	X	-	WAV
	-	X	AIFF
Quicktime 4	X	X	WAV
	X	X	AIFF
	-	X	Sound II Designer
	X	X	SUN AU
	-	X	System 7 Sounds
	X	X	Quicktime

Quadro 3.1 Documentos de áudio.

No caso do Quicktime 4 (ou versão superior) estar instalado no computador, o Flash reconhece um maior número de formatos para importação.

Quanto ao vídeo, suporta a importação de vários formatos, consoante esteja o Quicktime 4 (ou versão superior) ou o DirectX 7 (ou versão superior) instalado no computador. O Quadro 3.2 apresenta os formatos suportados em ambos os casos.

	Windows	Macintosh	Extensão
Quicktime 4	X	X	.avi
	X	X	.dv
	X	X	.mpg, .mpeg
	X	X	.mov
DirectX 7	X	-	.avi
	X	-	.mpg, .mpeg
	X	-	.wmv, .asf

Quadro 3.2 Documentos de vídeo.

Este programa utiliza, por defeito, o codec¹ Sorenson Spark para importar e exportar vídeo.

Para a edição de vídeo existem diversas alternativas amadoras, nomeadamente o Windows Movie Maker, o QuicktimePro e o iMovie, ou profissionais, destacando-se o Premiere (para PC) e o Final Cut (para Mac OS X). Não obstante a eficácia (montagem simples, com efeitos reduzidos: *fade-in/out*) de qualquer um dos programas referidos, no caso específico do filme sobre restauro de mosaicos (*Pedra >Mosaico >3*. Figura 3.5), a precisão na montagem, a prática de utilização recorrente e

¹ Um codec consiste num algoritmo que controla a compressão e descompressão de um documento multimédia durante o processo de importação e exportação do mesmo. Consoante o tipo de codecs instalados num computador, o Flash poderá suportar diferentes formatos.

a plataforma de desenvolvimento da aplicação, foram alguns dos factores determinantes na escolha do Premiere.

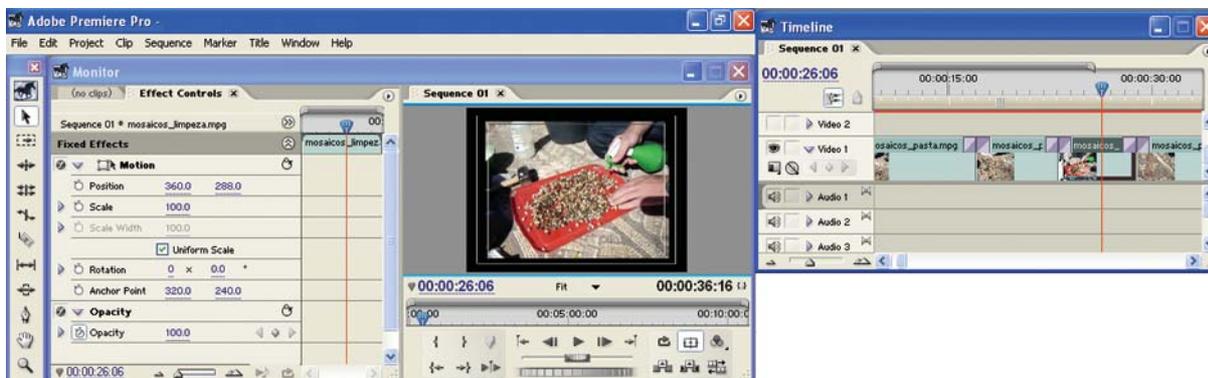


Figura 3.5 Interface do Premiere: Edição e montagem de vídeo sobre restauro de mosaicos.

Trata-se de um claro exemplo do tipo de vídeo que pode ser utilizado, sejam eles filmes editados, *streaming* (existem vários programas no mercado, com uma interface simples e intuitiva, que permitem ao utilizador ver *streaming* de vídeo ou áudio, como é o caso do Microsoft Windows Media Service, com a vantagem de ser gratuito, e do Macromedia Flash Media Server, com a desvantagem de ser pago) ou não, ou captações em tempo-real (por exemplo, acompanhamento *on-line* das campanhas de Verão, do restauro de peças, de conferências e outras actividades realizadas no Museu).

Para concluir, o Quadro 3.3 sintetiza as características gerais dos programas utilizados na produção e pós-produção de imagem (durante a escrita desta dissertação, os programas anteriormente denominados de Macromedia Fireworks/Freehand/Flash passaram a denominar-se Adobe Fireworks/Freehand/Flash, juntamente com o Adobe Photoshop e o Adobe Premiere).

Programa/Versão	Sistema Operativo	Formato Nativo	Exportação
Fireworks MX, v6.0	Windows, Macintosh	*.png	*.gif, *.jpg, *.png, *.htm, *.swf, *.psd, *.ai, etc.
Flash MX	Windows, Macintosh	*.fla (*.as: ActionScript)	*.swf, *.html, *.gif, *.png, *.exe, *.mov, *.hqx
Freehand 10	Windows, Macintosh	*.fh10	*.gif, *.jpg, *.pdf, *.ai, *.bmp, *.eps, *.swf, *.png, *.psd, *.tif, etc.
Photoshop CS, v8.0	Windows, Macintosh	*.psd, *.pdd	*.bmp, *.gif, *.eps, *.jpg, *.pdf, *.png, *.tif, etc.
Premiere Pro v7.0	Windows, Macintosh	*.prproj	*.avi, etc.

Quadro 3.3 Características gerais dos programas de produção e pós-produção de imagem.

3.2 Produção e Pós-produção de Áudio

Para a edição, optimização e conversão para o formato de compressão MP3 (mais utilizado na Internet) de documentos áudio existem diversas alternativas consoante o sistema operativo, a gratuitidade ou não do programa, o fim a que se destinam (profissional ou amador) e respectivas potencialidades dos programas, nomeadamente: o Logic Pro (para Mac OS X; pago; profissional e complexo), o Audacity (multiplataforma; gratuito e com código aberto) e o CoolEdit (actualmente Adobe Audition). Apesar da eficácia de qualquer um dos programas referidos, o objectivo pretendido (montagem simples e sem efeitos), a plataforma de desenvolvimento da aplicação (PC), a facilidade de utilização, e, sobretudo, a prática de utilização recorrente, foram alguns dos factores decisivos aquando da escolha do CoolEdit (Figura 3.6, Quadro 3.4).



Figura 3.6 Interface do CoolEdit: Edição e montagem de sons captados.

Versão	Cool Edit 2000
Sítio na Internet	http://www.adobe.com/special/products/audition/syntrillium.html
S. O.	Windows, Macintosh
Formato nativo	-
Exportação	*.mp3, *.wav, *.aif, *.voc, *.vox, *.dwd, *.au, etc...
Obs.	Freeware

Quadro 3.4 Características gerais do CoolEdit.

Todos os documentos áudio são exportados de forma a conservarem sempre uma qualidade e um peso aceitável, para uma aplicação com estas características.

3.3 Modelação e Visualização 3D

Os modeladores genéricos 3D podem ser uma mais-valia para a modelação de topografia, de arquitectura e de objectos, na medida em que facilitam bastante o aumento de níveis de detalhe e reduzem o tempo de modelação dos mesmos. A desvantagem reside no facto do resultado ser um documento pesado e cheio de informação. Por este motivo, haverá sempre que cuidar o balanceamento entre níveis de detalhe e peso final do documento.

Desta forma, o tipo de elementos e respectivos objectivos de navegação e visualização tornam-se factores determinantes na escolha das tecnologias a utilizar. No quadro que se segue, encontram-se resumidas as principais características dos elementos 3D aqui utilizados.

Tipo de VR	Elementos	Dimensão	Navegação	Visualização
Modelação 3D	Terreno Arquitectura Objectos	grande média pequena	livre – wrl livre – wrl livre – wrl / qtrv; filme	Browser adequado Browser adequado Browser/plugin adequado
Estereoscopia	Objectos	pequena	estática	Óculos estereoscópicos

Quadro 3.5 Elementos 3D, utilizados na aplicação.

3.3.1 Modelação 3D de Terreno

As ferramentas SIG têm demonstrado ser bastante úteis no campo arqueológico, nomeadamente na exploração e análise da geomorfologia e da paisagem cultural, ao longo de diferentes períodos cronológicos. Ou seja, no estudo dos *Como?* *Quando?* e *Porquê?* da evolução da paisagem e do Homem [Renfrew04].

A combinação de representações 2D e 3D, poderá ajudar a responder a questões do tipo “Como é que as pessoas viam e se moviam no espaço envolvente?” para compreender melhor como é que as pessoas, em diferentes épocas e locais (dinâmicas espacio-temporais), utilizavam e alteravam ou eram condicionadas e alteradas pelo mundo em que viviam (paisagem envolvente restrita e alargada). Ou seja, ajudar nos estudos sobre a importância de noções sinérgicas de cultura e natureza, de indivíduo e espaço.

Pretende-se, aqui, explorar algumas das potencialidades da relação SIG em arqueologia e VRML, de modo a, posteriormente, permitir análises de visibilidade no estudo da micro e macrotopografia, bem como de estudos e de contextualização espacio-temporal do geomorfologismo local e regional.

Programas profissionais como o ArcGIS, o AutoCAD Map 3D ou o TNTmips permitem estas abordagens. A opção pelo TNTmips deveu-se apenas ao elevado preço deste tipo de programas e de este ter sido anteriormente adquirido. Este programa utiliza objectos TIN², que geram superfícies contínuas em 3D³, compostas por malhas triangulares irregulares (Figura 3.7, drt.), a partir dum conjunto de pontos localizados num espaço 3D.

No que diz respeito às ortofotografias georeferenciadas e uma vez estando no formato *.sid, torna-se necessário abri-las no programa MrSID Viewer (Figura 3.7, esq.) para depois exportá-las para o formato TIFF. Depois de montado o painel de ortofotografias, procede-se à respectiva compressão e aplicação como textura do terreno 3D.

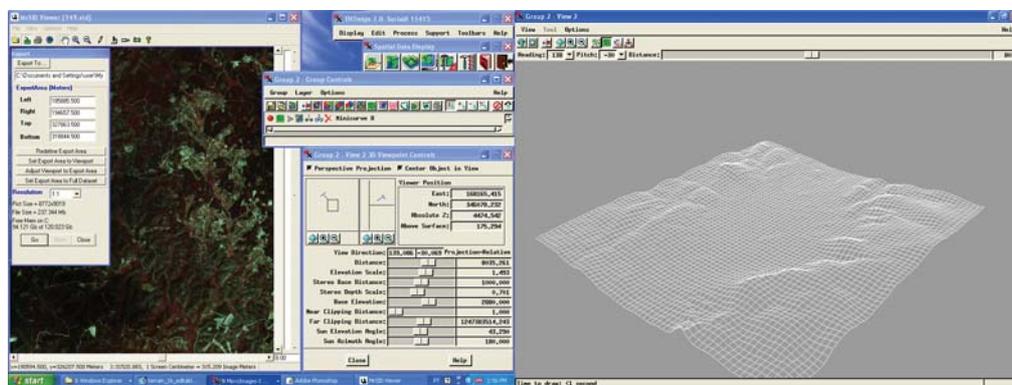


Figura 3.7 Ortografia no MrSID Viewer (esq.) e malha triangular no TNTmips (drt.).

Para a aplicação de superfície e da respectiva textura no terreno modelado, o mercado disponibiliza diversos programas. A opção pelo Autodesk 3DS Max (secção 3.3.2.1 *Modeladores Genéricos*), em detrimento do Strata 3D ou do True-Space, entre outros, deveu-se à sua compatibilidade com os programas anteriormente descritos, assim como ao facto de se tratar de um programa profissional líder de mercado, que reúne inúmeras potencialidades associadas a ferramentas: de modelação 3D de objectos estáticos, em movimento e interactivos; de aplicação de texturas, de iluminação, de animação e de renderização.

De seguida, apresenta-se um quadro com um resumo das características gerais dos programas utilizados na modelação 3D de terreno.

2 TIN, abreviatura de *Triangulated Irregular Network*.

3 Ou DTM, abreviatura de *Digital Terrain Model*.

Programa/Versão	Sistema Operativo	Formato Nativo	Exportação
3D Studio Max 7	Windows	*.max, *.3ds	*.ai, *.dwg, *.dxf, *.w3d, *.obj, *.x, *.wrl, etc.
MrSID Viewer 2.0 (freeware)	Windows, Macintosh	*.sid	*.tif
TNTmips/TNTedit 7.0 (freeware)	Windows, Macintosh, UNIX (incl. Linux)	*.rvc	TNTlite, atlas, sim3D

Quadro 3.6 Características gerais dos programas de modelação e visualização 3D de terreno.

3.3.2 Modelação 3D de Objectos

Existem diversas aproximações possíveis para gerar modelos 3D de objectos, nomeadamente através de modeladores genéricos (secção 3.3.2.1 *Modeladores Genéricos*), de modelação baseada em imagens, ou seja, da fotogrametria (secção 3.3.2.2 *Modelação 3D de Objectos com Base em Imagens*) e de digitalização 3D (secção 3.3.2.3 *Digitalização 3D*).

3.3.2.1 Modeladores Genéricos

Tal como referido anteriormente, os modeladores genéricos 3D podem ser uma mais-valia para a modelação de topografia (secção 3.3.1 *Modelação 3D de Terreno*), de arquitectura (secção 3.5.1 *VRML*) e de objectos, na medida em que, quando comparados com a programação directa em VRML: facilitam bastante a restituição de objectos a partir de fragmentos existentes; facilitam também o aumento de níveis de detalhe; e reduzem o tempo de modelação dos mesmos. A desvantagem reside no facto do resultado ser um documento *.wrl cheio de informação e pesado, numa lógica de Internet. Por este motivo, haverá sempre que cuidar o balanceamento entre níveis de detalhe e peso final do documento.

Novamente, a opção pelo Autodesk 3DS Max (Figura 3.8) para a modelação de alguns objectos parece ser a mais adequada, pelos motivos já mencionados.

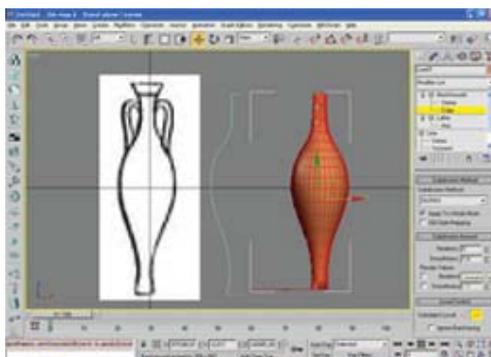


Figura 3.8 Interface do 3DS Max: Restituição digital de uma ânfora.

3.3.2.2 Modelação 3D de Objectos com Base em Imagens

A presente abordagem baseia-se no mapeamento de fotografias, ou seja, na fotogrametria (Quadro 3.7) [Vision02]. Tal como se pretende demonstrar, este método pode ser utilizado para fins lúdicos, pedagógicos e científicos (nomeadamente no registo de sítios arqueológicos e na criação de bases de dados digitais de Colecções de Referência, essenciais para a identificação e indexação automática de artefactos, de ossos e de plantas), mesmo não alcançando a mesma precisão dos modelos obtidos com as tecnologias anteriormente descritas. Este método permite gerar modelos específicos de objectos, por exemplo de um jarro concreto com grande parte das suas características individuais.

Versão	D-Sculptor, Professional edition, versão 2.0
Sítio na Internet	www.d-vw.com
S. O.	Windows
Formato nativo	*.dsd
Exportação	*.wrl, *.dxf 3ds, *.obj, *.x, *.w3d, *.bmp
Obs.	Vários formatos de exportação; dificuldade de posterior manipulação dos modelos gerados, p.ex. <i>smoothmesh</i>

Quadro 3.7 Características gerais do D-Sculptor.

Para a criação de modelos 3D a partir da fotogrametria, existem diversos programas no mercado, nomeadamente o PhotoModeler, o Strata e o D-Sculptor (Figura 3.9). Estes programas têm a vantagem de permitir a exportação dos modelos gerados para VRML, 3DS e CAD, entre outros formatos. No entanto, apesar das suas características e resultados serem globalmente semelhantes, a opção tomada para a utilização deste último deveu-se unicamente ao facto de nenhum ser gratuito e este ter sido já adquirido.

Para o efeito, são efectuadas exactamente 16 fotografias de um objecto, de diferentes ângulos. Após a identificação do objecto no D-Sculptor, este é traduzido em pontos, linhas ou polígonos. Através de um processo de interpolação, as 16 marcas de referência (pequenos alvos numerados. Figura 3.9, drt.) são convertidas em entidades referenciadas no espaço 3D, permitindo a consequente exportação para VRML, 3DS e CAD, entre outros formatos.

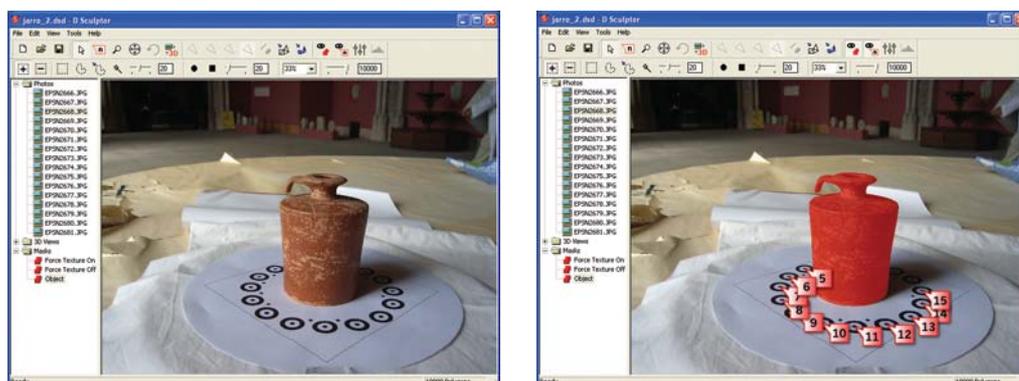


Figura 3.9 Identificação do objecto (esq.) e marcas de referência (drt.), no D-Sculptor.

3.3.2.3 Digitalização 3D

Conscientes da redução drástica de tempo de modelação com elevada precisão de objectos complexos, entre outras vantagens e características, apesar de não ter sido possível a utilização atempada de digitalizadores 3D neste trabalho, parece-nos, no entanto, pertinente proceder a uma breve abordagem.

Existem diversas tecnologias associadas a digitalizadores 3D de curto alcance e sem contacto no mercado (frequentemente, os digitalizadores por contacto não se adequam, uma vez que grande parte dos achados arqueológicos são frágeis). Na óptica do utilizador, estes equipamentos de alta resolução consistem em captar coordenadas 3D de uma dada área da superfície de um objecto (é gerada uma nuvem de pontos que, por sua vez, são ligados entre si por um processo de triangulação, gerando uma malha triangular e respectiva superfície) em tempo-real (podendo atingir milhares de pontos por segundo). O resultado deste processo é um modelo tridimensional com elevada precisão, permitindo uma aquisição de dados automática e de forma sistemática para posteriores análises morfológicas e métricas. Estes digitalizadores podem ser classificados da seguinte forma:

- Laser com Estação Total incluída - Especialmente indicado para o varrimento simultaneamente a laser e óptico de superfícies de grandes dimensões e detalhe médio. Sendo uma das suas mais-valias a captação de pontos georeferenciados e com cor, neste trabalho a sua utilização teria sido adequada na digitalização da topografia, das superfícies de desmontagem, das estruturas e dos achados do sítio;

- Laser - Especialmente indicado para o varrimento a laser (e, por vezes, também óptico) de superfícies de médias dimensões e detalhe grande. Apesar de não georeferenciar os pontos, estes podem facilmente ser incorporados noutra modelo maior georeferenciado, para obter um maior detalhe de determinadas áreas de uma dada superfície. Apesar de, em Portugal, estes equipamentos serem sobretudo utilizados nas indústrias de moldes (prototipagens, réplicas e próteses médicas), automóvel e aeronáutico, podem naturalmente ser utilizados em diversos outros contextos arqueológicos. Neste trabalho a sua utilização teria sido muito útil na digitalização de artefactos e de ossos nas camadas arqueológicas ou fora destas e, de um modo geral, na preservação, salvaguarda, inventariação, catalogação e disseminação do nosso património;
- Estereofotogramétrico - A utilização, as capacidades e os resultados obtidos são semelhantes aos dos digitalizadores Laser. Esta tecnologia torna-se aqui tão ou mais interessante, uma vez que alia dois dos métodos a seguir abordados: a fotogrametria e a estereoscopia (secções 3.3.2.2 *Modelação 3D de Objectos com Base em Imagens* e 3.3.3.2 *Visualização com Efeito Estereoscópico*, respectivamente). Consiste na referenciação óptica de cada ponto do objecto, em tempo-real e simultaneamente por cada uma das duas câmaras do digitalizador;
- Luz Branca Estruturada - Indicado para superfícies de pequenas dimensões e detalhe muito grande. Dada esta tecnologia basear-se na projecção de padrões de luz sobre a superfície a captar, torna-se bastante sensível a qualquer alteração da iluminação ambiente durante a digitalização, sendo aconselhável a sua utilização em laboratório ou estúdio. Neste trabalho, a sua utilização teria sido nomeadamente útil na digitalização de moedas e de peças de joalharia e ourivesaria.

As principais vantagens destas tecnologias são, em contexto arqueológico, as seguintes:

- Digitalização não intrusiva (sem contacto e sem degradação das superfícies);
- Digitalização e modelação tridimensional do património arqueológico natural, construído, imóvel, móvel, terrestre e subaquático, tais como gravuras rupestres, grutas, abrigos, superfícies de desmontagem de sítios, edifícios, embarcações e artefactos;
- Digitalização georeferenciada, no caso de ser utilizado um digitalizador com Estação Total incluída, e modelação tridimensional das diferentes superfícies de desmontagem de um dado sítio arqueológico;
- Aumento exponencial da quantidade, fiabilidade e precisão dos registos (controlo de qualidade: desvio entre modelo real e modelo digital);
- Redução significativa de registos manuais de campo, bem com da quantidade de recursos humanos anteriormente necessários, do tempo dispendido e respectivo orçamento;

- Redução significativa de tempo de modelação dispendido;
- Modelos tridimensionais e dados (métricos, morfológicos e estatísticos) disponíveis em formato digital, facilitando o acesso e a troca de informação e de conhecimentos;
- Reprodução não intrusiva (sem contacto e degradação das superfícies. As réplicas físicas são obtidas através de equipamentos de prototipagem rápida) a qualquer escala e em diversos materiais, a partir do modelo digital obtido;
- Preservação, salvaguarda, inventariação, catalogação (por exemplo de bases de dados de Coleções de Referência, bem como de outras organizações temáticas, com modelos 3D virtuais interactivos e metadados multidisciplinares) e disseminação da nossa herança cultural, levando à democratização do conhecimento.

Partindo do pressuposto de que uma escavação arqueológica é um processo destrutivo, torna-se urgente proceder ao registo imediato de todos os achados, executado com rapidez e precisão, de forma a maximizar a produtividade dos recursos normalmente limitados e permitir, quanto antes, o prosseguimento dos trabalhos, bem como minimizar a degradação dos sítios e dos materiais [Renfrew04].

Contudo, nenhum digitalizador comercializado no mercado preenche todos os requisitos necessários para cada um dos diferentes projectos arqueológicos, ou seja, consoante o objectivo pretendido é necessário seleccionar o equipamento mais adequado. Por outro lado, o preço elevado destes equipamentos nem sempre possibilita a sua utilização.

3.3.3 Visualização 3D de Objectos

Enquanto que os programas de modelação 3D descritos constroem modelos com malhas poligonais, permitindo eventuais alterações volumétricas ou os modelos serem integrados em outros ambientes 3D virtuais, os programas de simulação aqui utilizados abrem a possibilidade de:

- Gerir uma sequência de imagens planas panorâmicas (secção 3.3.3.1 *Visualização 3D com Base em Imagens*) de objectos ou cenas;
- Fundir duas imagens (secção 3.3.3.2 *Visualização com Efeito Estereoscópico*) de objectos ou cenas.

3.3.3.1 Visualização 3D com Base em Imagens

No primeiro caso, o VR Worx permite ao utilizador simular objectos 3D a partir de objectos reais complexos, imagens panorâmicas de paisagens e cenas compostas. Para tal, são tiradas várias fotografias de um objecto ou local, de diferentes ângulos. De seguida, o programa “cola” as fotografias sequencialmente (Figura 3.10), criando a sensação de se estar a manipular um objecto 3D ou de se estar imerso numa paisagem.

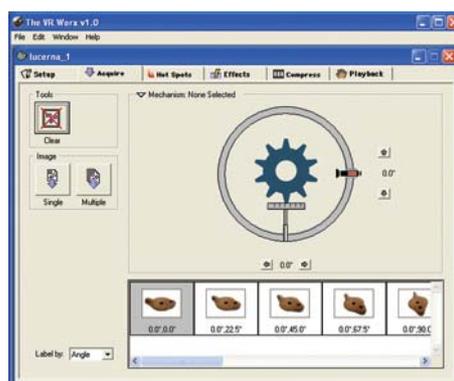


Figura 3.10 Sequência de fotografias, no VR Worx.

Este programa apenas permite a exportação para formatos de imagem *.jpg (sendo esta uma limitação, já que se trata de um formato de compressão de imagem que, por sua vez, se traduz na sua redução de qualidade e nível de detalhe) ou *.mov (a imagem permite alguma interactividade, através da manipulação com o rato) (Quadro 3.8). Utiliza a tecnologia QuickTime VR (*Virtual Reality*), que pode funcionar como *stand-alone player* para PC e Macintosh ou como *plug-in* para visualizadores da Internet.

Versão	The VR Worx v1.0
Sítio na Internet	http://www.vrtoolbox.com
S. O.	Windows, Macintosh
Formato nativo	*.orx
Exportação	*.mov
Obs.	Utiliza tecnologia QTVR, permitindo a criação de Panoramas, Objectos e Cenas; Rotação, Zoom, Ligação a outros ficheiros (através de áreas sensíveis)

Quadro 3.8 Características gerais do VR Worx.

3.3.3.2 Visualização com Efeito Estereoscópico

A percepção visual é um sentido que consiste na capacidade de detectar luz e interpretar o que se vê, a olho nu. Apesar do sistema visual humano ter dois canais ópticos distintos, do ponto de vista neurofisiológico é considerado como um único sistema sensorial.

A estereoscopia consiste na sensação de profundidade (paralaxe), resultante da convergência e fusão, ou seja, da transformação perceptiva, de duas imagens monoculares captadas por cada um dos olhos, respectivamente [Leitão94] (Figuras 3.11 e 3.12).

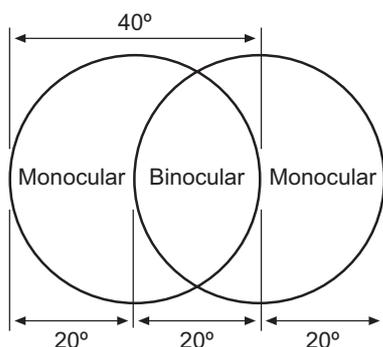


Figura 3.11 Sobreposição parcial binocular [Kalawsky93].

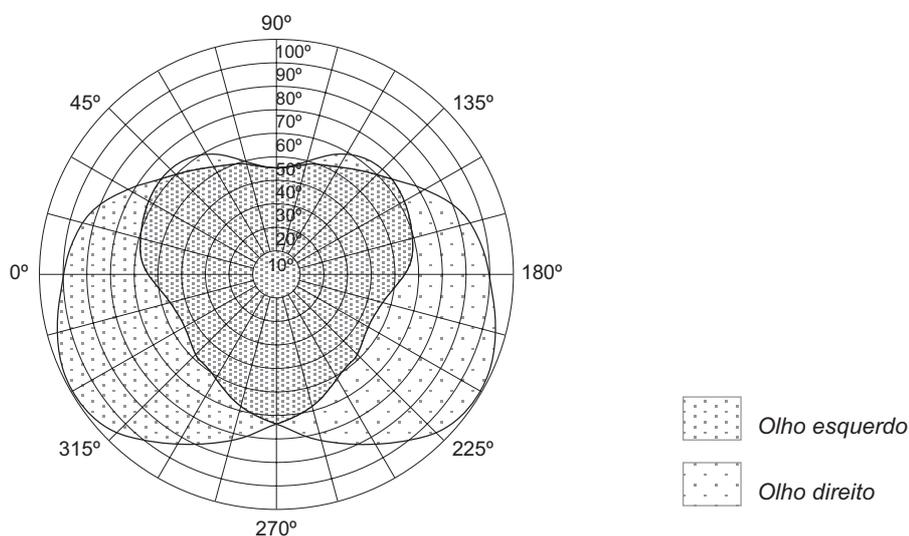


Figura 3.12 Campo visual normal de uma pessoa [Kalawsky93].

No caso dos olhos captarem duas imagens demasiadamente desfasadas uma da outra, em termos espaciais ou de luminosidade, o sistema de percepção visual tem dificuldade em efectuar a respectiva interpretação e dá-se a chamada Rivalidade Binocular. Nestas situações, o sistema visual tenderá a suprimir uma das duas imagens.

A percepção da profundidade foi descrita pela primeira vez por Sir Charles Wheatstone, em 1838, logo após a invenção da fotografia, em 1826. Daí decorreu o aparecimento da fotografia a três dimensões, que viria a tornar-se bastante popular pelo facto da dimensão profundidade aumentar a experiência visual e consequentemente o prazer de ver [Durand].

O princípio da fotografia estereoscópica é simples: tomam-se duas imagens do mesmo assunto a partir de pontos de vista ligeiramente desfasados. As duas devem ser observadas de modo a que cada olho veja apenas a imagem que lhe é destinada e não veja a outra [Durand]. Para o efeito, foram desenvolvidas uma série de técnicas, algumas das quais se descrevem seguidamente:

- Estereoscópio Lenticular, de Brewster - Existem vários modelos, mas genericamente consistem numa caixa com duas oculares (Figura 3.13). No seu interior, está colocado um septo perpendicular ao plano das oculares, cuja funcionalidade é dividir a caixa em dois compartimentos. Coloca-se um cartão com um par de imagens ou um disco com transparências positivas duplas, ligeiramente desfasadas (Figura 3.14).



Figura 3.13 Estereoscópio de Brewster, séc. XIX (esq.) e *ViewMaster*, séc. XXI (drt.).



Figura 3.14 Estereoscopia Lenticular: Cartão com par de imagens.

Ao espreitar pelas oculares, as duas imagens sobrepõem-se criando, então, uma sensação de relevo (Figura 3.15).

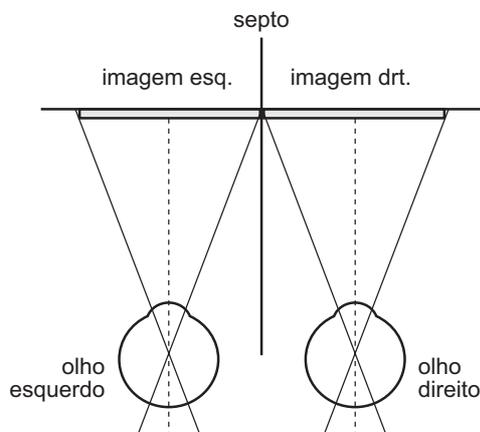


Figura 3.15 Método de visualização.

- Estereoscopia de Plano Bissector, de Pigeon - Consiste em colocar duas fotografias uma ao lado da outra [Durand], sendo que uma está horizontalmente invertida (Figura 3.16). Coloca-se um espelho à esquerda do plano bissector e observa-se a imagem da direita com o olho direito.



Figura 3.16 Estereoscopia de Plano Bissector [Durand].

Entretanto, como a imagem da esquerda é vista por reflexão no espelho, parece que esta se sobrepõe àquela (Figura 3.17).

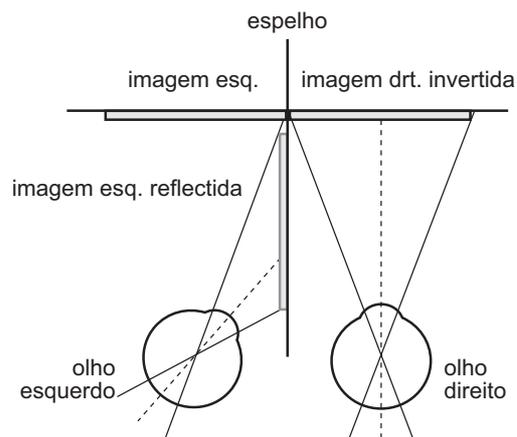


Figura 3.17 Método de visualização.

- Estereoscopia Anaglífica⁴ - Consiste em duas imagens em cores complementares de um mesmo motivo, sobrepostas com um pequeno desfaseamento horizontal, decorrente de ângulos diferentes de observação (Figura 3.18). É necessária a utilização de óculos adequados com lentes das mesmas cores complementares, para uma correcta visualização.

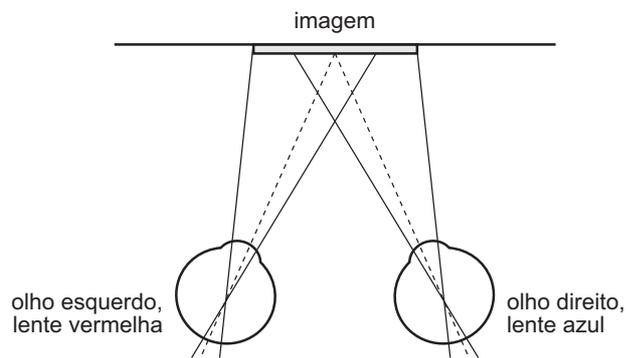


Figura 3.18 Método de visualização.

Para a criação de imagens estereoscópicas-anaglíficas a opção mais indicada parece ser o Anaglyph Maker (Quadro 3.9), por ser gratuito, por ser facilmente descarregado da Internet (o documento ZIP apenas pesa 729 KB) e por a sua utilização ser bastante fácil e intuitiva (Figura 3.19).

⁴ ou Anáglifos. Do grego *anágluphos*, «cinzelado em relevo», pelo latim *anaglyphia*, id.

Versão	Anaglyph Maker 1.08
Sítio na Internet	http://www.stereoeye.jp/software/
S. O.	Windows, Macintosh
Formato nativo	-
Exportação	*.bmp, *.jpg
Obs.	Freeware; utilização bastante intuitiva

Quadro 3.9 Características gerais do Anaglyph Maker.

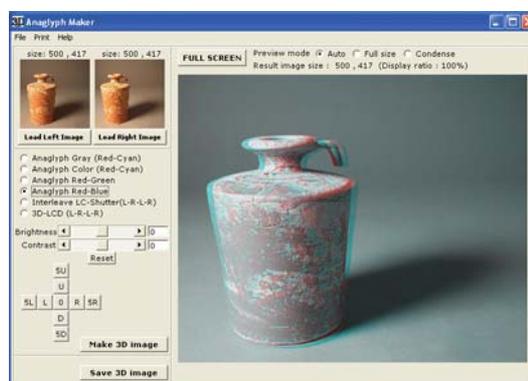


Figura 3.19 Edição de imagem estereoscópica, no Anaglyph Maker.

3.4 Montagem de Objectos Multimédia

Para montagem dos objectos multimédia, criação e desenvolvimento do *layout* gráfico e interactivo global da aplicação e edição de HTML, o mercado disponibiliza uma diversidade de programas pagos ou gratuitos, tais como o Dreamweaver MX, o Microsoft FrontPage, o PageBreeze ou, em alternativa, qualquer editor de texto. A opção tomada para a utilização do Dreamweaver MX (Quadro 3.10) baseou-se no facto de reunir, contrariamente aos restantes programas, uma série de mais-valias significativas, nomeadamente: a sua utilização generalizada entre profissionais da área do multimédia; total compatibilidade e flexibilidade com os programas referidos nas secções anteriores; interface WYSIWIG (*what you see is what you get*), com um editor de código e outro visual; disponibilização de um leque de funcionalidades e automatismos bastante úteis que, se por um lado, facilitam a montagem e gestão de documentos complexos, por outro, não obrigam a um domínio perfeito da linguagem; utilização claramente mais intuitiva e rápida, quando comparada com a concorrência (Figura 3.20).

Versão	Macromedia Dreamweaver MX
Sítio na Internet	http://www.macromedia.com/software/dreamweaver/
S. O.	Microsoft Windows, Macintosh
Formato nativo	*.htm, *.html

Quadro 3.10 Características gerais do Dreamweaver.

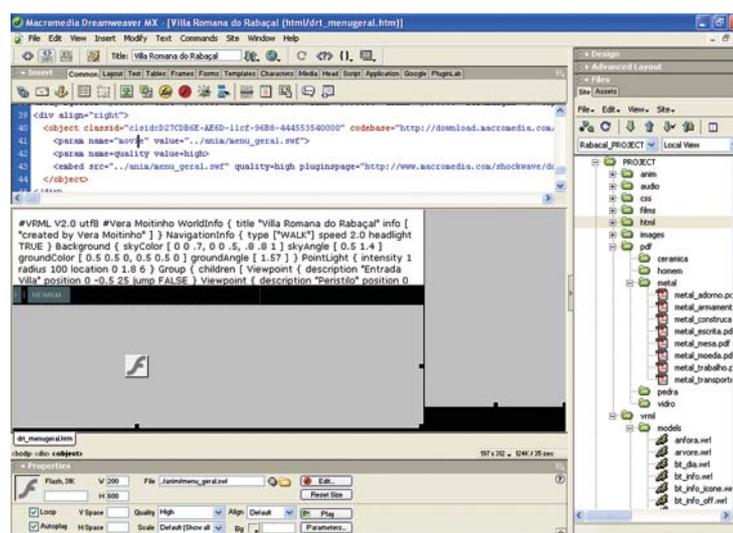


Figura 3.20 Desenvolvimento do layout gráfico e interactivo global.

Para montagem de alguns objectos multimédia, criação e desenvolvimento do *layout* gráfico e interactivo de algumas das partes a incluir na aplicação, o Flash (apresentado na secção 3.1 *Produção e Pós-produção de Imagem*) é uma ferramenta interessante, pelas razões anteriormente descritas.

3.5 Linguagens de Modelação, Programação e Anotação

Nesta secção apresentam-se as linguagens de modelação, anotação e programação utilizadas, tais como: a VRML, para descrever ambientes virtuais 3D complexos; o Javascript, para tornar os ambientes virtuais mais dinâmicos; o Actionscript, para enriquecer a navegação e a interactividade dos filmes Flash; o HTML, para construir documentos interactivos e com conteúdos multimédia; e a ligação Java-EAI, para potenciar a interactividade dos ambientes virtuais. Segue-se uma análise individual e a descrição das respectivas formas de integração.

3.5.1 VRML

VRML é um acrónimo de *Virtual Reality Modeling Language*. Dave Raggett utilizou este termo pela primeira vez em 1994, na primeira conferência World Wide Web, no CERN, em Génova [Ames97, Carey97, Hartman98, Pesce96].

Inicialmente, quando surgiu, pretendia tornar-se numa linguagem de anotação e modelação normalizada⁵ para o desenvolvimento de simulações 3D interactivas na Internet. Esta linguagem foi baseada no *Open Inventor ASCII*.

A VRML atingiu o seu auge de popularidade depois do lançamento no mercado da VRML 2.0 (Quadro 3.11), em 1997, formato que foi desenvolvido pela *Cosmo Software* (SGI). Em 1998, aquando da reestruturação da SGI, o departamento foi vendido à *Platinum Technologies* que, por sua vez, foi vendida à *Computer Associates*, tendo esta descontinuado o produto. No sentido de preencher esta lacuna, apareceram no mercado uma série de formatos 3D para a Internet, nomeadamente o *Microsoft Chrome*, o *Adobe Atmosphere* e o *Shockwave 3D*, mas nenhum destes vingou. Mais tarde, o VRML Consortium mudou o seu nome para Web3D Consortium, e iniciou os trabalhos de substituição pela X3D⁶, mais moderna e baseada no formato XML.

Formato nativo	*.wrl (<i>world</i>)
MIME⁷ type	x-world/x-vrml; model/vrml
Obs.	Pode ser editado num vulgar editor de texto

Quadro 3.11 Características gerais da VRML.

Os trabalhos conducentes a esta dissertação foram desenvolvidos com a linguagem VRML 2.0 por se tratar, à data, da linguagem mais adequada e, até um certo ponto, mais simples para descrever ambientes virtuais 3D complexos (neste caso, na representação da paisagem, de construções e de artefactos) e interactivos na Internet⁸. Esta linguagem possibilita a criação de ambientes virtuais dinâmicos e multi-sensoriais, na medida em que permite:

5 Esta linguagem foi aceite pela *International Standard Organization* como a norma/documento ISO/IEC DIS 14772-1. A extensão dos seus documentos é *.wrl, de *world* (mundo).

6 X3D, abreviatura de *Extensible 3D*. Formato normalizado pela ISO (International Standard Organization), para gráficos 3D. www.web3d.org/x3d

7 MIME, abreviatura de *Multipurpose Internet Mail Extensions*. Programa normalizado que descreve o tipo de conteúdo de um documento enviado pela Internet. Todos os visualizadores de Internet reconhecem os tipos de conteúdo MIME (*MIME content types*), usando-os para decidir como mostrar a informação na janela do browser.

8 «Home pages become home spaces.» [Beier]

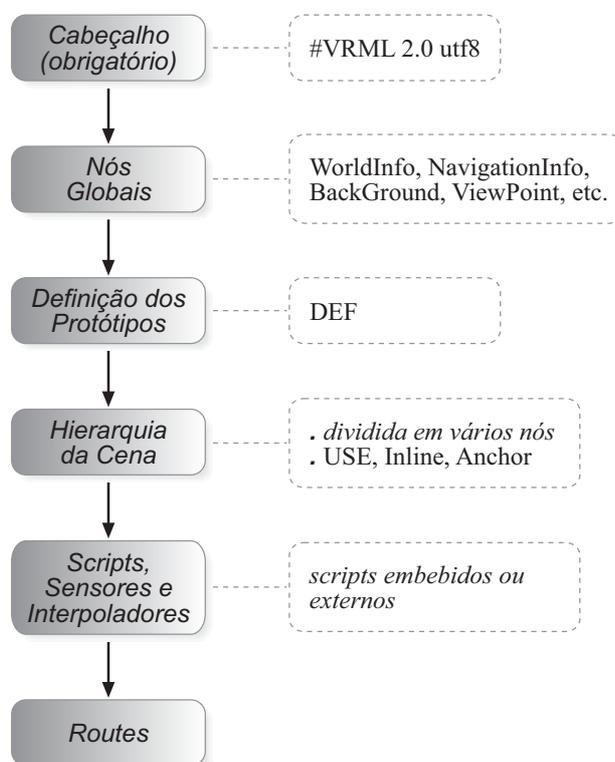
- Controlar e aumentar as capacidades dos ambientes virtuais, através de *scripts*;
- Inserir animação de objectos no ambiente virtual (Quadro 3.12);
- Inserir sons, imagem estática e vídeo (Quadro 3.12);
- Ao utilizador, interagir com o ambiente virtual.

Ficheiro	Formato
Imagem	GIFF, JPEG, PNG
Filme	MPEG (pode incluir áudio)
Áudio	MIDI, WAV, MPEG, MP3

Quadro 3.12 Formatos suportados pela VRML.

3.5.1.1 Estrutura de um Documento VRML

À estrutura do documento dá-se o nome de *Scene Graph*, que contém um conjunto de objectos dispostos segundo uma determinada ordem (Esquema 3.1).



Esquema 3.1 Estrutura básica utilizada nos documentos VRML.

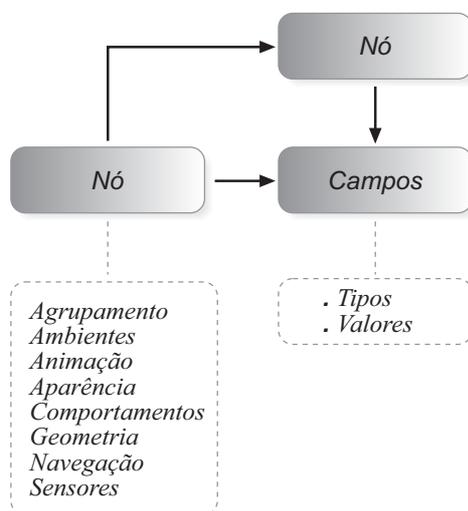
Todos os documentos começam obrigatoriamente com o seguinte cabeçalho:

```
#VRML v2.0 utf8
```

que descreve ser um documento VRML, corresponder à versão 2.0, e utilizar caracteres utf8 (normalização ISO).

Seguindo-se os Nós Globais (**WorldInfo**, **NavigationInfo**, **Background**, **Viewpoint**), onde são definidas características gerais ao mundo.

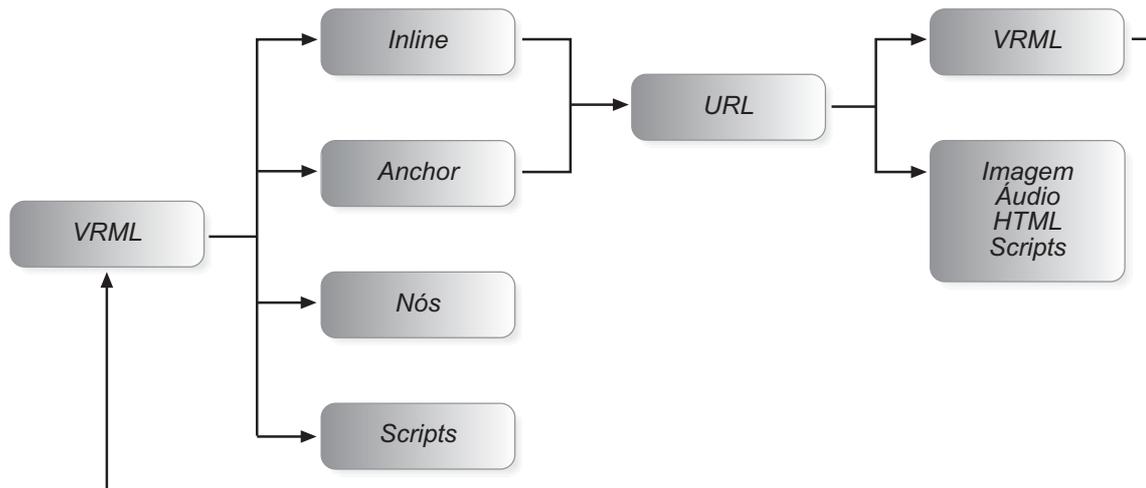
Posteriormente e quando necessário, definem-se os protótipos - sempre que se pretende reutilizar objectos ou propriedades deverá recorrer-se às expressões **DEF** (para definir) e **USE** (para instanciar) para uma maior eficiência e uma programação modular - e os restantes nós da hierarquia da cena (Esquema 3.2).



Esquema 3.2 Características do Nó.

Um objecto VRML pode consistir em algo mais físico, como seja um polígono ou um sólido, com propriedades atribuídas às superfícies (cor, brilho, suavidade das arestas, textura, etc.) e a respectiva localização num espaço 3D. Pode também ser algo mais abstracto, como seja o som, a iluminação e um ponto de vista. Um objecto também pode conter outros objectos estruturados em nós (blocos de programação que contêm dados/informação e que são armazenados e descritos nos campos) e, por sua vez, um nó também pode conter outros nós. Cada nó contém um conjunto de campos (com nomes pré-definidos) com diferentes atributos. Como os nós funcionam como blocos independentes, a sua ordem poderá ser aleatória, mas, no entanto, caso tenham nós dependentes (**child**), qualquer alteração será passada por herança aos nós subsequentes.

Os objectos também podem ser agrupados e combinados em cenas ou mundos. Criar um mundo VRML completo requer a integração de vários elementos, tais como texturas, animações, filmes, sons, outros objectos ou páginas HTML (Esquema 3.3).

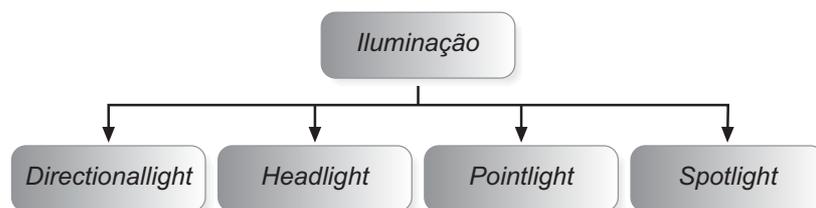


Esquema 3.3 Tipo de conteúdos utilizados nos documentos VRML.

Nem todos os objectos necessitam ser definidos dentro do mesmo documento, podendo ser criados em documentos independentes. Deste modo, apenas se torna necessário referenciar o documento⁹, não obrigando o mundo VRML a descarregar todo de uma só vez, facilitando as optimizações do *browser* e tornando a navegação mais fluida.

3.5.1.2 Iluminação

De acordo com [Hartman98], um nó de iluminação apenas descreve como é que uma parte do mundo deve ser iluminada, não havendo lugar a projecção de sombras em outras superfícies. Para o efeito, a VRML disponibiliza os seguintes tipos de iluminação [Ames97]:



Esquema 3.4 Tipos de Iluminação.

- *Directionallight* - Está localizada num ponto infinito do espaço e ilumina a cena com raios paralelos na mesma direcção. Peso computacional baixo, logo, rapidez de processamento (Figura 3.21, esq.).

⁹ A localização dos documentos é especificada em URL's, abreviatura de *Uniform Resource Locator*. Estas podem ser relativas (p. ex., pasta/documento.htm) ou absolutas (p. ex., http://www.nome.pt).

- *Headlight* - É uma *Directionallight* branca, controlada pelo *browser* e automaticamente activada, colocada virtualmente na cabeça do utilizador, à semelhança de uma luz de mineiro. Esta luz acompanha os movimentos e trajectória do utilizador, iluminando tudo aquilo que se encontra à sua frente;
- *Pointlight* - Está localizada num ponto específico do espaço e ilumina em todas as direcções. Apesar do peso computacional associado a uma *pointlight* ser relativamente baixo, alguns sistemas não conseguem processar simultaneamente mais de duas (Figura 3.21, centro);
- *Spotlight* - Está localizada num ponto específico do espaço. A iluminação tem uma direcção determinada e é cónica. A intensidade da luz diminui exponencialmente, conforme se aproxima dos limites do cone. O seu peso computacional é elevado (Figura 3.21, drt.);

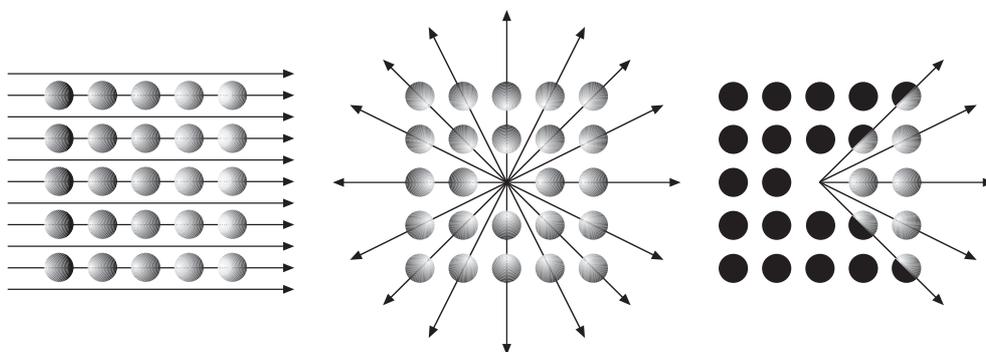
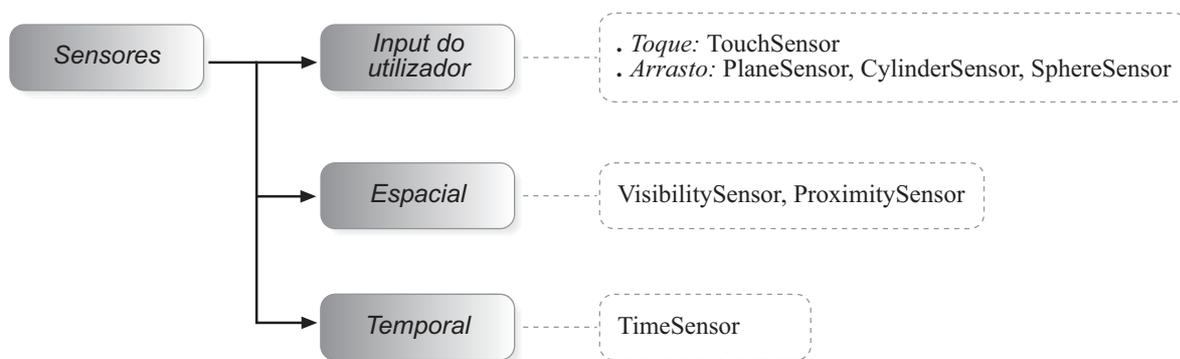


Figura 3.21 *Directionallight* (esq.), *Pointlight* (centro) e *Spotlight* (drt.) [Ames97].

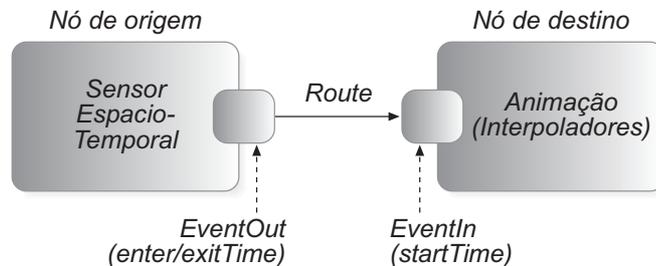
3.5.1.3 Sensores e Animações

Os Sensores permitem ao utilizador interagir com os objectos de diferentes formas, consoante os objectivos (Esquema 3.5). Reagem a eventos gerados pelo utilizador, respondendo de forma pré-definida.



Esquema 3.5 Tipos de Sensores.

Um circuito VRML básico (Esquema 3.6) é construído a partir da descrição de um trajecto (**ROUTE**) entre um nó (evento de saída - *eventOut*) e outro (evento de entrada - *eventIn*). O primeiro nó envia eventos ao segundo, levando-o a reagir, respondendo às acções do utilizador.



Esquema 3.6 Exemplo de circuito de saída e entrada de eventos.

3.5.2 EAI

O Java é uma linguagem de programação OO¹⁰, com uma sintaxe aparentando algumas semelhanças com a linguagem C++.

Foi criada e desenvolvida pela Sun Microsystems e pela Netscape Communications, em 1991, especificamente para permitir a execução de programas (aplicações e *applets* Java) dentro de um *browser* de Internet, potenciando a interactividade das páginas.

A vantagem de ser multi-plataforma, faz com que o seu código possa ser executado em várias plataformas, sem necessidade de adaptações.

A EAI¹¹ era uma das extensões mais interessantes da linguagem VRML 2.0, porque permitia um controlo externo da cena através de um API¹² [PG05, Steed97].

De acordo com [Regan99], os nós Javascript internos em concordância com a EAI permitiam ao programador controlar os nós do mundo VRML. A utilização ora de um, ora de outro, dependia dos objectivos do programador, já que o primeiro apenas permitia um controlo interno do mundo (*scene graph*) e o segundo um controlo a partir de uma interface exterior, um API.

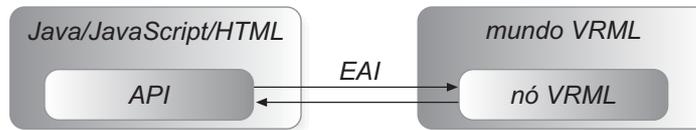
O objectivo inicial da utilização de uma EAI consiste em adicionar comportamentos complexos, ao

10 OO, abreviatura de *Object-Oriented*.

11 EAI, abreviatura de *External Authoring Interface*.

12 API, abreviatura de *Application Program Interface*. Um API consiste num conjunto de rotinas, protocolos e ferramentas para construir aplicações de programas e criar interfaces de programação.

criar um eixo de comunicação bidireccional entre um API inserido numa página HTML e o interior de um mundo VRML, com recurso a programação em Java (Esquema 3.7).



Esquema 3.7 Comunicação através de uma EAI.

Em termos práticos, esta facilidade permite, por exemplo, colocar botões fora do mundo VRML para que o utilizador possa controlar algumas características dentro do mesmo, nomeadamente: alternar entre um passeio virtual diurno ou nocturno; ligar ou desligar o acesso a informações adicionais; ligar ou desligar sons.

No desenvolvimento do protótipo decorrente deste trabalho, revelou-se impossível a utilização da EAI na sua totalidade, dada a comunicação entre esta e a VRML ser executada através da JVM¹³ e este produto ter, entretanto, sido descontinuado. Esta situação causou algumas alterações no desenho previsto do protótipo, conforme se descreve na secção 4.4 *Interactividade*.

3.5.3 HTML

Citando [Dicionet07] «HTML é uma linguagem de anotação utilizada para construir documentos baseados em hipertexto. É um formato específico para construção do documento, que se baseia na inserção de códigos especiais, embebidos em texto simples, para marcar determinadas características, parágrafo, título, código de programa, ligação a outro documento, etc. Os documentos HTML devem ser visualizados com um programa próprio - os visualizadores da *Web*» (*sic*).

A sintaxe da estrutura base de um documento HTML é a seguinte:

```
<HTML>
  <HEAD>
  </HEAD>
  <BODY>
  </BODY>
</HTML>
```

13 JVM, abreviatura de *Java Virtual Machine*. Com base em [Miranda99] “o compilador da linguagem Java cria código (...) para um processador ‘abstracto’, que é designado por máquina virtual Java. É neste processador que os programas são executados. O código fonte em Java dá, assim, origem a um conjunto de *bytes* formatados, designados vulgarmente por *bytecodes*, que contêm a especificação exacta das instruções que devem ser executadas na máquina virtual.”

3.5.4 Javascript

Com o JavaScript conseguem-se realizar análises lógicas simples ou complexas de eventos numa cena - quer sejam gerados pelo utilizador ou não – e, através de rotinas escritas, responder de uma forma quase inteligente, tornando os mundos mais dinâmicos.

Segundo [Dicionet07] o JavaScript¹⁴ é uma «linguagem de programação relativamente simples, criada pela Netscape, para produzir pequenos programas que se incluem em páginas Web» (Quadro 3.13). «Além do Netscape Navigator, também o Internet Explorer suporta uma versão reduzida desta linguagem (o Jscript)». O Javascript não é uma verdadeira linguagem de programação orientada ao objecto, sendo que o seu desempenho é mais limitado do que o Java, em virtude de ser «executado ao nível do *browser* e não ao nível do servidor».

Formato nativo	*.js
MIME type	application/x-javascript

Quadro 3.13 Características gerais do Javascript.

As potencialidades do Javascript são várias, quando utilizadas na construção de recursos avançados e consequente aumento de interactividade das páginas de Internet.

Nomeadamente pode ser utilizado em documentos VRML (através do nó **script** - recebe, processa e gera eventos, conseguindo controlar o comportamento dos objectos da cena) e HTML, consoante os objectivos, conforme se exemplifica:

- VRML - Referenciar e embeber um Javascript:

```
Script {
  url [ "../scripts/myScript.js",
        "javascript: function interruptor( ) { ... }" ]
}
```

- VRML - Interruptor (*TouchSensor*) para ligar e desligar a visualização de um conjunto de objectos. Deste modo, evita-se a criação separada de várias versões do mesmo mundo, mantendo-se a possibilidade de alternar entre elas:

```
Script {
  eventIn      SFBool      clickInINFO
  eventOut     SFVec3f     scaleOUT
```

14 O documento que especifica a normalização internacional do JavaScript é o ECMA-262.

```

url    `javascript:
      function clickInINFO (value, timestamp)
      { if (value) {
          scaleOUT [0]=0
          scaleOUT [1]=0
          scaleOUT [2]=0 } }`
} { ... }
ROUTE _3.scaleOUT TO obj.set_scale
ROUTE _2.isActive TO _3.clickInINFO

```

- HTML - Desactivar o botão direito do rato:

```

<head>
  <script language="JavaScript" type="text/JavaScript">
    function disableRightClick( ) { ... }
  </script>
</head>

```

- HTML - Botão para fechar janelas:

```

<body>
  <area shape="rect" coords="924,1,999,73"
        href="#" alt="Fechar Janela"
        onClick="javascript:self.close();"
        onKeyPress="javascript:self.close();" >
</body>

```

3.5.5 Actionscript

Com o objectivo de enriquecer a navegação e a interactividade dos filmes *.fla, o Macromedia Flash MX utiliza o ActionScript¹⁵ (Figura 3.22).

¹⁵ O ActionScript baseia-se no documento ECMA-262 (*European Computers Manufacturers Association*), que especifica a normalização internacional do JavaScript.

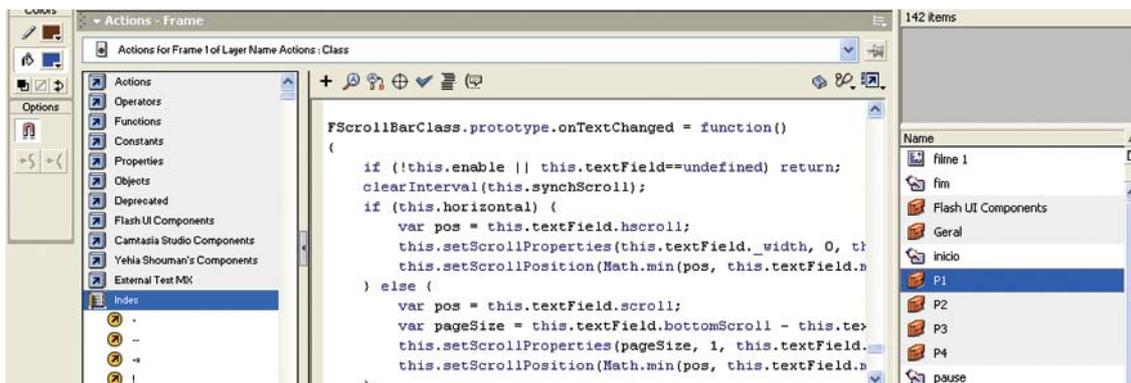


Figura 3.22 ActionScript embebido num documento Flash.

O Actionscript é uma linguagem de programação orientada ao objecto e segue as suas próprias regras de sintaxe, palavras-chave, operações e uso de variáveis. Apesar do seu estilo e da sua sintaxe serem semelhantes aos do JavaScript, não suporta todos os objectos deste.

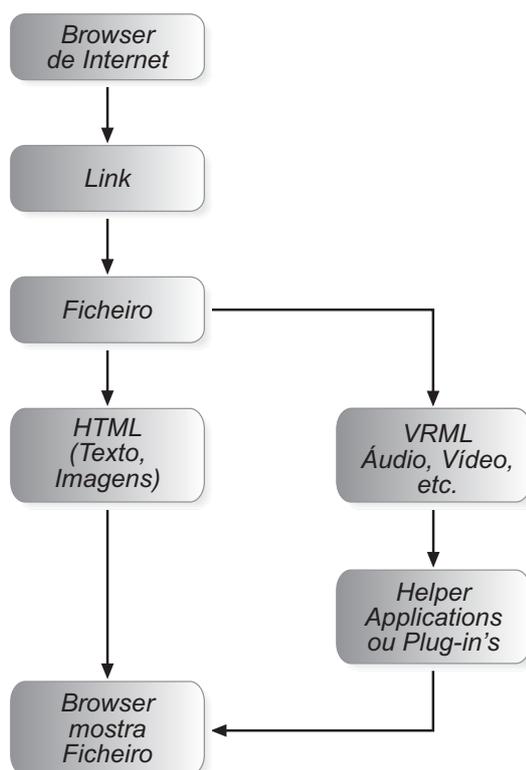
Nas linguagens orientadas aos objectos, a informação é organizada em grupos denominados por classes. Para se criar uma classe, é necessário definir as propriedades (características) e os métodos (comportamentos) de cada objecto por sua vez criado, possibilitando o uso de múltiplas instâncias destes num único. Os objectos podem ser meros contentores de dados ou representações gráficas do tipo *movie clips*, botões ou campos de texto.

No caso de se querer utilizar ActionScripts externos, a extensão do documento deverá ser *.as, e a referência no documento *.fla deverá ser a seguinte:

```
#include "nomedodocumento.as"
```

3.6 Visualizadores e Plug-ins

Quando um visualizador (*browser*) de Internet segue uma ligação (*link*) e encontra o documento de destino, verifica qual o tipo de dados MIME que descreve a informação do documento (Esquema 3.8). Se contiver texto, HTML ou imagens, o visualizador mostra o documento. No entanto, se contiver outro tipo de dados, tais como sons, filmes, mundos 3D VRML, etc., o visualizador de Internet passa a informação para *helper applications* ou *plug-ins*.



Esquema 3.8 Verificação do tipo de conteúdo de um documento, por um visualizador da Internet.

Estes programas “compreendem” especificamente determinados tipos de dados, permitindo a visualização de informação diferente de HTML. Consequentemente, para se conseguir visualizar documentos VRML, torna-se condição necessária a instalação de uma *helper application* ou de um *plug-in* específico, mais concretamente de um visualizador VRML.

Não havendo nenhuma tecnologia dominante, os museus têm feito escolhas diversificadas para criar e simular conteúdos 3D via Internet, obrigando os utilizadores a instalar uma série de *plug-ins* e de *helper applications*, potencialmente incompatíveis entre si, para aceder a estes conteúdos [Entlich06]. É certo que existem vários visualizadores VRML gratuitos disponíveis no mercado, mas em virtude da sua rapidez de resposta na navegação em tempo-real e de ser uma tecnologia das mais populares na Internet [Crispen00], optou-se pelo Cortona VRML Client [PG05] (Quadro 3.14).

Browser VRML	Cortona VRML Client, v4.2
Sítio na Internet	http://parallelgraphics.com
Requisitos mín.	Intel Pentium III, Pentium 4
S. O.	Microsoft Windows...
Browsers internet	Internet Explorer, Netscape Navigator, Firefox, etc.
Aceleradores 3D	DirectX, OpenGL

Quadro 3.14 Características gerais do Cortona VRML Client.

Este funciona como um *plug-in* de VRML nos visualizadores mais conhecidos (Internet Explorer, Netscape Navigator, Mozilla, etc.) e nos programas do Microsoft Office (PowerPoint, Word, etc.). E pode ser descarregado gratuitamente da Internet.

Segundo o fabricante, utiliza técnicas de síntese de imagem 3D optimizadas, que garantem uma boa qualidade gráfica nos PC's com placas gráficas recentes e antigas.

Permite, com a ajuda do rato ou do teclado, navegar pelos mundos e manipulá-los de várias formas (Figura 3.23): Avançar, recuar, deslocar paralelamente ou em torno de eixos, mover, rodar, escolher pontos de vista pré-definidos, se houver, etc.

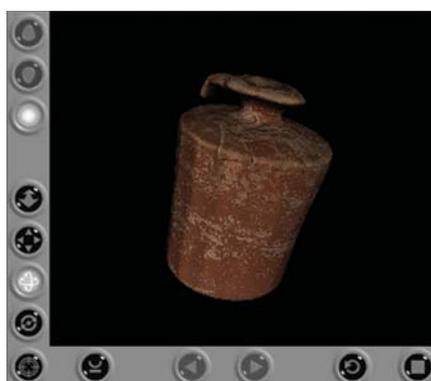


Figura 3.23 Visualização de um jarro no Cortona.

3.7 Sumário

Neste capítulo procedeu-se à caracterização e consequente justificação das várias tecnologias e ferramentas utilizadas no desenvolvimento do protótipo em questão.

De entre as inúmeras alternativas de ferramentas e tecnologias existentes no mercado, as opções tomadas para a utilização destas incidiram, essencialmente: na adequação aos objectivos pretendidos para os diferentes tipos de conteúdos; na integração e compatibilidade entre tecnologias; na capacidade de edição e gestão de documentos complexos; na utilização generalizada pelos profissionais do sector do multimédia; e na sua aquisição prévia. No entanto, teria sido possível, com tendência para aumentar no futuro, utilizar um maior número de programas gratuitos e de código aberto, no sentido de facilitar o acesso a estes e de aumentar o desenvolvimento de projectos semelhantes.

Cientes da importância das ferramentas de imagem e de áudio, um dos aspectos mais interessantes deste trabalho incide, no entanto, na utilização de ferramentas e tecnologias com características diversificadas associadas à modelação e visualização 3D. Concluiu-se que existem diversas aproximações possíveis para gerar modelos 3D de terrenos, de arquitectura e de objectos, nomeadamente através de programação em VRML, de modeladores genéricos, de modelação baseada em imagens e de digitalização 3D; assim como existem outras aproximações para visualização 3D com base em imagens ou com efeito estereoscópico.

Foi igualmente possível concluir que as ferramentas, as tecnologias e as linguagens informáticas aqui utilizadas permitem alcançar resultados gráficos, de visualização, de interactividade e de produção de objectos multimédia surpreendentes.

4

Estratégias de Implementação de Conteúdos Multimédia

Não obstante a Realidade Virtual em algumas das suas vertentes (Realidade Aumentada, Realidade Mista) também procurar uma ligação entre virtual e o físico e real, de acordo com [Rocha00], os museus virtuais levaram a mudanças significativas nas novas formas visuais de apresentação e interacção com os dados, não obedecendo à lógica clássica das técnicas museológicas. Por conseguinte, as visitas virtuais disponibilizam diferentes tipos de actos cognitivos ao visitante/utilizador, na medida em que o converte em construtor dos seus próprios conhecimentos. Ao utilizador é permitido pesquisar e analisar diferentes conjuntos de informação, navegar através das páginas, novamente iniciar outra pesquisa, e assim sucessivamente, explorando progressivamente com mais detalhe e de acordo com o seu ritmo e interesses, num mesmo tempo e através de múltiplas páginas abertas, que lhe vão exigir sempre novas perguntas e novas respostas.

Existem, naturalmente, inúmeras estratégias de implementação de conteúdos multimédia e cada uma com a sua abordagem técnica específica.

Talvez a versão mais simples e fácil seja a utilização de uma linguagem totalmente bidimensional e estática, em que basta ao utilizador premir um botão para carregar uma nova página HTML com imagens e um texto explicativo. Outra das várias possibilidades passa por utilizar tecnologias 3D, de facto, mas de uma forma passiva (p.ex. imagens estáticas ou filmes) na óptica do utilizador.

No entanto, depois de analisar as características e níveis de imersão [Schulze05] dos diversos tipos de dispositivos e sistemas de Realidade Virtual, nomeadamente do capacete (HMD), do BOOM¹, das luvas (*data gloves*), dos óculos, do teclado, do rato, do *joystick*, do *Virtual Theatre* e do CAVE, assim como de inúmeras aplicações multimédia disponíveis na Internet ou em CD-ROMs, rapidamente se conclui que:

- O custo da maior parte dos dispositivos é demasiado elevado para ser adquirido particularmente;
- Nem todos os equipamentos são assim tão eficientes, ou tanto quanto se gostaria que fossem;
- Nem todos os sistemas são implementáveis ou utilizáveis via Internet ou CD-ROM;
- Os resultados relativos à visualização, à imersão e à interactividade ficam frequentemente aquém das expectativas iniciais.

Consequentemente, pretende-se desenvolver uma aplicação multimédia que, do ponto de vista do utilizador, corresponda aos seguintes requisitos:

- Disponibilização fácil e gratuita na Internet, para que possa ser usufruída por um público alargado, sem grandes conhecimentos tecnológicos prévios. O realismo e o rigor visual deverão estar sempre dependentes da rapidez de *download*, ou seja, das larguras de banda disponíveis;
- Não implicação de custos adicionais pelo seu usufruto. Os custos de navegação e imersão para o utilizador são nulos, se não considerarmos a possibilidade de visualização estereoscópica, que necessita de óculos próprios, já que são dadas outras opções de visualização para o mesmo objecto. Para além dos óculos, teclado e rato, não foram experimentados outros dispositivos de imersão, uma vez que iriam acrescentar custos elevados;
- Interactividade ampla, fácil e esteticamente apelativa, como o objectivo de interessar e envolver o visitante [Chaves];
- Forte componente visual e de tecnologias 3D, mas evitar a sobre-utilização de tecnologias 3D ou outras, ou seja, colocar a tecnologia ao serviço do conteúdo e não o contrário;
- Navegação livre, simples, intuitiva, eficiente, em tempo-real e semelhante à dos videojogos, para retomar o conceito de exploração arqueológica;
- Exploração dotada de uma multiplicidade de níveis de informação (lúdico, pedagógico e científico), mas sem perda da passagem dos mesmos, e de tipos de conteúdos multimédia (texto, imagem 2D/3D estática/dinâmica, sons), de forma a favorecer a transmissão de

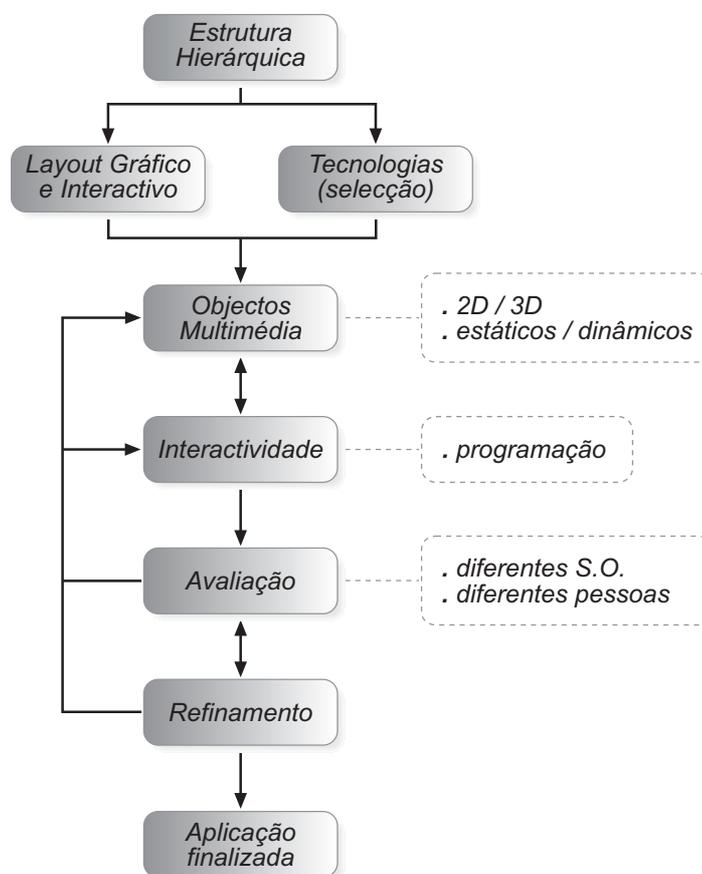
1 BOOM, abreviatura de *Binocular Omni-Orientation Monitor*

conhecimentos e interpretações;

- Apresentação de uma restituição parcial e hipotética de um sítio arqueológico específico;
- Complexidade “invisível”, tanto quanto possível.

Depois de definidos os objectivos iniciais do protótipo, do ponto de vista da implementação torna-se necessário estabelecer um ciclo com uma série de passos (Esquema 4.1):

- Criação de uma estrutura hierárquica - Organigrama com as inter-relações dos diversos elementos de informação. “O que mostrar?”;
- Criação do *layout* gráfico e interactivo - Em função das tecnologias, da interface e dos objectos multimédia a incluir. “Como mostrar?”;
- Criação dos objectos multimédia e respectiva montagem;
- Adição de programação específica (sensores, interpoladores, *scripts*, etc.), para uma interactividade mais complexa e eficiente;
- Avaliação e refinamento constante dos objectos e da aplicação, para aperfeiçoamento, detecção e resolução de eventuais problemas.



Esquema 4.1 Ciclo de criação, desenvolvimento e conclusão da aplicação.

Este capítulo encontra-se organizado segundo o ciclo de criação, desenvolvimento e conclusão da aplicação apresentado e descreve genericamente cada uma das fases.

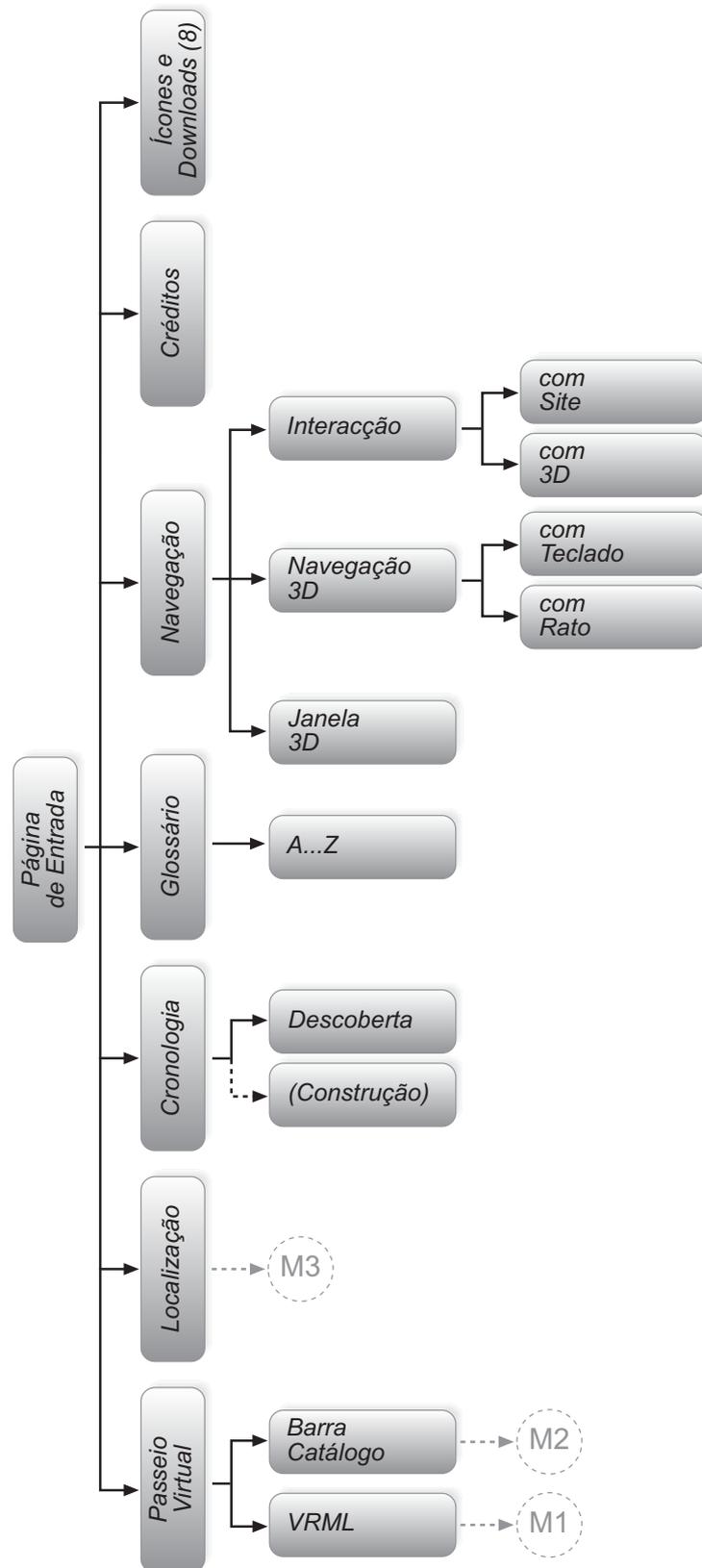
4.1 Estrutura Hierárquica

O primeiro passo para construir uma aplicação com as características enunciadas consiste em proceder à estruturação hierárquica de toda a informação necessária, previamente reunida e organizada. Por uma questão de coerência, houve o cuidado de garantir que os modelos de documentação da informação aqui utilizados seguissem a mesma lógica tanto do catálogo [Pessoa04], como da exposição permanente do museu. Desta forma, pretende-se que os conteúdos sejam disponibilizados e transmitidos eficazmente, de forma a facilitar uma participação activa do utilizador na construção de saberes [Solanilla01].

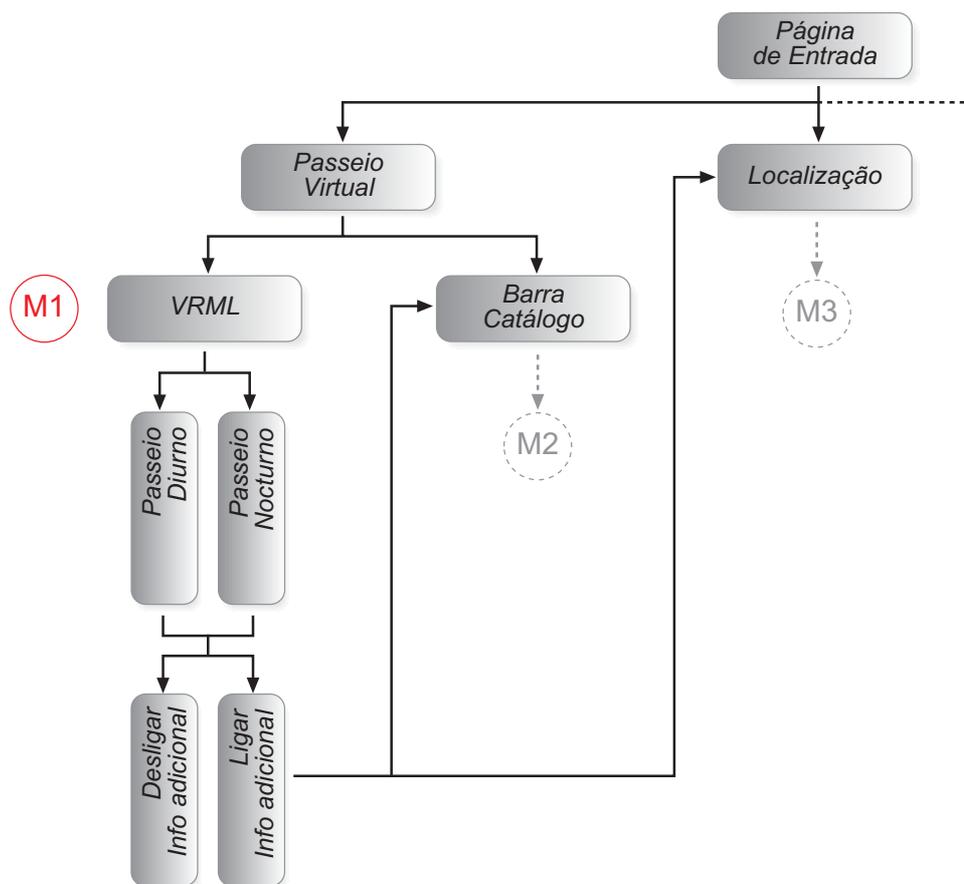
Atendendo ao facto da estrutura hierárquica completa da aplicação ser demasiadamente extensa, surge a necessidade de dividi-la aqui em vários “mapas”:

- O Mapa Geral da aplicação (Esquema 4.2) - Este mapa contém todos os botões do primeiro nível da estrutura hierárquica. Apenas os botões *Página de Entrada>Passeio Virtual>VRML* e *Página de Entrada>Passeio Virtual>Barra Catálogo* remetem a continuação da estrutura hierárquica para o Mapa 1 (M1) e o Mapa 2 (M2), respectivamente. Sendo que, o botão *Página de Entrada>Localização* remete para o Mapa 3 (M3).
- O Mapa 1 (M1) (Esquema 4.3) - Apresenta a estrutura hierárquica específica do botão *VRML*. Este mapa contém indicações que remetem a continuação da estrutura para os Mapas 2 e 3.
- O Mapa 2 (M2) (Esquema 4.4) - Apresenta a estrutura hierárquica específica da *Barra Catálogo*. Por uma questão de simplificação da estrutura, na sua base encontram-se diversos valores numéricos entre parêntesis que se referem ao número de ligações, por sua vez, existentes. Este mapa contém uma indicação que remete a continuação da estrutura para o Mapa 1.
- O Mapa 3 (M3) (Esquema 4.5) - Apresenta a estrutura hierárquica específica do botão *Localização*. Novamente por uma questão de simplificação da estrutura, o valor entre parêntesis refere-se ao número de ligações existentes. Este mapa contém indicações que remetem a continuação da estrutura para os Mapas 1 e 2.

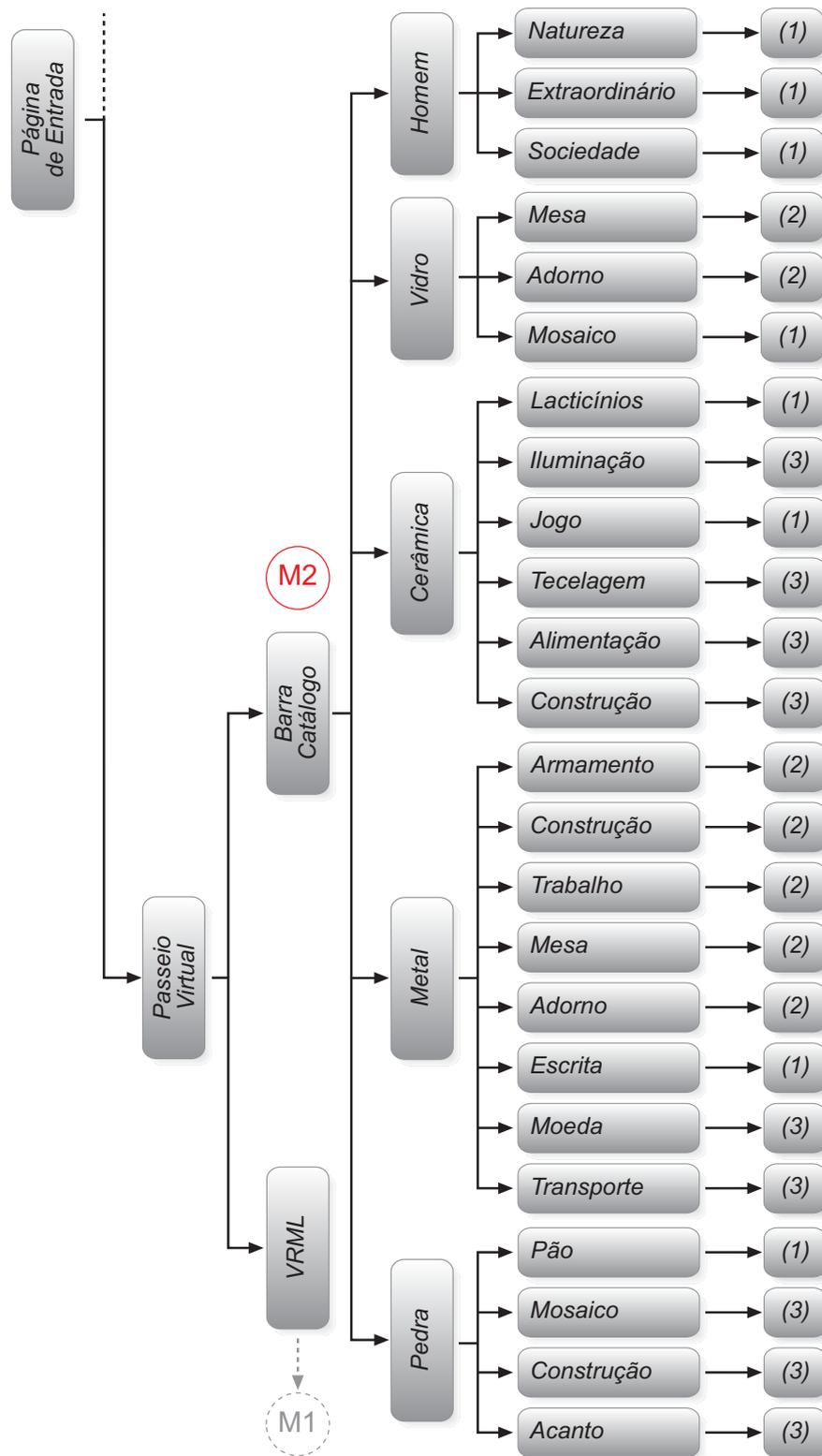
Pelo facto de as principais ligações estarem sempre visíveis e acessíveis, não se afigura necessária a inclusão de um mapa do site, já que se torna numa funcionalidade redundante.



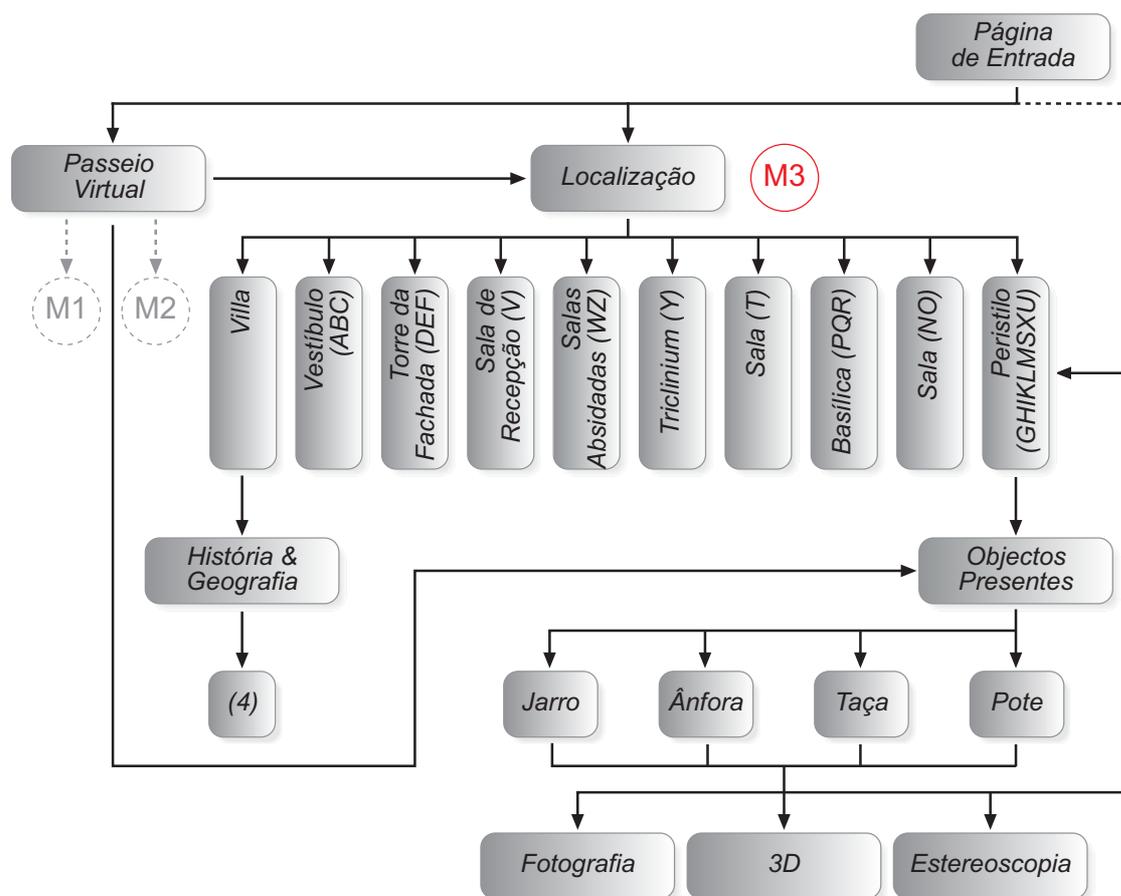
Esquema 4.2 Estrutura hierárquica da aplicação: Mapa Geral.



Esquema 4.3 Estrutura hierárquica da aplicação: Mapa 1 (M1).



Esquema 4.4 Estrutura hierárquica da aplicação: Mapa 2 (M2).



Esquema 4.5 Estrutura hierárquica da aplicação: Mapa 3 (M3).

4.2 Layout Gráfico e Interactivo

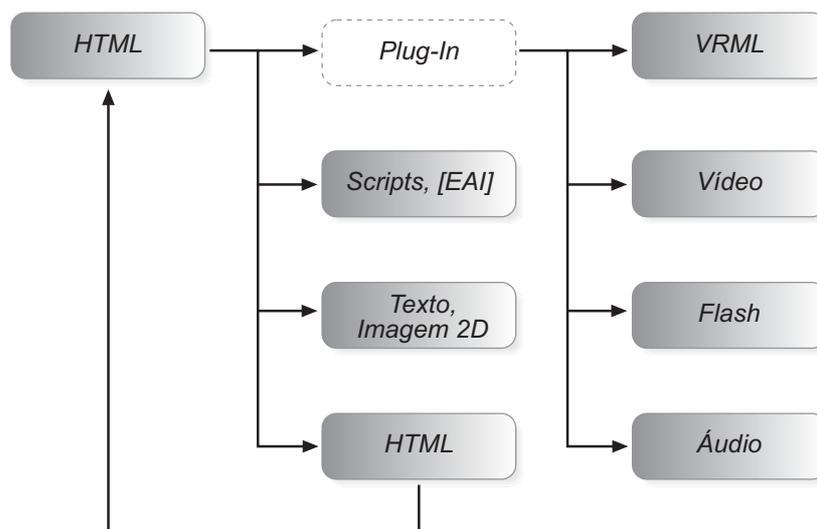
O segundo passo, tem como objectivo a criação do *layout* gráfico e interactivo da aplicação, para orientar o posterior desenvolvimento dos objectos multimédia. O desenvolvimento do *layout* deve incluir o *story board* do mundo VRML, que reúne:

- O propósito do mundo VRML;
- O público-alvo;
- A história associada;
- Os percursos que o utilizador deve ou pode tomar;
- Os objectos que deve conter;
- As ligações para outras páginas HTML;
- O tipo e quantidade de informação contida, sintetizada, mas com conteúdo científico

[Barreto93]. Refira-se que, por se tratar de um protótipo, acabou por não ser possível reunir a totalidade dos conteúdos a incluir. Consoante a quantidade e tipo de novos conteúdos poderá ser necessário proceder-se a alterações do layout gráfico e interactivo;

- O tipo de interacção do utilizador - Síncrona e assíncrona. O correio electrónico introduz um tipo de interactividade assíncrona muito simples (receptor/emissor) e fora do domínio da aplicação. [Solanilla01] denomina-a interactividade de âmbito privado, dado que favorece um canal de comunicação interpessoal entre o utilizador (para fazer chegar as suas questões, sugestões ou críticas) e o museu, submetido à vontade de ambas as partes para garantir o fluxo comunicativo;
- Os efeitos especiais, tais como os sons, os filmes e as animações

em função das tecnologias, da interface e dos objectos multimédia a incluir [Bruinsma01] (Esquema 4.6). Ou seja, deve proceder-se à representação espacial de uma estrutura de informação complexa.



Esquema 4.6 Tipo de conteúdos e ligações utilizados nos documentos HTML.

Segundo [Bernardes03] «para os especialistas os conteúdos terão muito mais importância do que o meio de divulgação, uma vez que aquilo que lhes interessa é o rigor científico da informação. De facto, para o arqueólogo, as simulações em ambientes virtuais podem e devem ser entendidas como informação complementar aos mapas, plantas e cortes com os quais se encontra familiarizado. Por sua vez, o estudante é especialmente sensível à forma como a informação lhe é transmitida. Para o grande público, o interesse poderá residir essencialmente nos aspectos de inovação tecnológica, que complementam o conteúdo. Neste último caso, o conteúdo deverá conter informações de carácter geral que facilmente possam ser absorvidas por um público menos exigente».

De acordo com o mesmo autor, neste trabalho é dada uma especial atenção aos conteúdos a divulgar, com o intuito de preservar o rigor da informação científica e atender aos diferentes tipos de público

a que se destinam. Por outro lado, sabendo que as tecnologias VR podem levar, à partida, a soluções menos usuais de design e de navegação na Internet, esta aplicação assenta principalmente na interação entre o utilizador e um ambiente virtual multimédia, permitindo, também ao designer multimédia, criar formas de navegação avançada em sítios 2D convencionais na Internet, com conteúdos conceptuais ou espaciais complexos, assim como uma experiência de navegação imersiva.

Não obstante, de modo a tornar este modelo funcional e intuitivo, deve procurar-se desenvolver uma interface e um esquema de navegação [Beer04] que não difira muito dos de outros sítios na Internet ou CD-ROMs, com elementos uniformizados e padronizados.

Como já referido anteriormente, consoante as necessidades e objectivos, torna-se importante a utilização e conjugação de diferentes programas e linguagens de programação.

4.3 Objectos Multimédia

Para o desenvolvimento de objectos multimédia, convém ter presente a questão do peso dos documentos e respectiva optimização, consoante se pretenda desenvolver um sítio na Internet/Quiosque Multimédia ou um CD-ROM. No primeiro caso, se o documento for pesado e/ou a largura de banda for baixa ou média, corre-se o risco do tempo de *download* ou a velocidade de processamento serem demasiado lentos, para uma acção que se requer imediata ou quase imediata, levando a que o utilizador facilmente desista de aceder à informação. Por isso mesmo, é necessário:

- Balancear cuidadosamente o detalhe e o tamanho dos documentos, eventualmente sacrificando um pouco do primeiro de forma a diminuir o segundo;
- Estruturar logicamente a hierarquia do mundo VRML, para facilitar a leitura pelo visualizador;
- Reduzir o número de polígonos e volumes, peso das imagens e outros documentos;
- Reduzir o uso de fontes de iluminação;
- Reutilizar objectos e texturas, sempre que possível;
- Aumentar a eficiência do ambiente, nomeadamente por recurso a Nós VRML (Inlines, Anchors, Billboards, etc.).

No caso dos suportes em CD-ROM e dado que não se impõe o problema da largura de banda, o peso dos documentos pode aumentar um pouco, possibilitando o desenvolvimento de objectos mais complexos e com maior detalhe (modelação, textura, iluminação, animação, áudio, etc.).

No caso específico da aplicação que aqui se pretende desenvolver, sempre que possível e no sentido de tornar o acto exploratório mais enriquecedor e apelativo, sem no entanto haver perda de conte-

údo, a diversificação das formas de visualização e de interpretação de um mesmo dado surge com naturalidade e como uma mais-valia. É, pois, neste contexto, que reside o interesse pela utilização de informação:

- Visual - Imagens estáticas e em movimento; imagens passivas e interactivas; objectos em 2D, com pontos de vista pré-definidos, e em 3D, com uma multiplicidade de pontos de vista e de aproximações;
- Descritiva - Textos e áudio;
- Áudio - Versão áudio dos textos e sons ambiente.

Ou seja, aqui pretende-se que todos os objectos possam ter diferentes níveis de informação e de interpretação. Ressalve-se, contudo, que o mau estado de conservação de alguns achados arqueológicos ou a sua própria inexistência física podem limitar a utilização de algumas formas de registo, nomeadamente da fotografia ou do vídeo. Além disso, a não identificação de fragmentos impossibilita a restituição integral do objecto. Tomando como exemplo os objectos Jarro, Ânfora, Taça e Pote incluídos na aplicação (secção 5 *Rabaçal Virtual*), é possível:

- Encontrá-los dentro do espaço virtual da Villa e interagir aí com eles;
- Obter informação descritiva individual e de forma não intrusiva;
- Visualizá-los através de ilustrações, fotografias, filmes e modelos tridimensionais.

Sempre que possível, optou-se por captar imagens originais do local e dos objectos. Uma vez tratar-se de um protótipo e sabendo que o objectivo das imagens consiste em serem visualizadas em monitor (com resolução de 72 dpi) e via Internet, utilizou-se uma máquina fotográfica digital amadora de gama média-baixa (Epson PhotoPC L-300, com 3.24 megapixels e zoom óptico 3X). Contudo, para um maior controlo dos resultados, será conveniente a utilização de uma máquina fotográfica e de equipamento de iluminação profissionais e adequados para o efeito.

Para filmar o restauro de mosaicos *in situ*, é possível utilizar a mesma máquina digital também utilizada para fotografar, uma vez que tem um modo de gravação de vídeo. Desta forma, captam-se as fases mais importantes do restauro, procedendo-se à respectiva edição e montagem. No caso das camadas de áudio não serem relevante, estas devem ser eliminadas de forma a reduzir o peso do documento.

Para captação de áudio (versão áudio dos textos da Janela *Barra Catálogo* da aplicação), o ideal será a utilização de equipamento e estúdio profissionais, mas uma vez que a compressão destes documentos se torna necessária para a Internet, a utilização de um microfone digital de secretária USB amador (Logitech) revela-se suficiente e eficaz. Nos casos dos sons de coruja e de grilo utilizados no *Passeio Virtual Nocturno*, recorreu-se a sons disponibilizados gratuitamente na Internet.

No que diz respeito à *Villa*, presentemente pouco mais se encontra visível que a sua planta delineada no terreno. A sua restituição incluída num passeio 3D virtual interactivo toma aqui uma maior relevância, uma vez que também possibilita ao utilizador uma maior exploração e percepção da arquitectura, dos ambientes e do espaço envolvente.

O Quadro 4.1 sintetiza alguns aspectos relevantes a ter em conta, aquando da escolha de algumas tecnologias no desenvolvimento dos seguintes objectos visuais multimédia.

VRML	<ul style="list-style-type: none"> . Capacidade de descrever ambientes virtuais 3D complexos e interactivos; . Maior acto exploratório (com rato/teclado; mover, rodar, aproximar, etc.); . Número infindável de pontos de vista; . Análise de detalhes do modelo variável e ilimitada (possibilidade de, com ferramentas adequadas, proceder a estudos métricos e morfológicos); . Possibilidade de inclusão dos modelos em mundos virtuais ou em animações; . Possibilidade de modificação dos modelos; . Peso baixo dos ficheiros (p.ex. Jarro pesa 122 KB);
QTVR	<ul style="list-style-type: none"> . Acto exploratório bom, apesar de não tão variado quanto o VRML; . Pontos de vista limitados às fotografias captadas; . Análise de detalhes do modelo limitada aos pontos de vista; . Peso médio dos ficheiros (p.ex. Lucerna pesa 238 KB);
Filme (Pote 3D)	<ul style="list-style-type: none"> . Acto exploratório restringe-se aos comandos do filme (avançar, pausa, etc.); . Pontos de vista limitados aos mostrados no filme; . Peso muito elevado dos ficheiros (filme com comandos, pesa 912 KB);
Filme (Mosaicos)	<ul style="list-style-type: none"> . Acto exploratório restringe-se aos comandos do filme (avançar, pausa, etc.); . Pontos de vista limitados aos mostrados no filme; . Peso elevado dos ficheiros (filme sem comandos, pesa 712 KB);
Estereoscopia	<ul style="list-style-type: none"> . Ótima percepção de profundidade do modelo; . Acto exploratório bastante reduzido (conforme o utilizador se desloca em relação à imagem, é provocado um ligeiro movimento aparente do objecto); . Ponto de vista único (o do próprio documento); . Peso baixo dos ficheiros (p.ex. Taça pesa 114 KB).

Quadro 4.1 Características Gerais.

No caso específico da modelação 3D do terreno, apesar do TNTmips gerar uma superfície contínua em 3D, no final, ao exportar com a extensão *.wrl, apenas os pontos e as curvas de nível são preservadas. Por este motivo, torna-se necessário aplicar uma superfície no 3DS Max (Figura 4.1), para posterior aplicação de textura - neste caso, uma ortofotografia do local (Figuras 4.2 e 4.3).

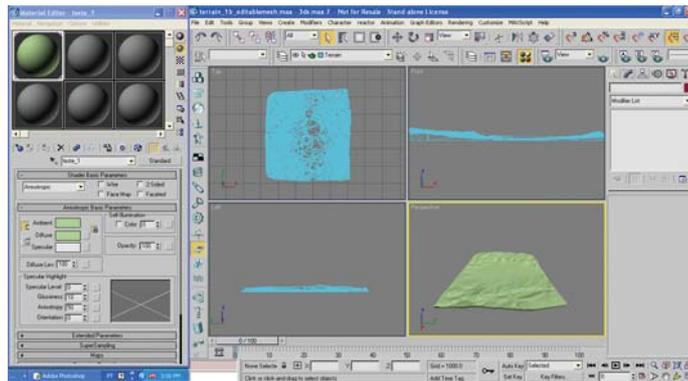


Figura 4.1 Aplicação de superfície.

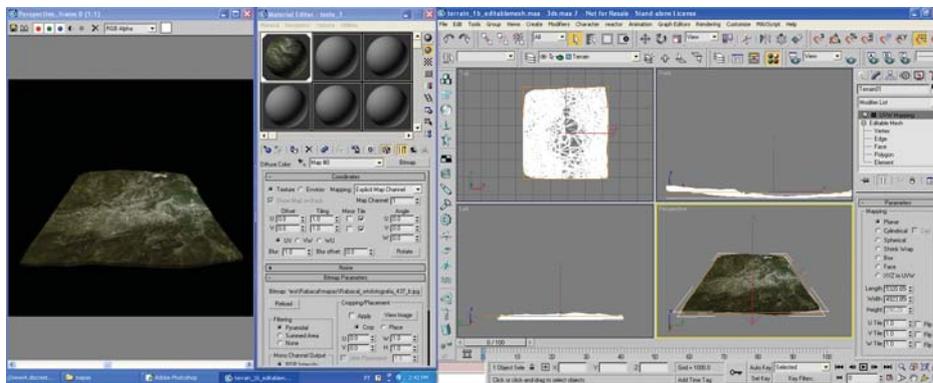


Figura 4.2 Aplicação de textura.

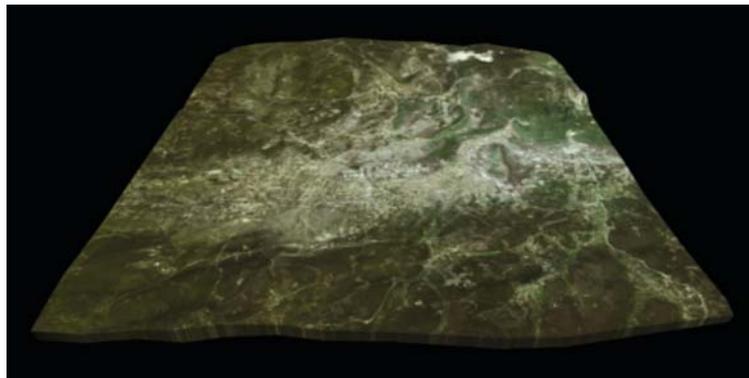


Figura 4.3 Ortofotografia aplicada ao modelo 3D do terreno.

O nível de detalhe da fotografia não permite uma grande aproximação, correndo o risco de se notar imediatamente os pixels (Figura 4.4). No entanto, não foi possível utilizar ortofotografias mais aproximadas e com maior detalhe do terreno, por ainda não estarem disponíveis.

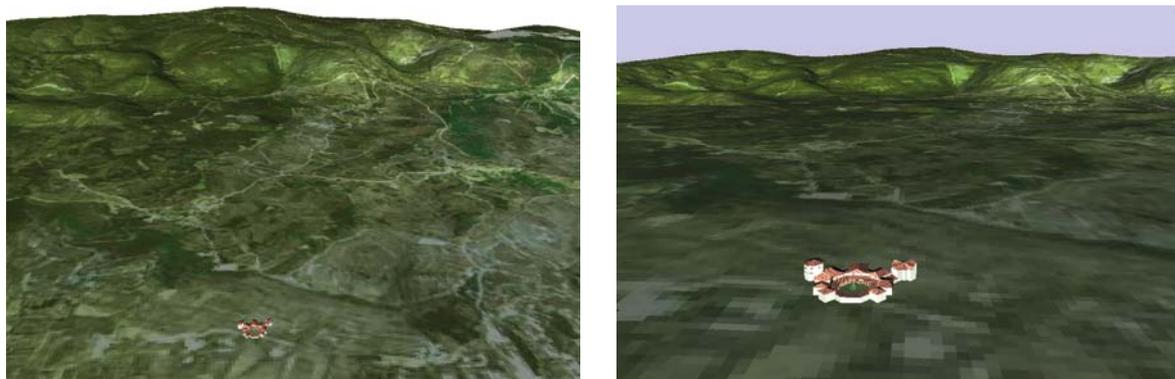


Figura 4.4 Níveis de percepção de detalhe da Ortofotografia.

No futuro, pretende-se adicionar vegetação, vias de transporte, linhas de água, entre outros. Este processo pode revelar-se importante para visualizar alterações nos níveis da água e não só, dando uma ideia das alterações da paisagem, pela acção do Homem ou da Natureza.

Pelo facto de um documento VRML consistir basicamente num texto legível que descreve uma cena tridimensional, o modelo arquitectónico pode ser, na íntegra, programado manualmente num qualquer editor de texto. Esta opção obriga a um domínio profundo da linguagem mas, por outro lado, possibilita um maior controlo dos mundos criados. Desta forma, antes do início da modelação, algumas acções preparatórias poderão ser necessárias:

- Medir todas as superfícies (paredes e chão);
- Neste caso concreto e sob orientação do dr. Miguel Pessoa, calcular a altura das paredes, colunas, telhados (número de águas, altura, etc.) e definir ou decidir outras características definitivas ou temporárias relativas à construção (aberturas, *Impluvium*, etc.).

Para efeitos do desenvolvimento deste trabalho, a Câmara Municipal de Penela disponibilizou uma planta da *Villa* em Autocad (programa orientado para a criação de desenho técnico em 3D), a partir da qual se fez uma extrusão de forma a obter uma melhor percepção da volumetria da construção em questão (Figura 4.5). Durante este processo, detectaram-se algumas imprecisões nas medidas. Este facto levou a que, a pedido do Museu, a Câmara procedesse a um novo levantamento das medidas exactas (altura, largura e espessura dos muros) de toda a área construída.

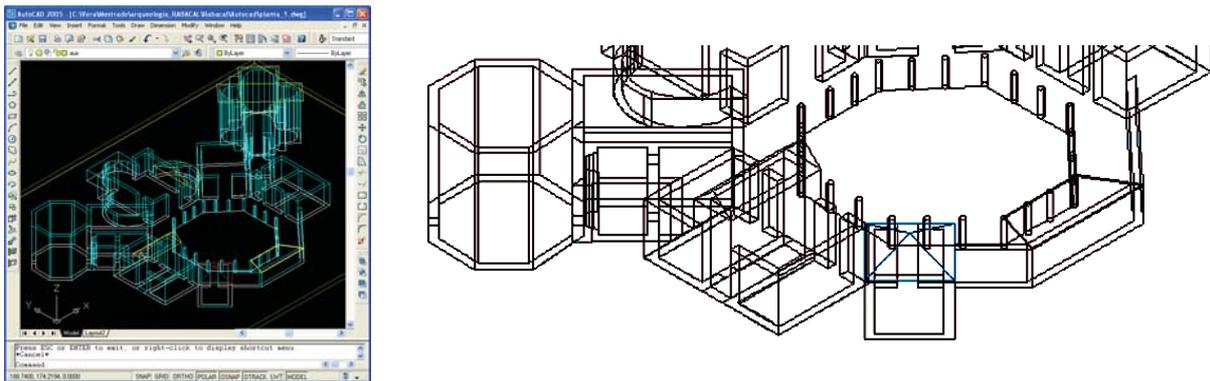


Figura 4.5 Extrusão da planta da *Villa* em AutoCad (esq.) e detalhe em negativo (drt).

Só posteriormente é possível começar a construir os volumes e superfícies em VRML, aplicar texturas, adicionar sons, animações e operações interactivas, em documentos individuais. Mais tarde, experimentou-se montar todos os elementos da construção num só documento. Por apenas pesar cerca de 60 KB, um peso irrelevante em banda larga, optou-se por esta versão, evitando a dispersão de ainda mais documentos.

Tal como foi já referido (secção 3.6 *Visualizadores e Plug-ins*), para se conseguir visualizar documentos VRML, torna-se condição necessária a instalação de um visualizador VRML. Em HTML, o comando que faz isto é o seguinte:

```
<embed src="../vrm1/anfora.wrl"
      width="400" height="275">
</embed>
```

Quando apenas se pretende referenciar o documento (para que este abra directamente), a sintaxe simplifica-se:

```
<a href="../vrm1/jarro.wrl">
```

O método para embeber documentos *.mov é o mesmo. Já no caso específico dos *.swf, o código é o seguinte:

```
<object classid="clsid:D27CDB6EAE6D11cf96B8-444553540000"
      codebase="http://download.macromedia.com/pub/
      shockwave/cabs/flash/swflash.cab#version=6,0,29,0"
      width="320" height="250">
  <param name="movie" value="../filmes/pote.swf">
  <param name=quality value=high>
  <embed src="../filmes/pote.swf" quality=high
        pluginspage="http://www.macromedia.com/shockwave
        /download/index.cgi?P1_Prod_Version=ShockwaveFlash"
        type="application/x-shockwave-flash"
        width="320" height="250">
</embed>
```

</object>

O elemento <object> fornece informações sobre o documento (tipo de dados, atributos e parâmetros do documento embebido) ao visualizador, para que este possa socorrer-se de uma *helper application* e mostrar dados que normalmente não reconheceria.

No caso vertente, a arquitectura e os demais objectos foram modelados de modo a enfatizarem as características mais relevantes em detrimento das restantes, de maneira a serem facilmente reconhecidos de diferentes pontos de vista. Esta tarefa terá sido conseguida através do equilíbrio entre a complexidade e o detalhe do modelo virtual e as suas semelhanças e identificação com o modelo real ou projectado.

Com o objectivo de dar continuidade ao rigor científico e histórico utilizados na restituição da *Villa*, a reconstrução e restituição virtual dos objectos é, aqui, feita com base em fotografias tiradas para o efeito e em fotografias e ilustrações técnicas das publicações do Museu, entre outras.

Para uma eficaz restituição de objectos a partir de fragmentos, com o auxílio de modeladores genéricos, deverá proceder-se da seguinte forma:

- Identificação, quando possível, dos fragmentos no tempo e no espaço (Figura 4.6, esq.);
- Encaixe do fragmento com um desenho completo de um objecto idêntico (Figura 4.6, centro);
- Restituição 3D digital do objecto (Figura 4.6, drt.).

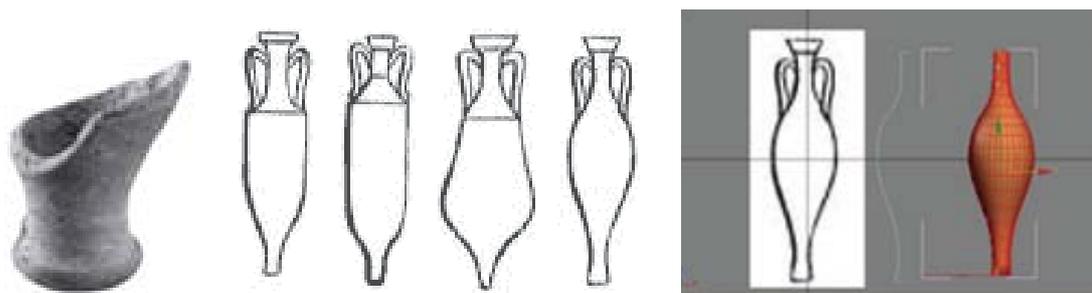


Figura 4.6 Fragmento de cerâmica (esq.), desenhos técnicos (centro) e restituição digital de uma ânfora (drt.).

No que se refere à modelação de objectos com base na fotogrametria e tendo em conta que os objectos poderão não ser fotografados em condições de iluminação adequadas, importa referir que nem sempre um maior número de polígonos traduz um objecto volumetricamente mais rigoroso (Figuras 4.7 a 4.10). Podendo, pelo contrário, revelar ainda mais as imperfeições técnicas:

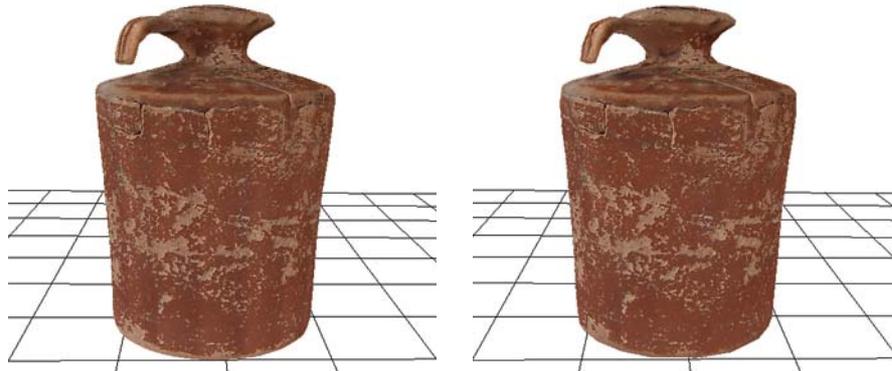


Figura 4.7 Textura aplicada a malha poligonal com 10.000 (esq.) e 1.250 (drt.) polígonos.

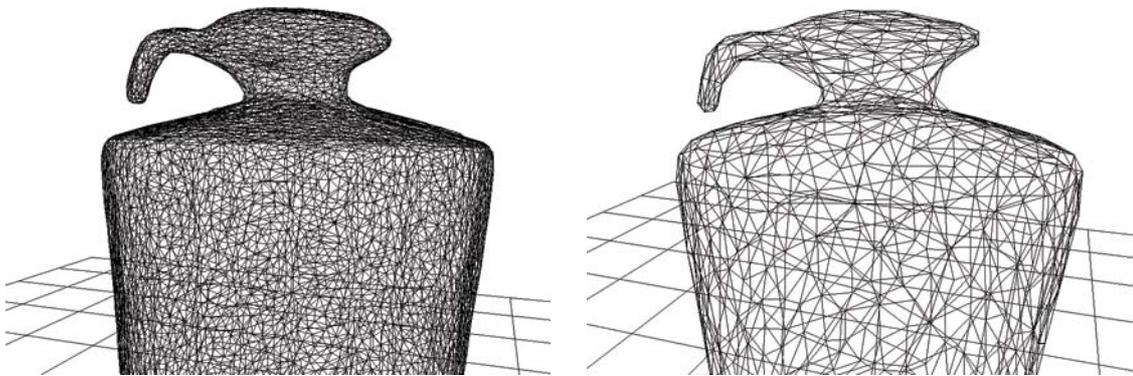


Figura 4.8 Malha poligonal com 10.000 (esq.) e 1.250 (drt.) polígonos.

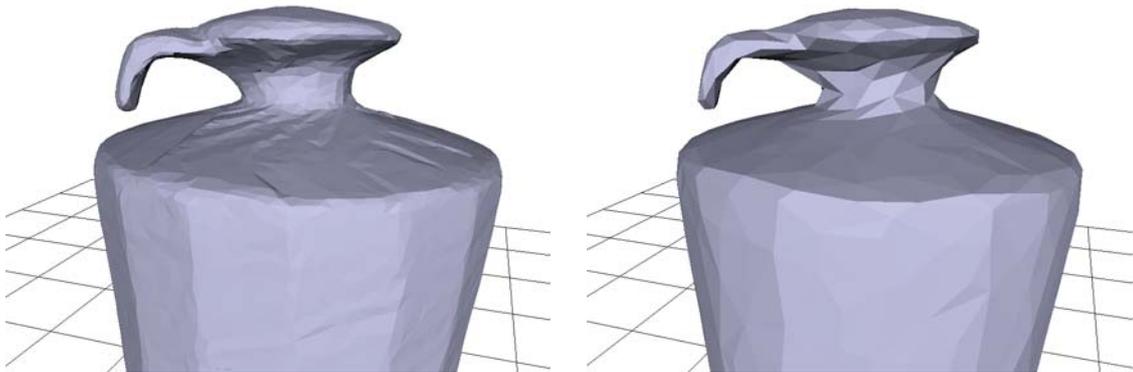


Figura 4.9 Flat Shading aplicada a uma malha poligonal com 10.000 (esq.) e 1.250 (drt.) polígonos.

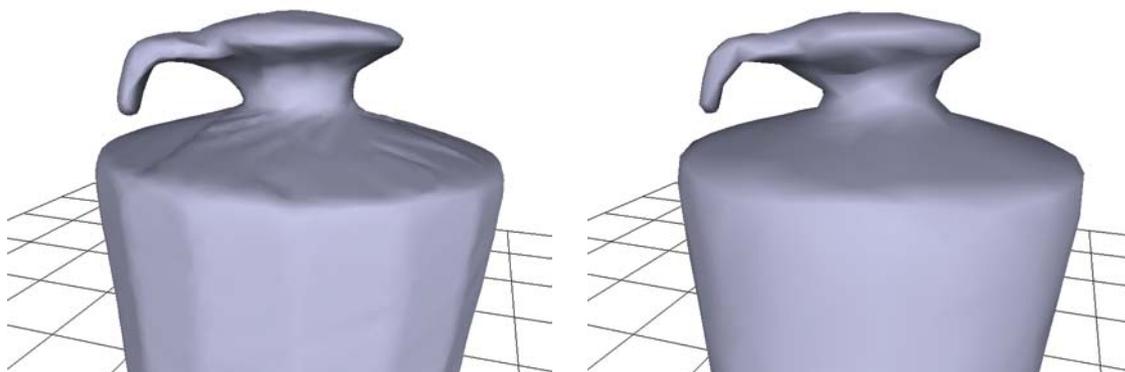


Figura 4.10 *Smooth Shading* aplicada a uma malha poligonal com 10.000 (esq.) e 1.250 (drt.) polígonos.

No caso específico do jarro e para manter a qualidade visual, no final optou-se por utilizar o modelo com malha constituída por 1.250 polígonos e *Smooth Shading*.

Por uma imagem bidimensional, «com informação de profundidade rica, ser mais fácil de perceber quando lhe é acrescentado o efeito estereoscópico» (*sic*) [Leitão94], nesta aplicação utiliza-se a estereoscopia anaglífica, com imagens vermelho-azul. Esta opção deve-se:

- Ao elevado grau de realismo e informação geométrica das imagens dos objectos [Leitão94] e ao baixo peso dos documentos gerados (apenas uma imagem JPEG. Figura 4.11).
- À sua acessibilidade (os óculos podem facilmente ser adquiridos pela Internet a preços bastante acessíveis ou, até mesmo, feitos em casa), quando comparados com outros dispositivos ópticos para visualização de imagens tridimensionais estáticas, tais como óculos com lentes polarizadoras (quer as lineares como as circulares obrigam a projecções polarizadas) ou *Shutterglasses* de cristais líquidos (não funcionam com monitores LCD, apenas com CRT), entre outros.



Figura 4.11 Estereoscopia Anaglífica.

As imagens resultantes deste método levantam, contudo, alguns problemas ao nível de alteração das cores, da perda de luminosidade e a algum cansaço visual depois de uso prolongado. Pelo que a sua utilização deverá ser devidamente ponderada.

4.4 Interactividade

Um dos objectivos consiste em fazer com que o utilizador, no final desta aplicação, à semelhança do que acontece nos videojogos, navegue e interaja intuitiva e facilmente, mas de uma forma mais rica e diversificada, sem se aperceber da quantidade de recursos tecnológicos utilizados. Com o intuito de evitar uma navegação linear e hermética, o utilizador deverá ter a possibilidade de poder aceder à mesma informação de mais de uma forma.

Para criar interactividades internas aos objectos multimédia ou entre objectos multimédia, serão utilizados alguns dos programas e linguagens de programação já referidos.

Por não haver, à data da escrita desta dissertação, alternativas no mercado para a utilização da EAI, entretanto descontinuada (secção 3.5.2 *EAI*), foi necessário proceder-se a algumas alterações do *layout* gráfico e interactivo inicial. No final, optou-se por criar uma comunicação interna, através da colocação de alguns dos botões dentro do próprio mundo VRML, e de um eixo de comunicação unidireccional, neste caso, do mundo VRML para outras páginas HTML. Não obstante, como projecto futuro prevê-se a migração gradual desta aplicação para X3D e utilizar, então, a SAI².

4.5 Avaliação e Refinamento

Uma vez que a avaliação do protótipo decorre da avaliação das ideias que se pretendem defender na presente dissertação, a descrição das fases de Refinamento e Avaliação foram incluídas no capítulo 6. *Avaliação*.

4.6 Sumário

Neste capítulo, descrevem-se os principais requisitos e estabelece-se um ciclo de criação, desenvolvimento e conclusão da aplicação. As características enunciadas pretendem servir de base para a implementação, o desenvolvimento e a avaliação do protótipo.

2 SAI, abreviatura de *Scene Authoring Interface*.

Por se apresentar como a metodologia mais adequada, procede-se à estruturação hierárquica dos diversos elementos de informação, através de um organigrama com as suas múltiplas inter-relações. A criação de uma estrutura organizada possibilita claramente um *layout* gráfico e interactivo eficiente e com diferentes objectos multimédia, facilitando a correlação de dados e tornando mais rica a sua exploração e interpretação.

No que diz respeito aos objectos multimédia, é possível constatar que as potencialidades da programação em VRML são inúmeras, possibilitando a restituição da *Villa* e demais características e interactividades, bem como de modelos simplificados de alguns elementos arquitectónicos, como por exemplo as colunas e os frontões.

Confirma-se, igualmente, a utilidade dos modeladores genéricos na criação de modelos topográficos, com recurso a ferramentas SIG, e de modelos genéricos de objectos complexos, como por exemplo uma ânfora ou um pote, uma vez que facilitam o aumento de níveis de detalhe e reduzem o tempo de modelação dos mesmos.

A modelação baseada em imagens, ou seja, a fotogrametria, apresenta resultados bastante surpreendentes e interessantes, já que permite gerar modelos específicos com alguma complexidade, por exemplo um jarro concreto, realçando todas as suas características individuais. Não foi possível testar a digitalização 3D, pelas razões já referidas. Apesar de ainda não conclusivo, as tecnologias associadas a este método aparentam ser bastante promissoras.

Quanto à visualização 3D através da gestão de sequências de imagens planas panorâmicas, apresentou um interesse relativo quando comparado com as potencialidades de visualização dos modelos 3D, uma vez que os pontos de vista deste se limitam às imagens tomadas. Já a estereoscopia anaglífica permitiu acrescentar algo mais relativamente às imagens panorâmicas, ao possibilitar uma boa percepção de profundidade, logo, do volume do objecto.

Os filmes produzidos (“Pote 3D” e “Mosaicos”) têm a vantagem de se apresentarem como pequenas visitas guiadas. No entanto, revelam algumas desvantagens, nomeadamente: os actos exploratórios restringem-se aos filmes, os pontos de vista limitam-se aos apresentados e o peso dos ficheiros é elevado, numa óptica de Internet.

No que se refere à interactividade, lamentavelmente não foi possível implementar uma EAI - para controlar o interior do mundo VRML, a partir de uma página HTML (API e Java) - dado necessitar da Java Virtual Machine e esta ter sido, muito recentemente, descontinuada. Na sequência desta impossibilidade entretanto detectada, foi necessário proceder-se a algumas alterações do *layout* gráfico e interactivo inicial, no sentido de dar cumprimento aos requisitos inicialmente enunciados para o desenvolvimento do protótipo.

5

Rabaçal Virtual

Neste capítulo procede-se à descrição detalhada dos aspectos relacionados com as diferentes fases de implementação e desenvolvimento da aplicação.

5.1 Implementação

Tendo como base os requisitos descritos no capítulo anterior e a Estrutura Hierárquica da Aplicação aí referida, esta fase consiste na implementação do *layout* gráfico e interactivo da aplicação, em função dos objectos multimédia, ou seja, dos conteúdos a incluir.

5.1.1 Página Início

A página Início (Figura 5.1), ou seja, de abertura, representa o primeiro nível do Mapa Geral (Esquema 4.2. Seccção 4.1 *Estrutura Hierárquica*). É constituída por uma página HTML com:

- Barra de Navegação, com ligações directas para as principais páginas;
- Quatro botões (imagens GIF) com ligações para o *download*, via Internet, dos *plug-ins* necessários para um total e correcto usufruto da aplicação, caso o utilizador não os tenha já instalados: o Adobe Reader (versão da informação para impressão), o Flash Player

(animações, filmes, sons e aplicações incorporadas), o QuickTime Player (filmes) e o Cortona VRML Client (mundos VRML).

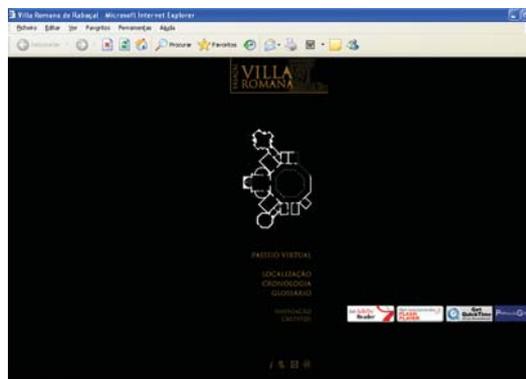


Figura 5.1 Página Início.

Para facilitar a navegação geral, a Barra de Navegação encontra-se presente em todas as páginas. As ligações disponíveis nesta barra são:

- Passeio Virtual;
- Localização;
- Cronologia;
- Glossário;
- Navegação;
- Créditos;
- Ícones - *i* informação de horários, ☎ telefone/fax, ✉ morada, @ email.

Por norma, as ligações carregam na mesma janela uma nova página. Constituem excepção os botões Créditos e Ícones que, por possuírem conteúdos reduzidos, são apresentados sempre na própria Barra de Navegação e não em janelas ou páginas novas.

5.1.2 Página Passeio Virtual

A página Passeio Virtual (Figura 5.2) é constituída por uma página HTML, dividida em 3 janelas, cada uma com diferentes características de navegação e informação:

- Janela vertical - Barra de Navegação;
- Janela horizontal superior - Janela 3D (VRML, *browser* Cortona);
- Janela horizontal inferior - Barra Catálogo;



Figura 5.2 Página Passeio Virtual.

5.1.2.1 Janela 3D

Como objecto principal de navegação, a Janela 3D ocupa um lugar de destaque devido, naturalmente, à sua importância nesta aplicação. A sua estrutura hierárquica encontra-se representada no Mapa 1 (Esquema 4.3. Seccção 4.1 *Estrutura Hierárquica*).

Ressalve-se que esta reconstrução hipotética virtual da *Villa* foi feita com base numa planta em AutoCad, cedida pela Câmara Municipal de Penela, e em ilustrações de José Luís Madeira, constantes nas publicações do Museu da *Villa* Romana do Rabaçal. Ou seja, trata-se da projecção de um de vários resultados válidos de uma dada teoria [Barceló00].

Esta janela contém um ambiente de navegação e interacção virtual¹ 3D específico (VRML), com um visualizador VRML embebido. Inclui objectos 3D estáticos, dinâmicos e interactivos e a possibilidade de aceder a outros objectos multimédia. Devido ao grau de complexidade geométrica, tal como referido anteriormente, quer o terreno quer os objectos são gerados através de modeladores genéricos 3D e posteriormente simplificados - nível do detalhe², número de polígonos, textura, etc. - para tornar os documentos mais leves - convertidos para o formato *.wrl e inseridos no modelo arquitectónico.

Aqui, definem-se as seguintes características gerais do mundo nos Nós Globais:

- **WorldInfo** - Em **title** especifica-se o título apresentado na janela do *browser*; em **info**, o autor e outras informações do domínio público;
- **Navigationinfo** - Descrevem-se algumas características referentes à navegação (**type**:

¹ Em analogia ao *Navigational Virtual Environment* (NVE) [Geroimenko05].

² Em VRML, um LOD (*Level Of Detail*) permite ao *browser* alternar entre várias representações dum mesmo objecto. O nível de detalhe do objecto está intimamente ligado à distância entre o objecto e o utilizador.

andar, examinar e voar; **speed**; **headlight**)

- **Background** - Descrevem-se as cores do céu e da terra;
- **Viewpoint** - Pré-definem-se alguns pontos de vista da cena. Através do botão View, localizado na interface do *browser*, o utilizador pode ser transportado para outros pontos de vista (*Entrada Villa*, *Peristilo*, *Vista Aérea*) para potenciar o acto exploratório. No entanto, refira-se que se tratam apenas de outros ângulos de visualização do mesmo modelo e não de interpretações alternativas.

De seguida, constrói-se a geometria da seguinte forma:

- Com formas primitivas simples pré-definidas (cilindro, cone, cubo, esfera), quando se trata de objectos simples, resultando em documentos pequenos e leves;
- Com faces ou polígonos (com as coordenadas dos vértices especificadas. Figura 5.3 e Quadro 5.1) quando se trata de objectos com uma geometria irregular, mas resultando em documentos maiores e mais pesados.

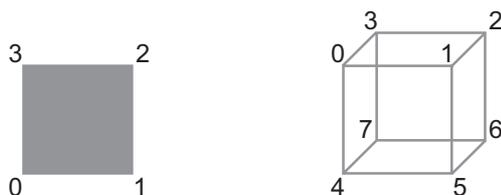


Figura 5.3 Numeração dos vértices dum quadrado (esq.) e dum cubo (drt.).

Índice	(X, Y, Z)	Índice	(X, Y, Z)
0	-1.0 -1.0 0.0	0	-1.0 1.0 1.0
1	1.0 -1.0 0.0	1	1.0 1.0 1.0
2	1.0 1.0 0.0	2	1.0 1.0 -1.0
3	-1.0 1.0 0.0	3	-1.0 1.0 -1.0
		4	-1.0 -1.0 1.0
		5	1.0 -1.0 1.0
		6	1.0 -1.0 -1.0
		7	-1.0 -1.0 -1.0

Quadro 5.1 Coordenadas dos vértices de um quadrado (esq.) e de um cubo (drt.).

Quando terminadas as geometrias, procede-se ao seu posicionamento no sistema de coordenadas XYZ (Figura 5.4), que define os objectos num espaço 3D. As alterações do objecto em relação ao espaço são feitas com o nó **Transform**, que corresponde a qualquer das transformações geométricas, translação, escalamento ou rotação.

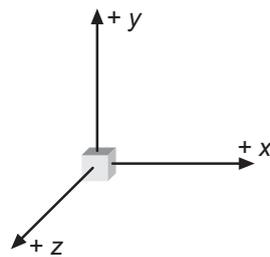


Figura 5.4 Sistema de coordenadas VRML.

Uma questão que faz aumentar a sensação de interação com o ambiente virtual é a detecção de colisões. Esta deverá ser aplicada a todos os modelos, para evitar que o utilizador atravesse as superfícies e aumentar o realismo da navegação.

O revestimento das superfícies assume uma especial importância na percepção visual e compreensão da arqueologia. Depois, enquanto que em algumas situações se aplicou apenas cor às superfícies dos modelos, como foi o caso da plataforma onde assenta a *Villa*, do céu (com uma gradação de tons. Figura 5.5), da ânfora e do pote (assumiui-se propositadamente a falta de realismo do revestimento, por estes dois últimos terem sido reconstituídos apenas com base em ilustrações e não em peças inteiras):

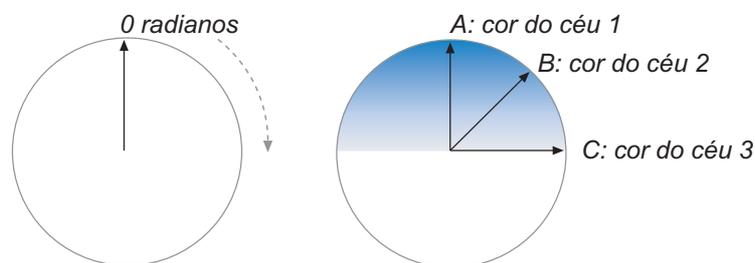


Figura 5.5 Gradação das tonalidades da cor do céu.

```
Background {
  skyColor [ 0 0 0.5, 0 0 0.7, 0.8 0.8 1 ]
  skyAngle [ 0.5 1.4 ]
```

noutras, as superfícies foram revestidas com texturas *.jpg pequenas, mas repetidas de forma a cobrirem as respectivas superfícies:

```
# Definir Textura
DEF ChaoPeristilo Appearance { material Material {
  texture ImageTexture { url "textures/tijoleiral.jpg" }
  (...)
# Desenhar Chao K
Shape { appearance USE ChaoPeristilo
  geometry IndexedFaceSet {
```

No caso das janelas, porta da torre e árvore são utilizadas texturas *.png ao invés de modelos 3D (Figura 5.6). Desta forma consegue-se reduzir substancialmente o peso dos mesmos e continuar a controlar a forma dos elementos através das transparências e opacidades.

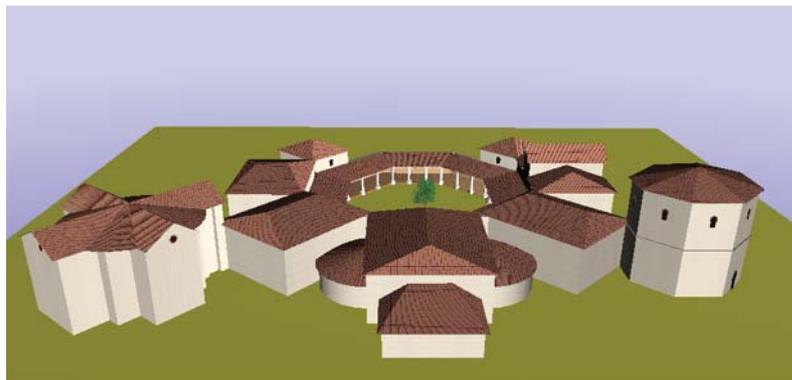


Figura 5.6 Passeio diurno: Vista aérea, lado Poente.

Outra forma de iludir o utilizador com uma ‘falsa representação’ de modelos 3D, consiste na utilização de *Billboards* (árvore e botões “+i”. Figura 5.7). Sendo que um *Billboard* é uma imagem 2D, plana, que se mantém sempre virada para o utilizador, independentemente do ponto de vista, podendo o seu eixo de rotação ser definido em X ou em Y, ou seja, a imagem poder rodar horizontal ou verticalmente:

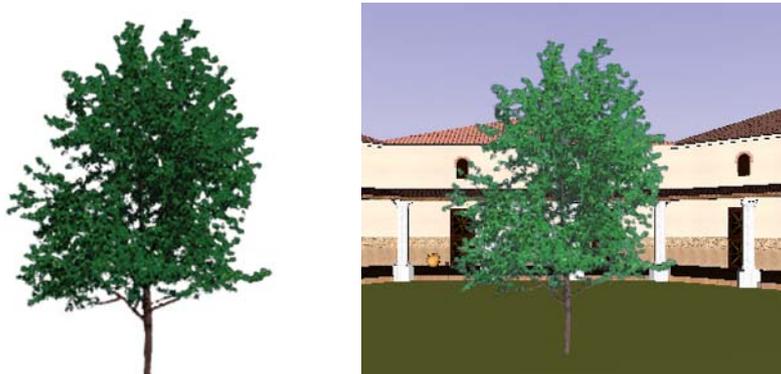


Figura 5.7 Documento de imagem *.png de uma árvore (esq.) utilizado num *Billboard* (drt.).

Uma vez que existem diversos elementos na *Villa* que se repetem (tais como as colunas, as tochas, os lambris, algumas texturas e cores, entre outros. Figura 5.8), para uma maior eficiência e uma programação modular deverá optar-se pela utilização de protótipos, dado estes permitirem a instanciação de objectos ou propriedades:

```
# Definir Textura
DEF Marmore Appearance { material Material { }
    texture ImageTexture { url "textures/marmore.jpg" }
```

```

        textureTransform TextureTransform { scale 1 1 } }
# Definir Coluna
DEF Coluna Group {
    children[
        # Definir Capitel Circulo
        Transform { translation 0 0.95 0 scale 1 0.3 1
            children [ DEF CapitelCirculo Shape {
                appearance USE Marmore
                geometry Sphere { radius 0.17 } } ] }
        # Desenhar Capitel Circulo cima
        Transform { translation 0 1.04 0 scale 1.1 0.8 1.1
            children [ USE CapitelCirculo ] } (...) ] }

```



Figura 5.8 Passeio diurno: Entrada (esq.) e peristilo (drt.).

Outro processo utilizado para facilitar as optimizações do *browser* e tornar a navegação mais fluida, consiste em não definir os objectos (Figura 5.9) todos dentro do mesmo documento, mas antes criar documentos independentes. Deste modo, apenas se torna necessário referenciar o documento, não obrigando o mundo VRML a descarregar todo de uma só vez. Ou seja, no caso de o utilizador não explorar uma determinada área, parte dos modelos aí incluídos não chegam a ser descarregados:

```

DEF INFO_Icane Anchor {
    children [ Transform { translation 3.2 -1.9 -0.8
        children [ DEF BtInfoIcane Inline {
            url "models/info.wrl" } ] ] } ]
url "../html/pop_anfora_3d.htm"
parameter "target=_blank"
description "+ sobre a Anfora (clique aqui)" }

```

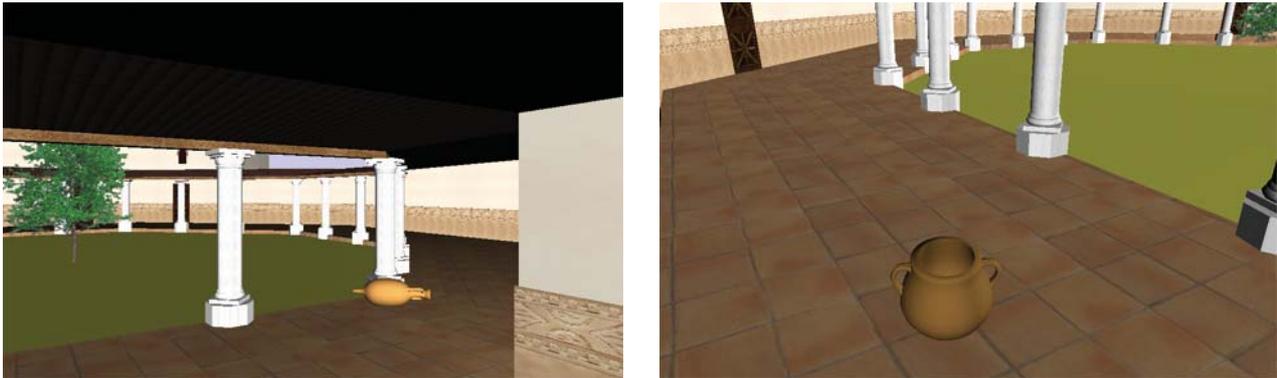


Figura 5.9 Passeio diurno: Objectos no peristilo - ânfora (esq.) e pote (drt.).

O visitante é ‘convidado’ a explorar o interior da *Villa* através da aplicação de um circuito VRML básico logo à entrada da mesma, fazendo com que a proximidade do visitante despolette uma animação com a abertura automática das portas e quando o visitante se afaste as portas se fechem.

Em termos práticos, é necessário incluir o **ProximitySensor**, para especificar a área sensível do mundo; o **TimeSensor**, para especificar a duração da animação; e o **OrientationInterpolator**, para especificar as coordenadas-chave (**key values**) dos ângulos de rotação do objecto sobre o eixo Y e gerar as coordenadas intermédias.

```
# Porta da Entrada
DEF PortaEntrada Group {
    (...)
    DEF AreaSensivel ProximitySensor {
        center 0.0 1.75 0.0 size 6.0 3.5 25.0 }
}
# Tempo
DEF InicioTempo TimeSensor { cycleInterval 2 }
DEF FimTempo TimeSensor { cycleInterval 2 }
# Animacao das Portas
DEF PortaAberta OrientationInterpolator {
    key [ ... ]
    keyValue [ ... ] }
DEF PortaFechada OrientationInterpolator {
    key [ ... ]
    keyValue [ ... ] }
ROUTE AreaSensivel.enterTime TO InicioTempo.set_startTime
ROUTE AreaSensivel.exitTime TO FimTempo.set_startTime
ROUTE InicioTempo.fraction_changed TO PortaAberta.set_fraction
ROUTE FimTempo.fraction_changed TO PortaFechada.set_fraction
ROUTE PortaAberta.value_changed TO PortaEsq.set_rotation
ROUTE PortaFechada.value_changed TO PortaEsq.set_rotation
```

Apesar de o utilizador poder criar um itinerário de visita personalizado [Solanilla01], de explorar

livremente os mundos VRML segundo os seus interesses e preferências, pode enriquecer ainda mais o seu passeio através das diversas ligações disponibilizadas (Figuras 5.10 e 5.11):

- Passeio Virtual Diurno ou Nocturno. Porque a compreensão da arqueologia e da passagem do tempo pode ser ajudada através de restituições [Akmè98, Behel01, Caltagirone01, Lauro81, Pitcher02, Pujol04, Römerstadt98, Staccioli90] e o modo como os espaços são utilizados ou percebidos são diferentes;
- Ligar ou Desligar o acesso directo a informações adicionais (*Barra Catálogo* e página *Localização*) sobre objectos, detalhes de arquitectura e locais da *Villa*.



Figura 5.10 Botões para Informações Adicionais e Passeios Nocturno (esq.) e Diurno (drt.).

Para tal, utiliza-se um Interruptor (`TouchSensor`). Deste modo, evita-se a criação separada de várias versões do mesmo mundo, mantendo-se a possibilidade de alternar entre elas:

```
Script {
    eventIn      SFBool      clickInINFO
    eventOut     SFVec3f     scaleOUT
    url          "javascript:
                function clickInINFO (value, timestamp)
                { if (value) {
                    scaleOUT [0]=0
                    scaleOUT [1]=0
                    scaleOUT [2]=0 } }
                "
} { ... }
ROUTE _3.scaleOUT TO obj.set_scale
ROUTE _2.isActive TO _3.clickInINFO
```

No caso do pote situado no Peristilo (Figura 5.11, esq.), aplicou-se um sensor de arrasto (`SphereSensor`) para permitir ao utilizador explorar o objecto individualmente, mas dentro do contexto da *Villa*:

```
# Definir Pote
```

```

DEF Pote Group {
    (...)
    # Definir Sensor Pote
    DEF Sensor SphereSensor { }
        (...)
    }
ROUTE Sensor.rotation_changed TO Pote.set_rotation

```

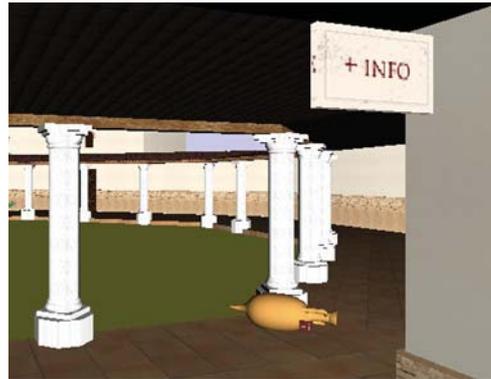


Figura 5.11 Botões para informações adicionais de objecto (esq.) e local (drt.).

Para criar um ambiente nocturno (Figuras 5.10, drt., 5.12 e 5.13), além de se alterar os tons do céu, desliga-se a *Headlight* e, para simular a iluminação do luar e das tochas, adiciona-se uma *Pointlight* esbranquiçada e diversas alaranjadas, respectivamente. Neste caso, torna-se necessária a criação de geometrias para representar os objectos das fontes de iluminação:

```

PointLight {
    location 0.0 0.25 0.2
    color 1.0 0.4 0.2
    intensity 0.8
    attenuation 0.0 0.6 0.0
    radius 10.0 }
DEF Tocha Inline { url "models/tocha.wrl" }

```



Figura 5.12 Passeio nocturno: Entrada (esq.) e peristilo (drt.).



Figura 5.13 Passeio nocturno: Vistas do peristilo.

Contudo, em matéria de iluminação, verificam-se dificuldades da VRML em processar correctamente vários *Pointlights* em simultâneo, levando a que as tochas nem sempre iluminem de igual modo as superfícies à sua volta.

Por uma questão de fidelidade histórica e arqueológica, no futuro, estes pontos de iluminação passarão a estar em lamparinas ou candeias, em suportes pendurados nos tectos e em suportes do tipo tripé.

No Passeio nocturno adicionaram-se, igualmente, sons ambiente (uma coruja e um grilo) para aumentar a sensação de imersão. Futuramente serão acrescentados outros em ambos os Passeios, tais como de abertura/fecho de portas, de eventuais personagens e dos passos do utilizador.

Para permitir uma audição mais dinâmica dos sons (*.wav), utiliza-se o nó **Sound**. Cada um dos sons descreve individualmente e com diferentes velocidades, um percurso elipsoidal em torno de um determinado ponto, criando uma falsa sensação de estereofonia - cada som aproxima-se e afasta-se em diferentes momentos, ora da coluna áudio esquerda, ora da direita (Figura 5.14). Os campos **min/maxFront** e **min/maxBack** especificam os limites da área onde o som é audível:

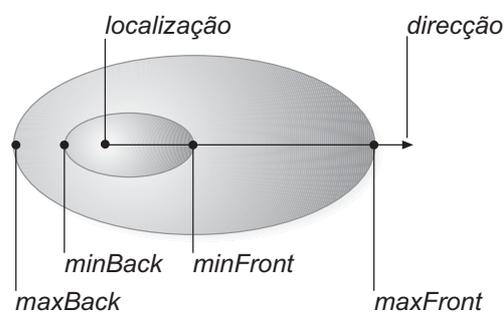


Figura 5.14 Características espaciais de um documento de som.

```
# Som 1
DEF Som1 Transform { translation 5 0 0 center -5 0 0
  children [ Sound {
```

```

source AudioClip { url "grilo.wav" loop TRUE }
intensity 0.5
minFront 5 minBack 5
maxFront 10 maxBack 10 } ] }

DEF Som1Clock TimeSensor { cycleInterval 25 loop TRUE }
DEF Som1Path OrientationInterpolator { (...)
ROUTE Som1Clock.fraction_changed TO Som1Path.set_fraction
ROUTE Som1Path.value_changed TO Som1.set_rotation

```

5.1.2.2 Barra Catálogo

A *Barra Catálogo* (Figura 5.15) situa-se na margem inferior esquerda da janela principal e segue a estrutura hierárquica do Mapa 2 (Esquema 4.4. Seccção 4.1 *Estrutura Hierárquica*).



Figura 5.15 Barra Catálogo.

Tal como referido anteriormente, por questões de coerência e de facilitação na navegação virtual da aplicação, a estrutura e organização temática aqui adoptadas seguem as mesmas do Museu, do sítio arqueológico e do catálogo publicado (que originou o nome desta barra). Desta forma, toda a informação aqui apresentada provém das publicações do Museu [Pessoa98, 99a, 99b, 01, 04; Rodrigo04] ou de registos especificamente efectuados no âmbito deste trabalho.

Existem formas alternativas para se aceder às informações contidas nesta barra:

- *Passeio Virtual*>(colunas)>1
- ou *Barra Catálogo*>Pedra>Construção>1.

Que, por sua vez, contém as seguintes ligações:

- Pedra - Acanto, Construção, Mosaico, Pão;
- Metal - Transporte, Moeda, Escrita, Adorno, Mesa, Trabalho, Construção, Armamento;
- Cerâmica - Construção, Alimentação, Tecelagem, Jogo, Alimentação, Tecelagem;

- Vidro - Mosaico, Adorno, Mesa;
- Homem - Sociedade, Extraordinário, Natureza.

Apesar das ligações dos botões não estarem todas implementadas, optou-se por manter sempre a mesma estrutura do *layout*, pelos motivos já mencionados:



Cada capítulo tem ligações para vários subcapítulos - p.ex., *Metal > Transporte/ Moeda/ Escrita/ Adorno/ Mesa/ Trabalho/ Construção/ Armamento*.



Ao passar com o rato por cima das palavras do texto destacadas a vermelho, surge uma janela com um breve texto explicativo sobre as mesmas.



À semelhança das palavras destacadas, algumas imagens têm detalhes destacados. Ao passar com o rato por cima da moldura vermelha, surge uma janela com uma ampliação do detalhe.



Para os interessados ou estudiosos, existe a possibilidade de visualizar as imagens em tamanho ampliado e com mais definição numa nova janela.



1

Cada subcapítulo tem ligações para outras páginas relativas - p.ex., *Metal > Transporte > Cabeça de Leão/ Elemento Decorativo de Arreio/ Ferradura*.



No início de cada capítulo e subcapítulo existe a possibilidade de aceder a toda a informação textual em voz *off* (versão áudio). Sempre que surge uma cruz no botão significa que a opção não se encontra implementada.



No início de cada subcapítulo - p.ex., *Metal > Transporte* - existe a possibilidade de aceder a todo ele, mas em formato PDF. Sempre que surge uma cruz no botão significa que a opção não se encontra implementada.

Nesta barra incluíram-se diversos tipos de elementos de informação, tais como texto, fotografia, ilustração, QTVR, animação, vídeo e áudio. Dada a estrutura desta barra não ser suficientemente complexa, optou-se por utilizar sempre ActionScripts embebidos nos documentos *.fla, especialmente em botões associados a filmes e animações, sons (versões áudio da informação) e PDF's (versões da informação para impressão), bem como em *movie clips* e *frames*.

5.1.3 Página Tipo-A

A estrutura hierárquica da página Tipo-A (Figura 5.16) encontra-se representada no Mapa Geral (Esquema 4.1. Seccção 4.1 *Estrutura Hierárquica*). É constituída por uma página HTML, dividida em duas janelas:

- Janela vertical direita - Barra de Navegação;
- Janela vertical esquerda - Cronologia, Glossário ou Navegação.



Figura 5.16 Página Tipo-A, com janela de Navegação (esq.). Detalhe das janelas de Glossário (sup. drt.) e de Cronologia (inf. drt.).

Cada janela vertical esquerda é composta por um cabeçalho com ligações para as diferentes secções do próprio documento:

- Cronologia - Construção/Descoberta da *Villa*;
- Glossário - termos de A a Z;
- Navegação - Janela 3D/Navegação 3D(Rato/Teclado)/Interacção(3D/Site). Esta página pretende ajudar o utilizador na navegação.

5.1.4 Página Localização

Existem formas alternativas para se aceder a estas páginas:

- *Passeio Virtual*>(áreas da Villa)>*Planta da Villa*
- *Localização*>*Peristilo*>*Planta da Villa*.

A estrutura hierárquica da página Localização (Figura 5.17) encontra-se representada no Mapa 3 (Esquema 4.5. Seccção 4.1 *Estrutura Hierárquica*). Esta página repete o modelo anterior, na medida em que também é constituída por uma página HTML, dividida em duas janelas:

- Janela vertical direita - Barra de Navegação;
- Janela vertical esquerda - Localização.

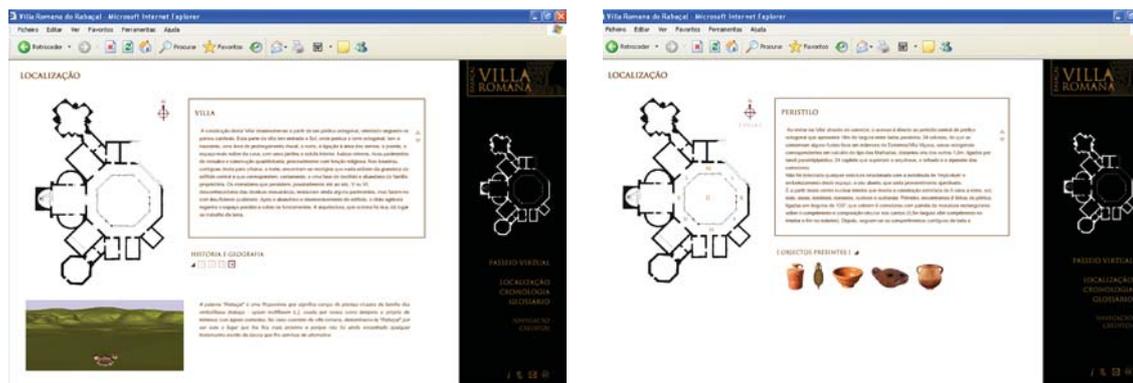


Figura 5.17 Página Localização: Janela História e Geografia (esq.) e janela Planta da Villa (drt.).

A janela Localização contém as seguintes ligações:

- “História e Geografia” da *Villa* - mais generalista, sendo o conteúdo de informação destas ligações mostrado na parte inferior desta página. Existe a possibilidade de visualizar a maior parte das imagens maiores e com mais definição numa nova janela;
- Planta da *Villa* - mais específica, contendo ligações para as diferentes áreas da *Villa* (neste protótipo, o Peristilo é a área que se encontra mais desenvolvida). Em cada área existem ligações para objectos aí encontrados. O conteúdo de informação destas ligações é mostrado nesta mesma janela.

5.1.5 Página Objectos Presentes

Existem formas alternativas para se aceder a estas páginas:

- *Passeio Virtual* > (*Objectos*) > *Objectos Presentes*
- *Localização* > *Peristilo* > *Objectos Presentes*.

A estrutura hierárquica da página Objectos Presentes (Figura 5.18) encontra-se representada no Mapa 3 (Esquema 4.5. Seccção 4.1 *Estrutura Hierárquica*). À excepção das páginas com fotografias estereoscópicas, as páginas Objectos Presentes (Figura 5.18) continuam a seguir o mesmo modelo, com as seguintes janelas:

- Janela vertical direita - Barra de Navegação;
- Janela vertical esquerda - Objecto Presente.

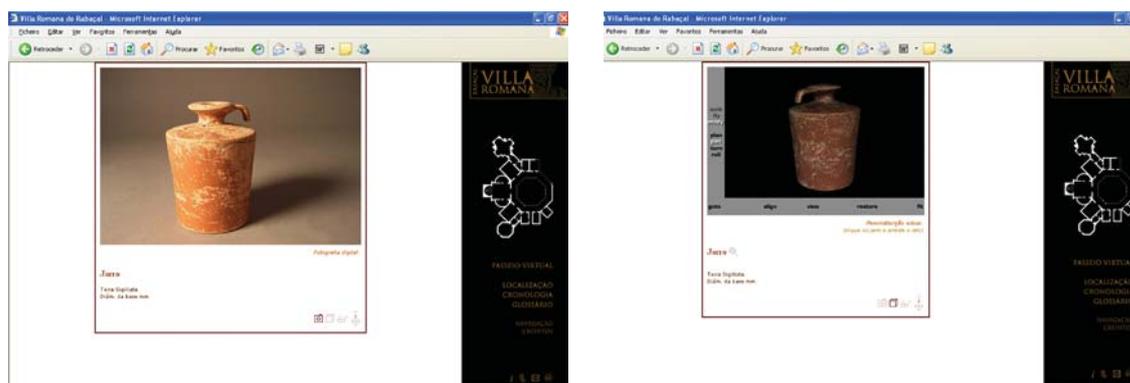


Figura 5.18 Páginas Objectos Presentes: Fotografia (esq.) e reconstrução virtual 3D, VRML (drt.).

Nesta página, o *layout* gráfico altera-se tomando a forma de uma ficha de leitura multimédia, fornecendo um texto com uma breve descrição de cada objecto e a possibilidade de aceder a diferentes formas de visualização [Rocha00]:

-  Imagem maior;
-  Fotografia e texto informativo;
-  Reconstrução ou restituição virtual 3D e texto informativo;
-  Fotografia estereoscópica anaglífica;
-  ou regressar ao local onde o objecto pertence.

O quadro seguinte sintetiza as diferentes formas de visualização e representação, neste momento disponíveis, de cada um dos objectos:

Objecto		Texto		
Jarro	✓	✓	. Desenvolvido no D-Sculptor; . Exportado como *.wrl;	✓
Ânfora	✓	✓	. Desenvolvido no 3ds Max; . Exportado como *.wrl;	-
Taça	✓	✓	. Desenvolvido no D-Sculptor; . Exportado como *.wrl;	✓
Lucerna	✓	✓	. Desenvolvido no VR Workx; . Exportado como *.mov;	-
Pote	✓	✓	. Desenvolvido no 3ds Max; . Exportado como *.mov; . Comandos adicionados no Flash;	-

Quadro 5.2 Visualização e representação dos objectos.

A interacção com os objectos 3D em VRML e QTVR pode ser feita com o rato ou o teclado; no caso dos filmes, ainda podem ser usados os controlos próprios (início, ver, pausa, fim). Para impossibilitar o utilizador de alterar algumas das características e funcionalidades previamente definidas, o botão direito do rato foi propositadamente desactivado:

```
<script language="JavaScript" type="text/JavaScript">
    function disableRightClick( ) { ... }
</script>
```

Constatou-se, no entanto, que consoante a área ocupada pela interface do visualizador VRML era maior ou menor, os botões nas barras de navegação horizontal e vertical apareciam sob a forma de texto e ícone ou só texto ou ícone, dificultando, por vezes, o reconhecimento imediato das suas funções.

Dada a necessidade de utilização de óculos próprios, os quais nem todos os utilizadores têm acesso, todos os objectos com a opção de estereoscopia anaglífica activa (Figura 5.19) oferecem outras opções de visualização.



Figura 5.19 Página Objectos Presentes: Fotografia estereoscópica anaglífica.

Na sequência da secção 3.3.3.2 *Visualização com Efeito Estereoscópico* e depois de analisar os limites de perturbação visual consoante as dimensões do objecto no monitor, constatou-se que os objectos pequenos com uma grande área circundante despojada acabavam por ter um menor impacto e interesse visual. Por esta razão, optou-se por aumentar a escala dos objectos fotografados, reduzir a área circundante e, conseqüentemente, isolar os objectos dos elementos perturbadores, tanto quanto possível, de forma a reduzir o ruído e a permitir uma visualização mais eficaz.

Conseqüentemente, no que se refere à navegação nesta página, esta apenas contém um pequeno botão no canto superior direito que permite encerrá-la, levando o utilizador a regressar à página anterior:

```
<area shape="rect" coords="924,1,999,73"
    href="#" alt="Fechar Janela"
```

```
onClick="javascript:self.close();"
onKeyPress="javascript:self.close();">
```

5.2 Objectos Multimédia

Os quadros que se seguem resumem as diferentes fases de desenvolvimento dos vários objectos multimédia 3D aqui utilizados e referidos na secção anterior.

Programa	Processo	Exportação
-	. Mapa parcialmente georeferenciado (XY); . Ortofotografia georeferenciada;	
MrSid Viewer	. Visualizador de ortofotografias georeferenciadas (*.sid);	
TNT Mips	. Vectorizar as curvas de nível e georeferenciar a coordenada Z;	*.dxf ou *.wrl
Photoshop	. Alterar dominantes cromáticas da ortofotografia; . Comprimir imagem;	*.jpg ou *.png
3ds Max	. Importar *.dxf; . Aplicar uma superfície à malha criada; . Aplicar uma textura (ortofotografia comprimida) à superfície; . Exportar como *.wrl.	*.wrl

Quadro 5.3 Terreno.

Programa	Processo	Exportação
Word	. Volumetria totalmente produzida neste editor de texto (*.doc);	*.wrl
Photoshop / Fireworks	. Criar e manipular imagens (fotografias, desenhos e texturas); . Comprimir imagens	*.jpg, *.gif ou *.png

Quadro 5.4 Arquitectura.

Programa	Processo	Exportação
3ds Max	. Reconstruir objectos a partir de fragmentos e de imagens;	*.wrl, *.mov
D-Sculptor	. Fotografar sequencialmente um objectos real;	*.wrl
VR Workx	. Fotografar sequencialmente um objectos real;	*.mov
Flash	. Colocar barras de comando/navegação (filmes; lucerna na Barra Catálogo);	*.swf, *.mov
Anaglyph M.	. Fotografar o objecto (retocar no Photoshop, se necessário); . Montar as fotografias estereográficas no programa;	*.jpg
Photoshop / Fireworks	. Criar e manipular imagens (fotografias e texturas); . Comprimir imagens;	*.jpg, *.gif ou *.png

Quadro 5.5 Objectos.

Os quadros seguintes resumem as diferentes fases de desenvolvimento dos restantes objectos multimédia, aqui utilizados:

Programa	Processo	Exportação
-	. Filmar (preferencialmente com câmara digital);	
Premiere	. Editar e montar os filmes; . Comprimir os filmes;	*.wmv, *.mov, *.mpg, etc.

Quadro 5.6 Vídeo.

Programa	Processo	Exportação
Microsoft	. Captar sons (microfone directamente ligado ao computador);	*.wav
Cool Edit	. Editar e montar os ficheiros de áudio; . Comprimir os ficheiros de áudio;	*.mp3, *.wav

Quadro 5.7 Som.

Programa	Processo	Exportação
Freehand	. Pagar os documentos - versão para impressão;	-
A. Distiller	. Comprimir os documentos;	*.pdf

Quadro 5.8 Impressão.

Concluída a fase de desenvolvimento dos objectos multimédia, procedeu-se à montagem dos mesmos, seguindo os *layouts* gráficos e interactivos anteriormente criados.

5.3 Sumário

Neste capítulo procede-se à explanação detalhada das metodologias adoptadas em cada uma das fases de implementação do protótipo.

Concluiu-se que é possível conceber uma aplicação multimédia, com base nos requisitos e nas estruturas hierárquicas descritas no capítulo anterior.

Foi possível confirmar que existem diversas ferramentas que se adaptam à criação de ambientes virtuais com algumas das características dos videojogos associadas à descoberta de informação, para explorar achados arqueológicos. Existem, também, ferramentas interessantes para a criação de interactividades internas aos objectos multimédia ou entre objectos multimédia, nomeadamente

ao nível das linguagens de anotação e de programação e das funcionalidades e automatismos que alguns programas dispõem.

Foi ainda possível concluir que, tanto as tecnologias, como as estratégias e as metodologias adoptadas na implementação do presente protótipo, se revelaram adequadas e eficazes em cada uma das fases descritas. Desta forma, foi possível desenvolver e gerar modos diversificados de transmissão de conteúdos, com técnicas e características de visualização e interacção, especificamente adequados a uma aplicação multimédia para a Internet com as características mencionadas.

6

Avaliação

Como forma de demonstração e validação dos objectivos e dos requisitos inicialmente propostos, procedeu-se à execução de um protótipo de uma aplicação. No sentido de despende o mínimo tempo possível a redesenhar a aplicação ou partes desta, quer a fase de refinamento quer a de teste acabaram por ser transversais a todas as outras fases do desenvolvimento. Os objectos e a aplicação foram constantemente testados, para aperfeiçoar algumas características, detectar eventuais problemas e, por fim, resolvê-los.

Posteriormente, procedeu-se à elaboração de um inquérito (o qual se encontra no final, como anexo), como forma de teste e avaliação dos objectivos e, conseqüentemente, da aplicação.

Neste capítulo são apresentadas as avaliações efectuadas e os respectivos resultados.

6.1 Hardware, Plataformas e Sistemas Operativos

Pretendendo-se verificar e provar que este tipo de abordagem multimédia pode ser desenvolvida, utilizando um PC com características regulares (sem as enormes vantagens de um computador topo de gama) e programas, na sua maioria, frequentemente instalados num computador de um designer multimédia ou mesmo *freeware*, recorreu-se a um computador de teste de pequeno porte, com as características gerais descritas no Quadro 6.1.

PC (portátil)	Acer Travelmate 291LMi (Intel Pentium M 1.4 GHz, Intel 855 GM chipset, 15.0" XGA TFT LCD, 40 GB Ultra ATA/100 HDD, 512 MB DDR SDRAM)
S. O.	Microsoft Windows XP
Browsers Internet	Microsoft Internet Explorer 6.0, Netscape 8.02
Browser VRML	Cortona VRML Client
outros Browsers	Adobe (Acrobat) Reader, Flash Player, Quicktime Player

Quadro 6.1 Características gerais.

A aplicação foi igualmente testada em outros computadores com diferentes características, mas com o mesmo *browser* VRML, para avaliar a eficiência do modelo [Miranda99] de acordo com os diferentes possíveis utilizadores. O quadro seguinte resume as quatro plataformas de teste utilizadas.

Computador	S. O.	Browser Internet
# 1	Windows XP	Explorer 6.0, Firefox 1.5
# 2	Windows XP	Explorer 6.0, Netscape 8.0
# 3	Windows 2000	Explorer 5.0
# 4	Mac OS X	Explorer 6.0

Quadro 6.2 Plataformas de teste.

Em todas as plataformas utilizadas foi possível navegar e interagir plenamente, tendo apenas sido verificadas pequenas alterações, sem relevância, em relação às áreas de algumas janelas do *layout*, consoante as dimensões dos monitores em que era visualizada.

Os sucessivos avanços nas capacidades de computação dos PC's pessoais (máquinas mais rápidas e placas gráficas mais avançadas) e na largura de banda, levaram a um aumento proporcional de possibilidades e conseqüente complexidade na produção de mundos virtuais também.

O desenvolvimento das placas de aceleração para PC conseguiram tirar o peso da síntese de imagens dos modelos 3D do processador principal, permitindo um aumento significativo de velocidade e capacidade de mapeamento das texturas dos modelos 3D.

Quanto à Internet, a crescente oferta de pacotes de acesso e ligação com maior largura de banda e rapidez existentes no mercado, veio permitir a publicação de mundos virtuais cada vez mais complexos e variados.

6.2 Inquéritos

Com o presente inquérito, pretende-se analisar, por um lado, o impacto e a pertinência da aplicação aqui desenvolvida, junto de simples curiosos e de pessoas que lidam profissionalmente com a arqueologia e, por outro, de que forma as TIC ajudam na compreensão da Arqueologia. Nesta secção apresentam-se algumas observações e discussões, com base na análise e na avaliação dos dados observados e recolhidos nos inquéritos.

6.2.1 Metodologias de Avaliação

Os inquéritos elaborados possuem uma componente prática, que consiste na exploração da aplicação, e outra escrita. Contudo, para uma maior e melhor compreensão e avaliação da forma como cada utilizador percebe e é afectado pela aplicação, utilizam-se outras metodologias de avaliação, tais como a observação e o registo de notas e de eventuais comentários relevantes [Lockner99].

Neste estudo, participaram 10 indivíduos, sendo a amostra, na sua generalidade, heterogénea, no que se refere ao sexo (Figura 6.1, esq.), à idade (Figura 6.1, drt.), a conhecimentos de Arqueologia (Figura 6.2, esq.) e à experiência prévia em ambientes virtuais (Figura 6.2, drt).

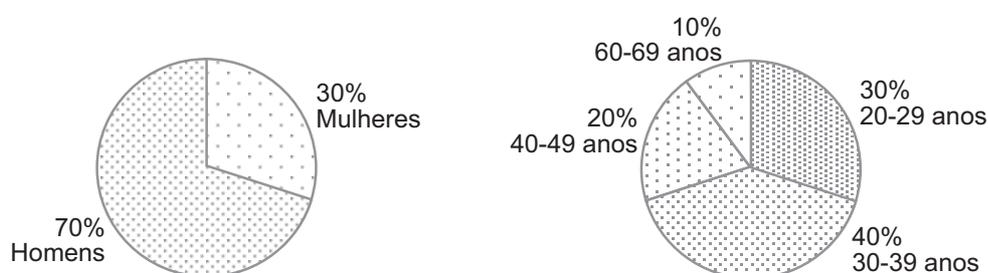


Figura 6.1 Sexo (esq.) e Idade (drt.) dos inquiridos.

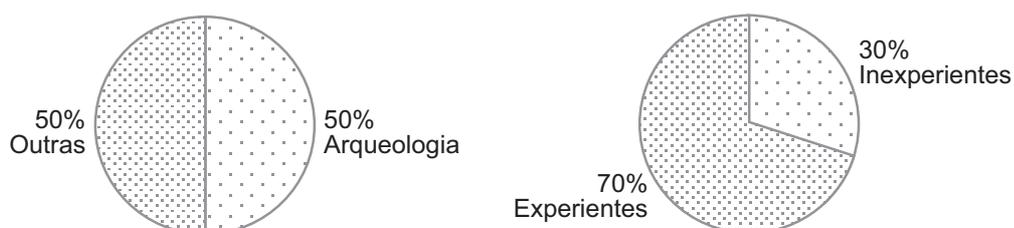


Figura 6.2 Actividade Profissional (esq.) e Experiência em Ambientes Virtuais (drt.).

6.2.2 Procedimentos

O primeiro passo tem como objectivo fazer a apresentação do problema da validação, ou não, da aplicação, bem como da explicação do papel destinado ao inquirido, neste caso, esclarecer os objectivos e a importância do seu papel para a investigação em curso.

Para tal, procede-se à organização prévia dos conteúdos e dos procedimentos. Seguidamente, é elaborado um inquérito estruturado abrangente (que se encontra em anexo), com um conjunto fixo de questões e tarefas e com uma ordem e redacção igual para todos os inquiridos, no sentido de evitar a dispersão das respostas e de acordo com as metas a atingir.

Para permitir respostas mais claras, as questões, quer de cariz geral, quer específico, são elaboradas de forma a serem directas, privilegiando a opinião dos inquiridos. Pretende-se, assim, fazer:

- Uma avaliação quantitativa - Através da medição de tempos de busca de informação e respectiva eficácia (rápido/lento, difícil/fácil, etc.) e de testes de usabilidade [Amberlight03, Lockner99, UIL05], ou seja, da observação do comportamento dos utilizadores perante uma dada situação. Segundo [Lockner99], o conceito de usabilidade refere-se, ainda, à satisfação, à efectivação e à eficiência que um utilizador pode experimentar e comprovar, quando executa determinadas tarefas num ambiente virtual.
- Uma avaliação qualitativa - Nomeadamente da estrutura, da navegação, da comunicação, do interesse da aplicação, entre outros.

Com este pressuposto, no sentido das respostas fornecerem um retorno de informações (*feedback*) potencialmente úteis para o desenvolvimento da aplicação e por serem uma oportunidade de aferir, em primeira instância, os processos de tomadas de decisão de cada um dos inquiridos, optou-se por agrupar os diferentes tipos de tarefas do seguinte modo:

- Exploração Livre;
- Roteiro de Exploração I;
- Questionário I;
- Roteiro de Exploração II;
- Questionário II.

6.2.2.1 Exploração Livre

A Exploração Livre tem como finalidade fazer com que o utilizador, ao explorar livremente a aplicação, se familiarize com a interface e com a estrutura. Para tal, estabelece-se um limite de tempo

de 10 minutos, considerado o suficiente para se contextualizar, mas não para explorar a totalidade da aplicação.

6.2.2.2 Roteiro de Exploração I

Terminada a Exploração Livre, é solicitado a cada um dos indivíduos que siga um roteiro de exploração pré-determinado, o Roteiro de Exploração I, e que desempenhe algumas tarefas não cronometradas, de forma a observar e compreender como o utilizador navega, encontra informação e interage com a aplicação (*Ease of Use* e *Easy to Learn* [Lockner99]).

- «1. Entrar na Villa.»
- «2. Encontrar a ânfora na Villa.»
- «3. Visualizar ânfora em 3D (manipulável).»
- «4. Visualizar ânfora com óculos estereoscópicos.»
- «5. Aceder a mais informações (texto) sobre o peristilo.»
- «6. Aceder a informações sobre “O Metal e a Moeda”.»
- «7. No *link* “Metal” aceder à versão áudio do texto.»
- «8. No *link* “Metal” aceder à versão em PDF.»
- «6. Descobrir o significado de “Peristilo”.»
- «10. Descobrir a data da primeira visita ao sítio arqueológico.»

Apesar da heterogeneidade dos indivíduos, as tarefas foram na sua generalidade desempenhadas com facilidade e rapidez. No entanto, a quantidade da amostra e os dados daí resultantes não foram suficientes para uma análise correcta de uma eventual relação entre a quantidade de conteúdos presente e a facilidade no acesso a estes.

6.2.2.3 Questionário I

Na sequência do Roteiro de Exploração I, procede-se ao preenchimento do Questionário I, constituído por três grupos de questões generalistas: O grupo A com 10 questões relativas à aplicação, o grupo B com 7 questões relativas aos objectos tridimensionais apresentados e o grupo C com 5 questões indirectamente relacionadas com a aplicação. Para facilitar a análise dos dados obtidos, os inquiridos respondem segundo uma classificação de 1 a 5, de ‘Pouco’ a ‘Muito’ respectivamente. As barras verticais dos gráficos das figuras seguintes traduzem o número de respostas obtidas em

cada uma das questões, sendo que cada cor corresponde à seguinte classificação: cinzento escuro- 5 (Muito), cinzento médio- 4, cinzento claro-3 (Médio). Não foi necessário utilizar mais cores, uma vez que, em todo o inquérito, não se obtiveram respostas com classificação de 2 ou de 1 (Pouco).

No grupo A «De um modo geral, acha que:»

- «1. A aplicação é esteticamente apelativa?»
- «2. A aplicação tem uma navegação intuitiva?»
- «3. A aplicação é eficaz no acesso à informação?»
- «4. A aplicação integra os diferentes recursos multimédia de uma forma interessante?»
- «5. A aplicação concluída, teria interesse lúdico?»
- «6. A aplicação concluída, teria interesse pedagógico?»
- «7. A aplicação concluída, teria interesse científico?»
- «8. A Villa tem uma exploração imersiva?»
- «9. A reconstituição virtual (hipotética) da Villa complementa o seu espaço físico?»
- «10. A aplicação contribui para a divulgação da Villa e Museu?»

a segunda pergunta foi a que suscitou mais atenção (Figura 6.3). Apesar de metade dos inquiridos a ter classificado como muito intuitiva, 40% classificou-a com 4 valores e 10% com 3 valores. Esta ocorrência pode, eventualmente, indicar a necessidade de alterações ao nível da estrutura e do *layout* gráfico da aplicação. Se assim for, somente com um estudo mais profundo e a conclusão do presente protótipo é que será possível ter uma maior certeza destes factos.

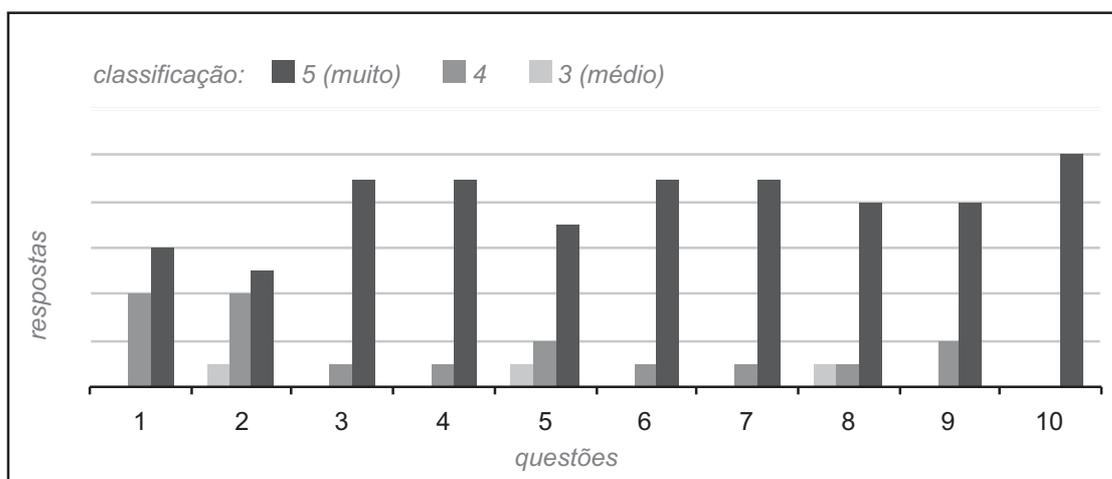


Figura 6.3 Questionário I, grupo A de questões.

No que se refere ao grupo B «Em relação aos Objectos, acha que:»

- «1. É útil a diversidade de formas de visualização de um mesmo objecto?»
- «2. É particularmente útil a possibilidade de interagir?»
- «3. Têm interesse lúdico?»
- «4. Têm interesse pedagógico?»
- «5. Têm interesse científico?»
- «6. Complementam a exposição e publicações?»
- «7. Contribuem para a divulgação do espólio do Museu?»

as respostas foram mais homogéneas (Figura 6.4). Regra geral, os inquiridos foram quase sempre unânimes em considerar: muito útil a diversidade de formas de visualização de um mesmo objecto (Questão 1), bem como a possibilidade de interagir com alguns destes (Questão 2); os objectos muito interessantes, numa perspectiva lúdica (Questão 3), pedagógica (Questão 4) e científica (Questão 5), como complemento das exposições e das respectivas publicações (Questão 6) e também muito importantes na divulgação do espólio do museu (Questão 7).

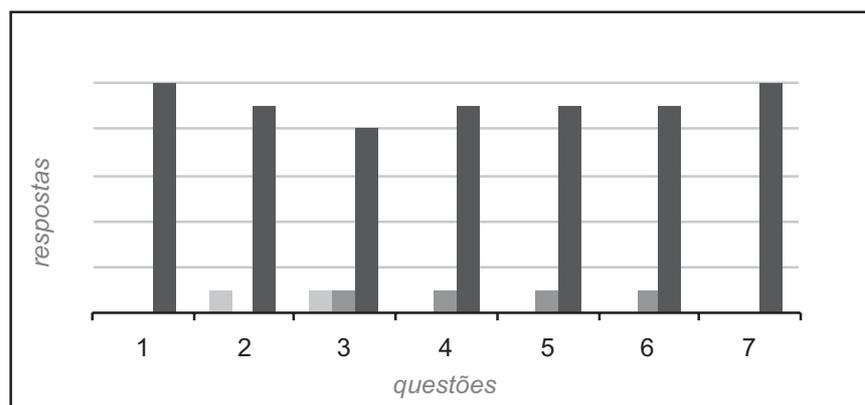


Figura 6.4 Questionário I, grupo B de questões.

No que se refere ao grupo C «Depois de ver e explorar este protótipo:»

- «1. Ficou com vontade de conhecer fisicamente a Villa e o Museu do Rabaçal?»
- «2. Ficou com vontade de ver outras aplicações semelhantes?»
- «3. Acharia interessante poder consultar esta aplicação (concluída) na Internet ou em CD-ROM?»
- «4. Considera útil o uso de tecnologias multimédia, na salvaguarda e divulgação do nosso património?»
- «5. Considera útil o uso específico de tecnologias 3D, no âmbito da Arqueologia?»

as duas primeiras questões requerem uma especial atenção (Figura 6.5): o facto de apenas 30% dos inquiridos ter ficado com muita (“5”) vontade de conhecer fisicamente a *Villa* e o Museu do Rabaçal, contra 70% que classificaram com “4”, pode dever-se ao facto de se tratar de um protótipo e este ainda não estar inteiramente explorável? Ou à falta de monumentalidade do sítio arqueológico? Os resultados da segunda questão e seguintes, parecem sugerir mais a primeira hipótese. Mas, mais uma vez e apesar dos resultados bastante positivos verificados neste grupo, somente com um estudo aprofundado e a conclusão deste protótipo será possível ter uma maior certeza destes factos.

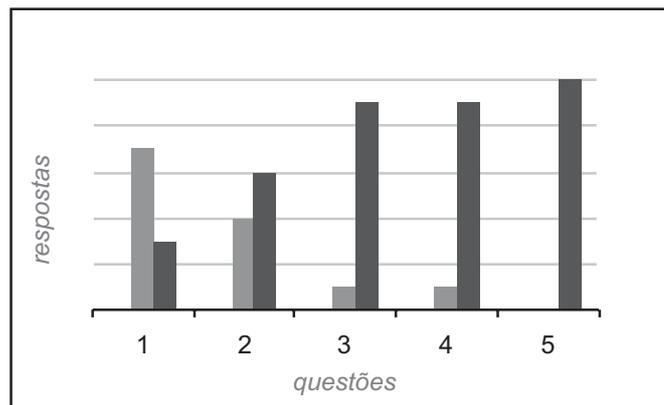


Figura 6.5 Questionário I, grupo C de questões.

A Figura 6.6 apresenta a sùmula das classificações obtidas no Questionário I. Pela análise do gráfico dos resultados, podemos concluir que os objectivos inicialmente propostos foram largamente atingidos, tendo quase sempre sido na sua totalidade - no total das 220 respostas (10 inquiridos x 22 questões) 180 obtiveram a classificação “5”, 35 a classificação “4”, apenas 5 a classificação “3”, não tendo havido classificações de 2 e de 1 valores.

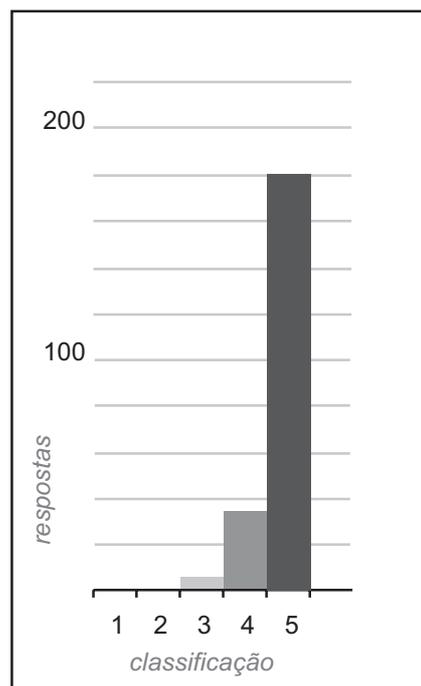


Figura 6.6 Questionário I: Classificações.

6.2.2.4 Roteiro de Exploração II

O Roteiro de Exploração II (Figura 6.7) tem como objectivo uma observação mais atenta e detalhada do Passeio Virtual, por parte dos inquiridos. Para tal, é-lhes pedido que sigam um roteiro de exploração pré-estabelecido e desempenhem seis tarefas cronometradas:

- «1. Quantas janelas tem o edifício da entrada (exterior)?»
- «2. Quantas portas duplas existem?»
- «3. De que cor é o pote?»
- «4. Que sons existem?»
- «5. Qual a forma da tocha?»
- «6. Quantas formas tem uma coluna?»

Em média, cada indivíduo despendeu apenas 1'17" a concluir este roteiro (40% demorou entre 51" e 58", 50% entre 1'01" e 1'09" e 10% demorou 1'20"), ou seja, cerca de 10" para desempenhar cada uma das tarefas, o que se afigurou positiva e manifestamente pouco tempo.

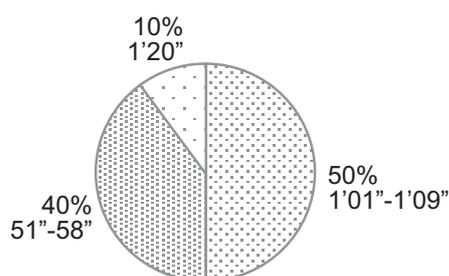


Figura 6.7 Roteiro cronometrado de exploração da Villa.

6.2.2.5 Questionário II

Para evitar a formação precipitada de juízos, apenas no final, no Questionário II, os inquiridos têm a oportunidade de opinar livremente sobre a aplicação, através de respostas de preenchimento (*fill-in*). Desta forma, pretende-se clarificar os seguintes aspectos: Se as TIC ajudam na compreensão da Arqueologia, bem como obter sugestões e opiniões de melhoramento da aplicação. Segue-se, assim, um sumário das respostas obtidas:

«A1. Que aspectos lhe suscitaram maior interesse?»

A excelente reconstituição virtual e possibilidade de “visitá-la”; a possibilidade de interagir e manusear objectos com maior detalhe; a originalidade do projecto com aplicação a um tema com elevado interesse científico; a reconstituição arquitectónica a partir de ruína; a organização da informação intuitiva, permite a sua descoberta ao ritmo do utilizador.

«A2. Que aspectos considera que poderiam ser melhorados?»

Tamanho da letra maior; Associação de uma base de dados onde estivesse toda a informação necessária; Maior diversidade de informação diacrónica e sincrónica do espaço explorável actualmente; Poucos objectos para explorar e introdução de mais detalhes no modelo 3D da *Villa*; Utilização de fotografias de alta definição, que aumenta a utilidade científica.

«A3. Recorda-se de aplicações semelhantes na Internet? Quais?»

www.villa-rustica.de (QTVR e pequenos filmes com reconstituição 3D da *Villa*); Tenho um CD-ROM que é uma visita virtual ao Museu d’Orsay (QTVR); www.becominghuman.org; Apenas o Google Earth, mas sem o carácter pedagógico que a presente aplicação apresenta; Não/nunca tinha ouvido falar em visitas virtuais relacionadas com este tema; As técnicas utilizadas sugerem videojogos.

«A4. Em que outras áreas acharia interessante desenvolver uma aplicação similar?»

Museologia; Arqueologia Industrial e Subaquática; Investigação científica (reconstituição de aspectos dinâmicos e tecnológicos relacionados com a formação de depósitos arqueológicos e produção de artefactos); Reconstituição arquitectónica da morfologia e evolução das cidades e respectivos centros históricos; Reconstituição da flora e fauna existentes no passado; Ensino/Tutoriais (Arquitectura, Mecânica, etc.); Mapas 3D de espaços complexos; Turismo virtual; Viagens espaciais; conhecimento do corpo humano ou outros organismos biológicos.

«B. Observações/Sugestões:»

Criar um ambiente de maior realismo na reconstituição 3D da *Villa* - mais texturas e detalhes; dar um maior protagonismo aos mosaicos da *Villa*; Observa-se uma relação muito bem conseguida entre o ambiente da época, a arquitectura e os materiais; Bom equilíbrio entre os aspectos lúdico e informativo; Introduzir personagens em situações quotidianas e utilizando ferramentas do dia-a-dia (a Arqueologia é a ciência das pessoas por detrás do objecto e não o contrário); Interação com personagens; Mais efeitos sonoros (portas, passos, etc.); Inclusão de música, como forma de “prender” o utilizador; Botões de Navegação do *browser* inicialmente pouco intuitivos; Excelente utilização de Tecnologias Multimédia; Continuar a difundir este trabalho; Soube a pouco.

Na generalidade, os inquiridos demoraram cerca de meia-hora a concluir o presente inquérito - tendo metade dos inquiridos demorado mais de duas horas, uma vez que se sentiram individualmente motivados a explorar todos os detalhes e ligações possíveis

6.3 Sumário

Como forma de demonstração e validação dos objectivos inicialmente propostos, procedeu-se à execução de um protótipo de uma aplicação. Por sua vez, como forma de testagem e avaliação dos objectivos e, conseqüentemente, da aplicação, procedeu-se à elaboração de um inquérito.

O presente inquérito pretendeu analisar o impacto e a pertinência desta aplicação junto de simples curiosos e de pessoas que lidam profissionalmente com a arqueologia. A verdade é que o estado de degradação de muitos sítios arqueológicos, dos seus achados (muitas vezes demasiado fragmentados) e respectivas descrições escritas, só por si não se revelam frequentemente suficientes para a compreensão da tridimensionalidade do conjunto.

Se, inicialmente, se pôde constatar que a maioria dos inquiridos apresentavam dificuldades em “visualizar” como é que eventualmente teria sido esta *Villa*, qual a correspondência dos fragmentos com a peça inteira, os ambientes, etc., no final foi francamente positivo observar que esta aplicação os tinha ajudado a superar essa dificuldade. Desta forma, a análise dos resultados permitiu, por um

lado, confirmar o que inicialmente parecia ser uma evidência, isto é, que as TIC ajudam na compreensão da Arqueologia e, por outro, uma melhor compreensão de todo o estudo (levando, por vezes, a alterações na aplicação, nomeadamente o aumento do número de elementos interactivos no Passeio Virtual, o acesso a algumas informações e o nível de detalhe de algumas texturas e imagens).

Apesar de não constituir directamente um problema, alguns resultados reflectiram a possibilidade de melhorias pontuais, levantando questões que, no futuro, deverão ser melhor estudadas, através de uma análise mais profunda de usabilidade e, conseqüentemente, da estrutura e do *layout* gráfico da aplicação.

De acordo com algumas das sugestões dos inquiridos, muito se pode ainda fazer. Mas como foi amplamente referido, trata-se aqui de um protótipo e é como tal que deverá ser encarado. Naturalmente que como produto acabado teria de incluir um maior número de conteúdos e de outras características apelativas e úteis. Mas, dadas as conhecidas restrições de velocidade de processamento e de tráfego na Internet, não será possível incluir a mesma quantidade e qualidade de gráficos 3D interactivos e em tempo-real que muitos se habituaram a ver nos vídeojogos, por exemplo. As expectativas não poderão nem deverão ser as mesmas. Contudo, o objectivo aqui não será aprofundar esta discussão, mas chamar a atenção para as limitações que se impõem.

De qualquer forma, como se pôde constatar, os resultados apontaram para um sucesso nas diversas questões levantadas e abordadas. Foi estimulante observar o visitante a ser levado a construir activamente o seu roteiro de conhecimentos e aumentar a motivação (“Soube a pouco”! - Questionário II, grupo B).

Os resultados apresentados neste capítulo demonstram que, apesar da necessidade de proceder ainda a alguns pequenos ajustes na estrutura e no *layout* gráfico e interactivo, existe viabilidade e interesse na conclusão do presente protótipo, tendo sido possível dar cumprimento aos requisitos enunciados na secção 4 *Estratégias de Implementação de Conteúdos Multimédia*.

Foi também possível confirmar que, um designer multimédia, habituado a determinadas ferramentas, pode desenvolver um sítio na Internet de um museu virtual simultaneamente interactivo, atractivo e veiculador de diferentes formatos de dados e níveis de informação.

7 Conclusão

Quanto ao desenvolvimento da aplicação, em primeiro lugar, foram criadas prioridades, de forma a atingir os objectivos inicialmente propostos nesta tese:

- Desenvolver o protótipo de uma aplicação multimédia interactiva;
- Alargar o conceito de espaço museológico clássico para um espaço museológico virtual;
- Realizar a modelação 3D de espaços e objectos;
- Promover a navegação com componente estética e carácter científico, pedagógico e lúdico;
- Possibilitar o manuseamento virtual de objectos;
- Promover a estereoscopia;
- Sincronizar, em tempo real, as imagens capturadas e *streaming* de vídeo.

Só depois da conclusão desta etapa, é que foi possível desenvolver e melhorar questões que entretanto tinham ficado pendentes, nomeadamente ao nível da modelação 3D, das texturas, da iluminação, da utilização de novos programas, da interactividade e dos *scripts*.

O desenvolvimento desta aplicação foi conscientemente limitado a uma plataforma PC (por ser comum a grande parte dos utilizadores) e às larguras de banda médias disponíveis no nosso mercado. Quanto à generalidade dos programas (3ds Max, Flash, Photoshop, etc.), são já conhecidos e

utilizados por uma parte considerável dos designers multimédia. No caso da Estereoscopia, existem vários programas no mercado e alguns podem, inclusivamente, ser descarregados gratuitamente da Internet. Quanto à programação, tem a vantagem de poder ser feita em qualquer editor de texto.

No que se refere à VRML, embora a escolha desta linguagem tenha sido adequada para descrever ambientes virtuais tridimensionais interactivos na Internet, demonstrando inicialmente enormes potencialidades - já que permite ao utilizador navegar e interagir fácil e livremente, de forma a aumentar e melhorar a sua compreensão dos dados fornecidos; existem visualizadores gratuitos disponíveis na Internet; é compatível com diversas plataformas; as características de integração de variados tipos de objectos multimédia podem ser interessantes - acabou por revelar algumas limitações ao nível da interactividade. Ou seja, quando se pretendeu criar uma comunicação mais enriquecedora entre as diferentes componentes da aplicação, mais precisamente no que se refere ao controlo externo dum cena através de um API e através da implementação da EAI, tal não foi possível, devido ao eixo de comunicação ser executado através da JVM e esta ter sido descontinuada durante a elaboração desta dissertação.

Na sequência deste problema, foi necessário criar alternativas e redesenhar a estrutura geral de interactividades do presente protótipo, de modo a mantê-lo apelativo e eficiente.

Ao longo do trabalho, pretendeu-se:

- Recriar um ambiente virtual – Tendo em conta a *hardware* e *software* utilizados, bem como questões relacionadas com largura de banda. Com algumas das características dos videojogos (lúdico, pedagógico, intuitivo, interactivo, não-intrusivo e com navegação livre) associadas à descoberta de informação, para explorar achados arqueológicos;
- Realçar a importância das capacidades tecnológicas e desenvolver uma relação mais próxima entre as diversas aplicações computacionais, em especial o 3D, e a arqueologia. Não como um substituto da realidade, mas como um complemento e auxiliar de estudos arqueológicos, através da reconstrução hipotética de sítios e objectos;
- Desenvolver uma variedade de modos de transmissão de conteúdos, com técnicas e características de visualização e interacção, especificamente adequados a uma aplicação multimédia;
- Gerar visualizações com diferentes parâmetros através da Internet. Na medida em que a visualização de um objecto, com diferentes tecnologias, pode enriquecer a interpretação do mesmo;
- Fazer uma avaliação da sua utilidade, identificando algumas interacções típicas por parte do utilizador;
- Ajudar a definir técnicas e métodos a serem utilizados ou adequar a outras aplicações, de

modo a torná-las mais eficientes;

- Contrariar o mito de multimédia ser sinónimo de “avultados orçamentos”.

Por se tratar assumidamente de um protótipo e não de um produto acabado, muito ainda poderá ser feito. Espera-se, contudo, que este trabalho (prático e escrito) possa ser utilizado por outros como ponto de partida para o desenvolvimento de projectos futuros, nomeadamente na preservação da nossa herança cultural, histórica e natural.

Desta forma, alguns projectos futuros poderão passar por:

- Migrar a aplicação para X3D e utilizar a SAI (*Scene Authoring Interface*), face à impossibilidade de implementação da EAI com a VRML;
- Concluir a restituição virtual de todo o sítio arqueológico em questão;
- Ligar os objectos e conteúdos multimédia a uma base de dados;
- Criar navegações temáticas em tempo-real, assim como versões cronológicas paralelas [Roberts97], de forma a permitir a exploração do sítio através do espaço e do tempo, proporcionando inúmeras possibilidades de recriar, experimentar e visualizar o passado, o presente e até mesmo o futuro, com vista a efectuar estudos de preservação, por exemplo;
- Introduzir figuras humanas em cenas quotidianas, para uma melhor compreensão dos costumes e da utilização dos diferentes espaços e artefactos;
- Quantificar, comparar, analisar e avaliar as vantagens e desvantagens dos vários sistemas VR em diferentes aplicações científicas, assim como as mais-valias de algumas tarefas e características, de forma a utilizá-las e torná-las mais eficientes e úteis;
- Desenvolver outros projectos multidisciplinares relacionadas com *e-Heritage*, recorrendo às novas Tecnologias de Informação e Comunicação.

Naturalmente que se trata de um projecto multidisciplinar e, como tal, requer a colaboração de pessoas com diferentes formações, nomeadamente em Arqueologia e em Tecnologias Multimédia.

Aliás, ver um modelo 3D do projecto e demais interactividades foi extremamente inspirador para as pessoas envolvidas no projecto, no sentido em que também levou a questionar alguns dos modelos arquitectónicos anteriormente defendidos.

Ao longo deste período, foi interessante constatar um número crescente de pessoas que trabalham no campo da arqueologia a tomar contacto com algumas destas novas tecnologias. No entanto, apesar de conscientes da utilidade e potencialidades destas, são ainda subutilizadas e subaproveitadas na divulgação, no ensino e no avanço da própria ciência.

Por último, seria francamente gratificante se este trabalho, de alguma forma, ajudasse a reforçar o uso de Tecnologias Multimédia associadas a espaços museológicos e na reconstrução e apresentação de Arqueologia Virtual, entre outras áreas, em Portugal.

Referências

- [Akmè98] “Sulle Tracce degli Antichi Romani Akmè”, 1998. Edizioni Multimediali (edição em CD-ROM).
- [Ames97] ANDREA L. AMES, D. R. NADEAU, J. L. MORELAND, 1997. “VRML 2.0 Source Book”. 2nd edition, John Wiley & Sons, NY.
- [Amberlight03] AMBERLIGHT, 2003. “Amberlight: human computer interactions”. <<http://www.amber-light.co.uk/resources/hierarchy.shtml>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Archeoguide02] ARCHEOGUIDE, 2002. “Augmented Reality-based Cultural Heritage On-site Guide”. <<http://archeoguide.intranet.gr>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Barceló00] JUAN A. BARCELÓ, M. FORTE, D. H. SANDERS, 2000. “The Diversity of Archaeological Virtual Worlds”. British Archaeological Reports, International Series #843, ArcheoPress, Oxford.
- [Barretto93] MARGARITA BARRETTO, 1993. “Paradigmas Actuales de la Museología”. Ciudad Virtual de Antropología y Arqueología. <<http://www.arqueologia.com.ar/articulos/museologia.htm>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Beardah96] C. BEARDAH, M. BAXTER, 1996. “Sensuous and Reflexive GIS: exploring visualization and VRML”. Internet Archaeology, 1. <<http://intarch.ac.uk/journal/issue1/>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Beer04] GÜNTER BEER, 2004. “Web Design Index 5”. The Pepin Press-Agile Rabbit Editions, Amsterdam.
- [Beier04] K.-P. BEIER, 2004. “Virtual Reality: a short introduction”. Virtual Reality Laboratory at the College of Engineering, University of Michigan. <<http://www.vrl.umich.edu/intro/index.html>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Behel01] M. BEHEL, L. BRISSAUD, J-L PRISSET e H.SAVAY-GUERRAZ, 2001. “Les Couleurs Sous la Terre: la maison aux Cinq Mosaïques”. Musée de Saint-Romain-en-Gal-Vienne, Rhône.
- [Bernardes03] PAULO BERNARDES, M. MARTINS, 2003. “Computação Gráfica e Arqueologia Urbana: o caso de Bracara Augusta”. 12º Encontro de Computação Gráfica, Porto. <<http://virtual.inesc.pt/12epcg/papers/04.pdf>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).

- [Bidarra03] RAFAEL BIDARRA, R. V. DALEN, J. V. ZWIETEN, 2003. "A Computer Graphics Pioneer Project on Computer Games". Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, Delft University of Technology, Netherlands. <<http://graphics.tudelft.nl>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Bontempi03] ELAINE BONTEMPI, 2003. "Online Education in Museums: cognitive theories and technology issues". <http://www.xplanazine.com/archives/2003/11/online_educatio_2.php> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Breeze06] STEVE BREEZE, 2006. "Virtual Archaeology". Creative TV Facilities, BBC. <<http://www.bbc.co.uk/history/interactive/>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Bruinsma01] MAX BRUINSMA, 2001. "Deep Sites, Intelligent Innovation in Contemporary Web Design". Thames & Hudson, London.
- [Callebaut03] DIRK CALLEBAUT, 2003. "Ename 974". <<http://www.ename974.org/Eng/pagina/>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Caltagirone01] "Segni e Sogni di Terracota: Il Museo Regionale della Ceramica Caltagirone", 2001. Regione Siciliana, Museo Regionale della Ceramica Caltagirone, Kronos (edição em CD-ROM).
- [Carey97] RIKK CAREY, GAVIN BELL, 1997. "The Annotated VRML 97 Reference Manual". <<http://www.cs.vu.nl/~eliens/documents/vrml/reference/BOOK.HTM>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Chaves01] ARALA CHAVES, 2001. "Educação e Matemática". <<http://www.atractor.pt/geral/entrevista.html>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Crispen00] BOB CRISPEN, 2000. "VRML Works: getting a VRML browser". <http://vrmlworks.crispen.org/get_browser.html> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Curtis01] HILLMAN CURTIS, 2001. "Flash Web Design: the art of motion graphic, the v5 remix". New Riders Publishing, Berkeley, CA.
- [Dicionet07] DICONET. <<http://dicio.net>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Discreet03] DISCREET, 2003. "3ds max 6 Tutorials". Discreet.
- [Durand] FABIO DURAND. "Estereoscopia". <<http://www.mnemocine.com.br/galeria/fdurand/fdurand.htm>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Entlich06] RICHARD ENTLICH, 2006. "The Missing Dimension in Web-based Museum Exhibitions: obstacles to adding depth to digital data". *RLG DigiNews*, Dec15-2006. <http://www.rlg.org/en/page.php?Page_ID=20999#article5> (último acesso: 10|Janeiro|2007).

- [Foley94] FOLEY, VAN DAM, FEINER, HUGHES, PHILLIPS, 1994. "Introduction to Computer Graphics". Addison Wesley Publishing Company.
- [Fovea04] PROJET FOVEA. "Fouille Virtuelle d'Environnement Paléo-anthropologique". Centre National de la Recherche Scientifique. <<http://foveaproject.free.fr/>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Geroimenko05] VLADIMIR GEROIMENKO, 2005. "Using 3D Avatar-Based Multimodal Interfaces for Navigating 2D Web Sites". Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 2005 Conference, Tomar.
- [Gonçalves03] ALEXANDRINO GONÇALVES, 2003. "VRML... porque não?". 12º Encontro de Computação Gráfica, Porto. <<http://virtual.inesc.pt/12epcg/papers/23.pdf>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Hartman98] JED HARTMAN, JOSIE WERNWCKE, 1998. "VRML 2.0 Handbook: building moving worlds on the web". 4th edition, Silicon Graphics, CA.
- [Hooper02] EILEAN HOOPER-GREENHILL, 2002. "Developing a Scheme for Finding Evidence of the Outcomes and Impact of Learning in Museums, Archives and Libraries: the conceptual framework". Research Centre for Museums and Galleries - Department of Museum Studies, University of Leicester, UK.
- [Kalawsky93] ROY S. KALAWSKY, 1993. "The Science of Virtual Reality and Virtual Environments". British Aerospace and University of Hull, Addison-Wesley Publish Company.
- [Lauro81] GIUSEPPINA LAURO, 1981. "Ostia, Past and Present: guide with reconstructions of Ancient Ostia". Vision.
- [Leitão94] JOÃO MIGUEL Q. M. LEITÃO, 1994. "Síntese por Computador de Imagens Estereoscópicas com Elevado Realismo". Dissertação de Tese de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, perfil de Informática Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [Lockner99] MIKAEL LOCKNER E ULF WINROTH, 1999. "Usability and Social Interaction in a Collaborative Virtual Environment". Project P807/Jupiter2 - Joint usability, performability and interoperability trials in Europe. European Institute for Research and Strategic Studies in Telecommunications. <<http://www.eurescom.de/~public-website/p800-series/P807/results/Usability/R7/D2-T3-Usability-R7-SocialInteraction.pdf>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Maciel96] M. JUSTINO MACIEL, 1996. "O Livro Quinto do «De Architectura» de Vitruvius". Miscellanea em Homenagem ao Professor Bairrão Oleiro, 285-329, Edições Colibri, Lisboa.

- [Mendes03] JOSÉ AMADO MENDES, 2003. “Educação e Museus: novas correntes”. Conferência integrada nas comemorações do aniversário do Museu Monográfico de Conimbriga.
- [Miranda99] JOSÉ CARLOS G. P. MIRANDA, 1999. “Urbanismo e Espaços Virtuais: divulgação e discussão na comunidade”. Dissertação de Tese de Mestrado em Tecnologia Multimédia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [MW05] MW, 2005. “Museums and the Web 2005: the international conference for culture and heritage on-line”. Vancouver, British Columbia. <<http://www.archimuse.com/mw2005/>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Pereira04] PEDRO PEREIRA, NUNO MATOS E ADÉRITO MARCOS, 2004. “Augmented Room: a device for visualization of museum artifacts”. <<http://www.ccg.pt/index.aspx?id=7&project=30>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Pesce96] MARK PESCE, 1996. “VRML Flying Through the Web”.
- [Pessoa98] MIGUEL PESSOA, 1998. “Villa Romana do Rabaçal: um objecto de arte na paisagem”, Câmara Municipal de Penela.
- [Pessoa99a] MIGUEL PESSOA, SANDRA STEINERT SANTOS, LINO RODRIGO, 1999. “O Museu de Sítio Arqueológico como Lugar de Sociabilidade e Instrumento Pedagógico: os investigadores e a formação da população e dos públicos”. *O Arqueólogo Português*, IV (17): 157-174.
- [Pessoa99b] MIGUEL PESSOA, SANDRA STEINERT SANTOS, LINO RODRIGO, 1999. “O Programa Expositivo do Espaço-Museu da Villa Romana do Rabaçal”. *O Arqueólogo Português*, IV (17): 501-525.
- [Pessoa01] MIGUEL PESSOA, SANDRA STEINERT SANTOS, LINO RODRIGO, 2001. “Roteiro: Rabaçal aldeia cultural”. Câmara Municipal de Penela.
- [Pessoa04] MIGUEL PESSOA e LINO RODRIGO, 2004. “Catálogo: espaço-museu, villa romana do Rabaçal”. Câmara Municipal de Penela.
- [PG05] ParallelGraphics, 2005. <<http://www.parallelgraphics.com>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Pitcher02] LYNN PASSI PITCHER, 2002. “Antiquarium della Villa tardoantica di Palazzo Pignano”. Edizioni Et, Milano.
- [Pujol04] LAIA PUJOL, 2004. “Archaeology, Museums and Virtual Reality”. *DigitHVM - Revista Digital d’Humanitats*, 6. <<http://www.uoc.edu/humfil/articles/eng/pujol0304/pujol0304.pdf>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).

- [Raposos05] ALBERTO B. RAPOSO, 2005. “VRML: Scripts e EAI (External Authoring Interface)”. <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~abraposo/INF1366>> (último acesso: 10|Janeiro|2007)
- [Regan99] TIM REGAN. “VRML 2.0 EAI FAQ”, 1999. <<http://tecfa.unige.ch/guides/vrml/eaifaq-copy.html>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Renfrew04] COLIN RENFREW e PAUL BAHN, 2004. “Archaeology: theories, methods and practice”. (4th edition) Thames & Hudson, London.
- [Roberts97] JONATHAN C. ROBERTS e NICK RYAN, 1997. “Alternative Archaeological Representations within Virtual Worlds”. Computing Laboratory, University of Kent, Canterbury.
- [Rocha00] ANA ROCHA e CORNELIA ECKERT, 2000. “Antropologia nas Novas Tecnologias: o projeto do banco de imagens e efeitos visuais”. Laboratório de Antropologia Social PPGAS/IFCH/UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- [Rodrigo04] LINO RODRIGO, MIGUEL PESSOA, 2004. “Da Azeitona ao Azeite, do Rabaçal a Fez: homenagem à oliveira, prima omnium arborum”. Catálogo da exposição no Espaço-Museu da villa romana do Rabaçal, C. M. de Penela.
- [Römerstadt98] “Römerstadt Augusta Raurica: ein interaktiver besuch”, 1998. Römerstadt Augusta Raurica (edição em CD-ROM).
- [Rua98] HELENA RUA, 1998. “Os Dez Livros de Arquitectura de Vitruvius: utilidades dos edificios privados e das suas utilidades” (tradução e notações), 6. Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- [Schulze05] J.P. SCHULZE, A.S. FORSBERG, A. KLEPPE, R.C. ZELEZNIK, D.H. LAIDLAW, 2005. “Characterizing the Effect of Level of Immersion on a 3D Marking Task”. Department of Computer Science, Brown University, Providence, RI. <<http://www.cs.brown.edu/research/vis/docs/pdf/Schulze-2005-CTE.pdf>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Smishek04] ERICA SMISHEK, 2004. “Totem in 3D. Museum of Anthropology recreates a Northwest coast monument: one pixel at a time”. University of British Columbia, UBC Reports, 5 (6). <<http://www.publicaffairs.ubc.ca/ubcreports/2004/04jun03/totem.html>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Solanilla01] LAURA SOLANILLA, 2001. “¿Qué queremos decir cuando hablamos de interactividad? El caso de los webs de los museos de historia y arqueología”, DigitHVM - Revista Digital d’Humanitats, 4. <<http://www.uoc.edu/humfil/articles/esp/solanilla0302/solanilla0302.html>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).

- [Staccioli90] R. A. STACCIOLI, 1990. “Rome Ancienne: les monuments autrefois et aujourd’hui”, Vision.
- [Steed97] ANTHONY STEED, 1997. “Data Flow Languages for Immersive Virtual Environments”. Department of Computer Science, University College London. *Virtual Worlds on the Internet*, ed. John Vince and Rae Earnshaw, 1998.
- [Taxén05] GUSTAV TAXÉN e EMMANUEL FRÉCON, 2005. “The Extended Museum Visit: documenting and exhibiting post-visit experiences”. *Archives & Museum Informatics, Museums and the Web 2005 proceedings*, Toronto. <<http://www.archimuse.com/mw2005/papers/taxen/taxen.html>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Thalmann_a] DANIEL THALMANN. “Advanced Virtual Reality Systems and Telepresence”. EPFL, VRlab. <<http://vrlab.epfl.ch/~thalmann/VR/AVR.html>> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Thalmann_b] DANIEL THALMANN. “Fundamentals of Virtual Reality”. EPFL, VRlab. <http://vrlab.epfl.ch/~thalmann/VR/VRcourse_Fundamentals.pdf> (último acesso: 10|Janeiro|2007).
- [Vision02] D Vision Works, 2002. “D Sculptor 2.0 and D Sculptor 2.0 Professional: user manual”. D Vision Works Limited.
- [UIL05] “Usabilidade: ergonomia de interfaces na construção de softwares”, 2005. Seminário na Universidade Internacional, Lisboa.

Anexo

Inquérito

Roteiro de Exploração I:

inquiridos:	1	2	3	4	(...)
1. Entrar na Villa					
2. Encontrar ânfora, na Villa					
3. Visualizar ânfora em 3D (manipulável)					
4. Visualizar ânfora com óculos estereoscópicos					
5. Aceder a mais informações (texto) sobre o peristilo					
6. Aceder a informações sobre “o Metal e a Moeda”					
7. No <i>link</i> “Metal” aceder à versão áudio do texto					
8. No <i>link</i> “Metal” aceder à versão em PDF					
9. Descobrir o significado de “Peristilo”					
10. Descobrir a data da primeira visita ao sítio arqueológico					

Questionário I:

A. De um modo geral, acha que:

	Pouco 1	2	Médio 3	4	Muito 5
1. A aplicação é esteticamente apelativa?					
2. A aplicação tem uma navegação intuitiva?					
3. A aplicação é eficaz no acesso à informação?					
4. A aplicação integra os diferentes recursos multimédia de uma forma interessante?					
5. A aplicação concluída, teria interesse lúdico?					
6. A aplicação concluída, teria interesse pedagógico?					
7. A aplicação concluída, teria interesse científico?					
8. A Villa tem uma exploração imersiva?					
9. A reconstituição virtual (hipotética) da Villa complementa o seu espaço físico?					
10. A aplicação contribui para a divulgação da Villa e Museu?					

B. Em relação aos Objectos, acha que:

	Pouco 1	2	Médio 3	4	Muito 5
1. É útil a diversidade de formas de visualização de um mesmo objecto?					
2. É particularmente útil a possibilidade de interagir?					
3. Têm interesse lúdico?					
4. Têm interesse pedagógico?					
5. Têm interesse científico?					
6. Complementam a exposição e publicações?					
7. Contribuem para a divulgação do espólio do Museu?					

C. Depois de ver e explorar este protótipo:

	Pouco 1	2	Médio 3	4	Muito 5
1. Ficou com vontade de conhecer fisicamente a Villa e o Museu do Rabaçal?					
2. Ficou com vontade de ver outras aplicações semelhantes?					
3. Acharia interessante poder consultar esta aplicação (concluída) na internet ou em CD-ROM?					
4. Considera útil o uso de tecnologias multimédia, na salvaguarda e divulgação do nosso património?					
5. Considera útil o uso específico de tecnologias 3D, no âmbito da Arqueologia?					

Roteiro de Exploração II:

inquiridos:	1	2	3	4	(...)
1. Quantas janelas tem o edifício da entrada (exterior)?					
2. Quantas portas duplas existem?					
3. De que cor é o pote?					
4. Que sons existem?					
5. Qual a forma da tocha?					
6. Quantas formas tem uma coluna?					
Total de tempo dispendido:					

Questionário II:

A1. Que aspectos lhe suscitaram maior interesse?

A2. Que aspectos considera que poderiam ser melhorados?

A3. Recorda-se de aplicações semelhantes na internet? Quais?

A4. Em que outras áreas acharia interessante desenvolver uma aplicação similar?

B. Observações/Sugestões:
