



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



**Viver o Passado: Modelos tridimensionais e realidade virtual como
ferramentas de apoio à Arqueologia e à Reconstrução do Património**

O caso de estudo da *villa* romana do Casal de Freiria

Pedro Afonso da Silva Alfaro Marreiros Alvito

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

ARQUITECTURA

Júri

Presidente: Professor Manuel Correia Guedes

Orientador: Professora Helena Rua

Arguente: Professora Luísa Caldas

Setembro de 2008

Agradecimentos:

Prof. Dr. José d'Encarnação

Dr. Guilherme Cardoso

Arq^o. Manuel Bicho

Resumo:

Conhecer o passado, para compreender o presente e prever o futuro.

Este modo habitual de justificar o interesse pelas sociedades anteriores é uma designação sem consistência efectiva, dada a incerteza que envolvem os acontecimentos anteriores e porquanto não haver testemunhas que possam corroborar as teorias desenvolvidas acerca desses assuntos. Por esta razão, pode afirmar-se que não há um passado mas, sim, várias hipóteses de passados. E daí a importância de poder dispor de análises multidisciplinares que se complementem no conhecimento e que nunca estarão concluídas, porque haverá sempre um documento, ou um vestígio, ou uma análise, que importa realizar.

Este trabalho propõe a utilização de métodos de modelação tridimensional e de representação virtual em tempo real, baseada em dados rigorosos do local e na investigação realizada pela equipa de arqueólogos até à data, para reconstruir o que terá sido a *villa* do Casal de Freiria, e recriar o ambiente de época. Pretende-se avaliar os benefícios do uso destas ferramentas na aferição das diversas hipóteses de reconstrução e na resolução de incertezas.

Palavras-chave:

Modelo Tridimensional,
Cenários Virtuais,
Reconstrução do Ambiente Urbano-Socio-Arquitectónico,
Visualização do Espaço Recriado,

Abstract:

Learn about the past, so you can better understand the present, and predict the future.

This sentence is widely used to justify our interest in ancient cultures, but it lacks consistency due to the amount of uncertainty that surrounds the study of past events. The fact that we have no living witnesses, nor the necessary literature to fully corroborate theories, force archaeologists and historians to develop not a theory, but several hypotheses for what a certain event, or building, or area was. This is why it is so important to coordinate your investigation with different disciplines that add a multitude of views and analysis to the investigation, and may help narrowing down the amount of uncertainty.

This thesis proposes the use of 3D modeling tools, as well as Virtual Reality tools, to rebuild the Roman *villa* of Freiria, based on accurate surveys of the area, and all the existing investigation on the subject. The purpose is to evaluate the benefits of using said techniques to aid in archaeological investigation, and to dissipate some of the uncertainties that exist.

Keywords:

3D Model
Virtual Scenarios
Recreation of Social, Urban and Architectural Environments
Visualization of a Recreated Space

Lista de Figuras

Imagem 1: Processo comum de investigação arqueológica.	1
Imagem 2: Processo de investigação proposto.....	1
Imagem 3: Vista aérea da villa.	2
Imagem 4: Fotografia das ruínas da villa de Freiria	3
Imagem 5: O “Utah Teapot”	8
Imagem 6: Render de um dragão chinês em vidro	10
Imagem 7: Imagens de referência do motor de jogo Cryengine2™ da Crytek	13
Imagem 8: Levantamento topográfico.....	19
Imagem 9: Ficheiro original (esquerda) e otimizado (direita)	21
Imagem 10: Foto aérea de Freiria.....	22
Imagem 11: Ficheiro DWG pronto a importar	23
Imagem 12: Menu de definição de unidades de sistema	25
Imagem 13: Triangulação do terreno.....	26
Imagem 14: Modelação dos muros, já subdividida	28
Imagem 15: Modelação das pedras individuais.....	28
Imagem 16: Modelação do presente: as termas	29
Imagem 17: Reconstrução do celeiro	30
Imagem 18: Reconstrução do celeiro, com a estrutura principal em pórticos.	31
Imagem 19: Render da reconstrução do celeiro.....	32
Imagem 20: Menu de exportação de modelos.	36
Imagem 21: Heightmap utilizado na criação do terreno.	37
Imagem 22: Importação do modelo final para o editor de mapas.	38
Imagem 23: Menus de criação de personagens e scripts de IA.	39
Imagem 24: Imagem de jogo, com o mapa aplicado.	40

Lista de Abreviações, Acrónimos e Inglesismos:

Hardware – Conjunto de componentes físicas de um computador.

Software – Componente lógica de um computador.

Interface – Elemento de ligação entre utilizador e software/hardware

CGI – Computer Generated Image. Imagens virtuais criadas num computador

Chip – Circuito Integrado

Renderização – Processo de geração de uma imagem bidimensional a partir de um modelo tridimensional.

PC – Personal Computer. Computador Pessoal

Performance – Desempenho de uma peça de hardware, ou de um computador.

T.N. – Tamanho Natural

Pixel – Picture Element – Unidade de informação de uma imagem digital

Texturização – Aplicação de mapas a um modelo, por forma a representar realisticamente uma textura.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1 Descrição do objecto de estudo.....	2
1.2 Objectivos do trabalho.....	5
2. Softwares CAD, de modelação tridimensional e de realidade virtual existentes no presente	7
2.1 Resenha das Origens da Modelação Gráfica.....	8
2.2 Tecnologia existente	14
3. Relatório do Trabalho Prático.....	18
3.1.Criação dos modelos tridimensionais com base no modelo CAD.	18
3.1.1.Recolha de Informação. Dados Bidimensionais (e informação altimétrica) em formato CAD.....	18
3.1.2. Modelação Tridimensional	24
4.Conclusões.....	41
Anexos.....	43
A1: Processos/Conceitos a definir	43
A2: Imagens do Trabalho Prático	46
Bibliografia	52

1. Introdução

A presente dissertação descreve o Trabalho de Final de Ciclo, desenvolvido no âmbito do Mestrado Integrado de Arquitectura, no ano lectivo de 2007/08. Tendo sido permitido alargar os temas de estudo para além da área enunciada na disciplina de Projecto VI, optou-se por experimentar a implementação de programas de modelação virtual que pudessem ser, genericamente, aplicados à construção e, em particular, à reconstrução.

Premissas

O tema da aplicação das novas tecnologias de modelação e visualização à Arquitectura não é recente, mas os avanços tecnológicos recentes a nível de visualização em tempo real ainda não se reflectiram de uma forma globalizada nesse campo.

Ao se analisar o processo actual de investigação arqueológica, pode-se concluir que, de forma geral, eles são cíclicos, alternando entre épocas de escavação e investigação *in situ*, e a análise laboratorial desses dados. Esta análise é geralmente acompanhada

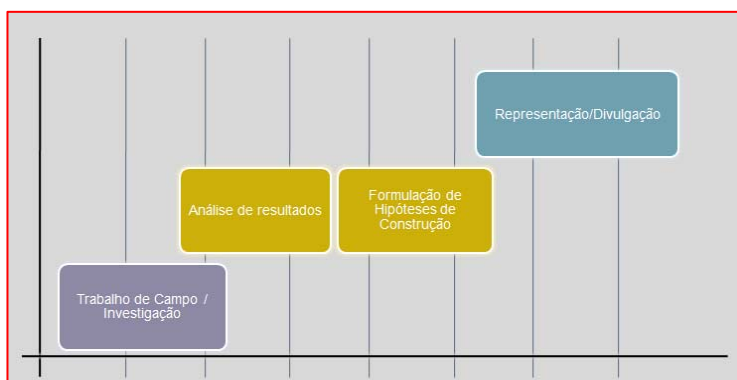


Imagem 1: Processo comum de investigação arqueológica.

de esquemas e desenhos bidimensionais. Neste modelo de trabalho, o recurso à modelação tridimensional surge apenas como meio para a divulgação ou representação de resultados.

Como consequência desta análise, levantou-se a questão dos possíveis usos que um modelo tridimensional terá durante as fases de investigação no local e laboratorial. Um método de modelação não

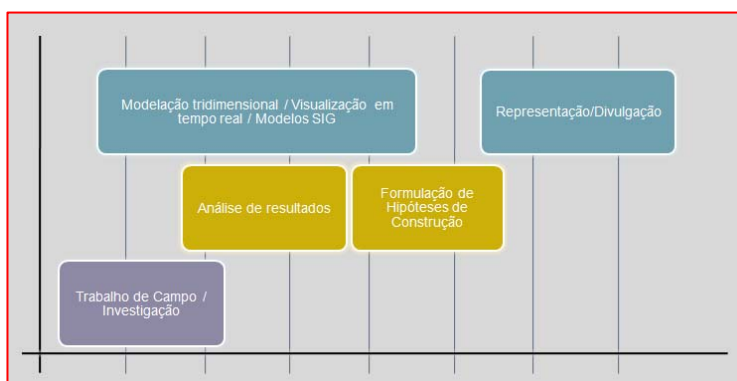


Imagem 2: Processo de investigação proposto.

apenas representativa, mas de uso prático e possivelmente útil para a equipa de investigação. Pela sua natureza, este modelo é necessariamente diferente dos modelos usados para divulgação de trabalho, ainda que possam estar relacionados

Houve também interesse por parte do grupo responsável pela investigação arqueológica da villa de Freiria, sob a pessoa do Dr. Guilherme Cardoso, em criar um modelo tridimensional do local, disponibilizando toda a informação recolhida até ao momento para o efeito.

Por fim, houve um interesse pessoal em explorar as potencialidades inerentes dos novos motores gráficos, e testar uma aplicação prática destas ferramentas.

Por esta razão, escolheu-se o tema “Utilização de Modelos Virtuais Para a Reconstrução do Património” que propunha executar a recuperação de Freiria – uma *villa* em meio rural da era romana, vocacionada para a produção agrícola – de modo a recriar o ambiente da época em que foi habitada.

1.1 Descrição do objecto de estudo

A *villa* romana de Freiria situa-se na freguesia de São Domingos de Rana (Concelho de Cascais, Distrito de Lisboa), numa das encostas do vale existente perto da localidade de Outeiro de Polima.

A descoberta destes vestígios remonta a 1912, ano em que o arqueólogo Virgílio Correia reportou a existência de achados da época romana na área; mas foi apenas em 1985, por iniciativa do Prof. José d’Encarnação e do Dr. Guilherme Cardoso, que se procedeu ao estudo sistemático deste espaço.

As sondagens ao local e subsequentes campanhas de escavação permitiram reconhecer a existência de um edificado composto pelo que pode ser designado como uma Casa Senhorial (*Domus*), organizada em torno de um pátio central, interior (*Peristilo*), para onde se orientavam os compartimentos



Imagem 3: Vista aérea da villa. 1:Domus 2:Armazéns/Lagar 3:Habitação de pessoal 4:Termas 5:Celeiro

dos proprietários. Verificou-se ainda a existência de uma outra zona, anexa mas distinta da anterior, de apoio à produção agrícola que, por sua vez, se organizava em torno de um segundo pátio por onde se acedia a compartimentos para armazenamento de alfaias, lagares, ao Celeiro e a pequenos alvéolos/células que, provavelmente, correspondiam a habitações do pessoal auxiliar. A Sul destes dois complexos encontram-se os vestígios do que terão sido as instalações termais.

Contudo, a necessidade de adequar o espaço a novas funções, em virtude da extensão do período de ocupação (do séc. I ao séc. IV a.C.), implica alguma incerteza em relação a estes dados. Sabe-se da existência de outros aglomerados da mesma época na envolvente próxima, cuja investigação se crê premente para melhor se conhecer e compreender a importância do conjunto e do comportamento social daquela região: se o celeiro for de uso exclusivo, então poderá especular-se a dimensão da extensão rural; caso contrário, poderá corresponder a um centro de recepção de cereais.

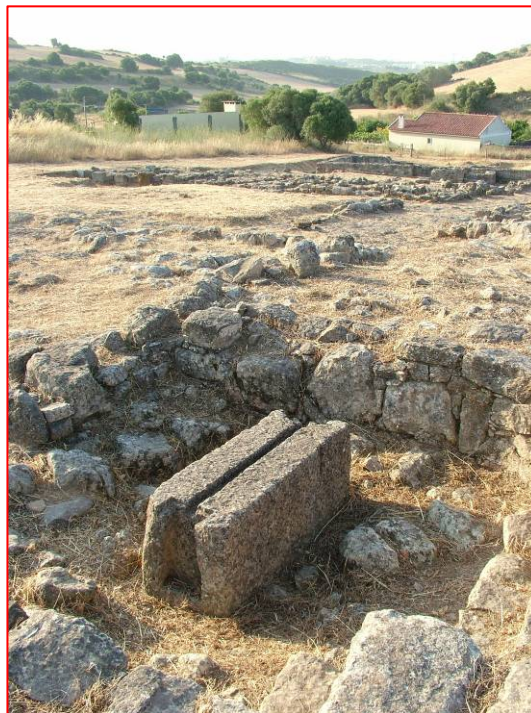


Imagem 4: Fotografia das ruínas da villa de Freiria, focando a pedra de lagar. ©Guilherme Cardoso

Este tipo de conjuntura adequa-se à elaboração de projectos SIG (Sistemas de Informação Geográfica), na sua vertente de Análise Histórica e Território, onde as características ambientais, neste caso a hipotética extensão rural de *villæ*, podem ser determinadas a partir da localização de centros (polígonos de Thiessen¹). Contudo, esta abordagem não correspondia ao âmbito do presente trabalho, pois prende-se com um exaustivo trabalho de campo, ainda por efectuar e longe de estar concluído.

Por outro lado, as limitações ao apoio dos trabalhos de campo levaram a que estes decorressem num curto período de tempo, e que, por sua vez, a metodologia de registo, numa aproximação inicial, fosse efectuada de modo expedito. Recorrendo ao levantamento topográfico tradicional – Estação total e Mira – foi possível conhecer a extensão do edificado da última fase de

¹ Polígonos de Thiessen são áreas determinadas automaticamente por um algoritmo que avalia a distância média entre dois ou mais pontos considerados centros. O problema da aplicação deste método é que nem sempre a villa correspondia ao ponto central da propriedade, pois estas localizavam-se no local menos propício à agricultura.

ocupação que, normalmente, corresponde à camada mais superficial, antes de proceder ao enterramento das estruturas e, deste modo, dispor de informação própria à escala do território.

Foi apenas em 1995, quando se iniciou a escavação em área de forma sistemática, que se começou a efectuar o levantamento adequado aos propósitos arqueológicos: a partir do estabelecimento de dois alinhamentos ortonormados efectua-se a materialização de uma quadrícula nos locais onde se pretende levar a cabo o levantamento e realiza-se a medição de todos os pontos notáveis, com a respectiva correspondência para um desenho à escala 1:20, em suporte milimétrico. O resultado, levantamento planimétrico e altimétrico de Freiria, permitiu conhecer o objecto de estudo com maior profundidade – época e local em que foi construído² – com um desfasamento entre desenho e realidade de cerca de dois centímetros a T.N.

Este conjunto de desenhos de levantamento, efectuado no local de modo a possibilitar esclarecer todas as dúvidas que pudessem surgir relativamente ao processo construtivo em questão, foram convertidos ao sistema informático por recurso a mesa digitalizadora. Deste modo, foi prevenida a ocorrência de erros de deformação do suporte do registo³. Do mesmo modo, foram salvaguardadas as diferenciações de materiais por *layers*, especificando as particularidades do levantamento por cores e tipos de linhas, de modo a permitir vir a concluir um trabalho sujeito a permanente actualização, em conformidade com as campanhas arqueológicas que venham a efectuar-se.

Para a digitalização dos dados recorreu-se ao AutoCadTM (versão 14, actualizável), convertendo cada entidade – pedra, rocha, argamassa, etc. – à *layer* pré-estabelecida, tendo em atenção as respectivas características, nomeadamente a cota altimétrica em que se situavam. Este processo resultou num extenso desenho (correspondendo à conversão de cerca de 5ha - 50 por 100 metros - para a escala 1:20), cuja tridimensionalidade resulta apenas da variação do nível da periferia dos elementos considerados planos. Este pormenorizado e exaustivo levantamento local, foi georreferenciado, com correcção diferencial, o que permitiu posicioná-los na rede geodésica nacional, com uma margem de erro inferior a 1 cm (devido à opção de um dos pontos de georreferenciação escolhidos no local). Este procedimento foi, até ao momento, a principal implementação de ferramentas SIG efectuada aos dados obtidos.

Estes foram os elementos técnicos utilizados na reconstrução virtual de Freiria.

² O que permitiu concluir que a ocupação desta zona persistia desde o Calcolítico, tratando-se, muito provavelmente, de uma zona agrícola intensamente explorada desde essa época.

³ O papel, quando sujeito a grandes amplitudes de humidade, tem tendência a deformar-se (por dilatação) e não retoma a sua forma original, alterando permanentemente as dimensões dos desenhos.

1.2 Objectivos do trabalho

Quem já participou numa campanha arqueológica compreende que o local raramente possui uma componente tridimensional muito demarcada. O espaço lê-se principalmente de forma bidimensional, sem correspondência visual nas inferências que se lhe fazem. Por outro lado, dificilmente será possível alguma vez efectuar a sua reconstrução física, quer pelos custos inerentes, quer pelo facto de se colocarem tantas hipóteses de reconstrução⁴ para um único espaço.

A reconstrução a partir de imagens bidimensionais, tais como ‘fotografias’ obtidas por manipulação de dados, ou animações criadas com base numa reconstrução virtual, preciosos auxiliares de comunicação de ideias, não substituem a vivência do espaço, como também não permitem uma actualização interactiva e obrigam ao domínio de técnicas e equipamento de natureza gráfica.

Este trabalho propõe o recurso à modelação tridimensional como método de reconstrução do sítio, em módulo compatível com diferentes experimentações, e permitindo a análise do espaço à escala humana. Por sua vez, a utilização de descritores gráficos como meio de comunicação será um modo privilegiado de edição e divulgação de conhecimentos por todas as camadas sociais.

Para alcançar os objectivos propostos, estabeleceram-se as seguintes etapas:

- 1) Conversão do levantamento para um programa de modelação *user friendly* (3D Studio), precavendo o rigor científico dos dados;
- 2) Realização do modelo de terreno, e das construções nele existentes, a escala detalhada, com correcção local;
- 3) Simplificação das estruturas, acompanhadas da respectiva texturização de superfície, de modo a permitir uma mais rápida manipulação do modelo;

Deste modo, espera-se obter um modelo descritivo do existente que, sobre esses dados, permita operações de reconstrução em conformidade com os pareceres técnicos dos arqueólogos responsáveis. Para o efeito, propõem-se:

⁴ Uma hipótese de reconstrução refere-se a uma teoria (mais ou menos suportada pelos factos retirados do local e das diversas inferências realizadas sobre este) para o uso e forma arquitectónica de um determinado espaço.

1) Considerar o espaço arqueológico de Freiria por zonas – Celeiro, Lagares, Casa e Termas – e épocas definidas, da última ocupação para a primeira;

2) Modelar a terceira dimensão de acordo com os vestígios arqueológicos descobertos nas campanhas, tendo ainda em consideração as limitações dos sistemas construtivos e os utentes das estruturas;

3) Exportar os dados para um programa de realidade virtual que permita interagir com o espaço e avaliar efeitos da implementação de IA (Inteligência Artificial).

Por último, pretende-se tirar ilações sobre as potencialidades desta tecnologia como ferramenta de apoio à investigação científica.

2. Softwares CAD⁵, de modelação tridimensional e de realidade virtual existentes no presente

A computação gráfica surge como (mais) uma aplicação informática, de valor decorativo. A sua evolução, de modo a tornar-se uma disciplina autónoma, irá depender da evolução da capacidade de memória (armazenamento de dados) do equipamento associado.

Os primeiros programas de CAD e CAAD⁶ visavam, principalmente, a automatização da produção industrial: modelação/corte de peças baseadas em desenhos (2D), de modo a otimizar o tempo de produção em série. Estes programas, de natureza vectorial (ao invés dos programas de desenho *raster*), trabalham sobre uma base matemática matricial, em que cada ponto, linha e polígono neles desenhado, definem-se sob o formato de matriz, o que permite que a sua manipulação se obtenha de forma automática, através de operações matemáticas. Esta é a principal diferença para um *software* de desenho raster, mais semelhante com o processo tradicional de desenhar, onde a informação é guardada *pixel a pixel*, i.e. a 2D⁷).

A modelação tridimensional surge bastante precocemente, associada aos programas de natureza vectorial. No entanto, o modelo entendido pelo observador resultava de um conjunto de linhas definidoras do volume, sem a respectiva correspondência de massa. Foi necessário 'dar espessura' a essas formas, ou seja, que o próprio sistema os considerasse como sólidos, para depois poder efectuar operações a esses objectos – união, subtracção e intersecção – e, eventualmente, atribuir texturas às superfícies.

Esta evolução, que resultou do desenvolvimento dos programas e da capacidade dos equipamentos informáticos, ocorreu não apenas nos programas de computação gráfica como, também, nos produtos deles derivados, tais como nos jogos informáticos.

Actualmente, já é possível encontrar muitas semelhanças entre modelos virtuais e realidade, mas pode esperar-se ainda muito mais, em consequência das experiências que têm vindo a ser efectuadas.

⁵ *Computer Aided Design*

⁶ *Computer Aided Architectural Design*.

⁷ As vantagens e inconvenientes de cada sistema dependem da aplicação que se pretende dos desenhos. A dimensão dos sítios arqueológicos comparativamente ao detalhe do espólio, encontra melhor correspondência nos arquivos vectoriais.

2.1 Resenha das Origens da Modelação Gráfica

*Modelos 3D representam um objecto tridimensional utilizando um conjunto de pontos num espaço tridimensional, unidos por diversas entidades geométricas como triângulos, linhas, superfícies curvas, etc. (...) Os modelos 3D podem ser criados manualmente, recorrendo a algoritmos (modelação processual), ou através de um scan.*⁸

Pode afirmar-se que os gráficos para computador desenvolvem-se quase a par com os próprios computadores, conforme se passa a descrever⁹.

O primeiro software para desenho em ambiente informático foi igualmente o primeiro a utilizar hardware de interface específico. O Sketchpad™ foi criado em 1961 e possui alguns dos conceitos-base que ainda hoje são utilizados nos softwares de desenho e modelação. Os avanços de hardware que permitissem maior capacidade de processamento e maior qualidade de visualização estiveram muito ligados a este software, e a outros subsequentes, com reflexos em diferentes campos, desde a indústria automóvel e aeronáutica, até à (já então crescente) indústria de jogos.

Ivan Sutherland, criador do Sketchpad™ (e do primeiro capacete virtual), e Dave Evans, investigador da Universidade de Berkeley, juntaram-se para criar o Departamento de Computação da Universidade de Utah, principal pólo de investigação sobre gráficos de computador na época. Deste pólo saíram alguns dos principais avanços na tecnologia de visualização 3D, bem como algumas das grandes mentes informáticas do



Imagem 5: O “Utah Teapot”, um dos modelos 3D mais conhecidos, criado na Universidade de Utah.

nosso tempo. Foi nestas instalações que se desenvolveram os primeiros algoritmos para a visualização de formas geométricas tridimensionais numa matriz bidimensional, bem como os algoritmos de oclusão de geometria que definem se um determinado ponto no espaço se encontra visível ou não, dependendo do ângulo de visão do observador.

A década de 70 marcou o início do uso de animações tridimensionais no pequeno e no grande ecrã. Em 1971, é criada a Atari, a primeira grande casa de jogos¹⁰, e poucos anos depois George Lucas cria a LucasFilm, a empresa responsável pelas cenas CGI usadas nos seus filmes.

⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling (12-07-2008)

⁹ Para mais informações, consulte-se [02].

¹⁰ Empresa dedicada à criação de software lúdico, i.e. jogos para computadores

Entretanto, a tecnologia de modelação 3D dá outro dos seus principais passos, com a introdução do *Gourad Shading*¹¹, uma técnica de sombreado das faces de um modelo, que permite criar a ilusão de curvatura com recurso a poucos polígonos, ainda hoje utilizada nos modelos tridimensionais. Mais tarde, em 1974, Ed Catmull, doutorado na Universidade de Utah, dá mais um passo marcante com a invenção do *Texture Mapping*, o método de aplicar texturas detalhadas às faces de objectos tridimensionais, adicionando detalhe e realismo. Desenvolve, ainda, para a mesma tese o uso do *Z-Buffer*, um mapa de profundidade que define a distância a que cada elemento se encontra, para decidir quais são os elementos visíveis numa cena, entre outras aplicações.

No mesmo ano, Bui-Tong (aluno da Utah), desenvolveu o método de sombreado *Phong*, mais realista que o Gourad, ainda que mais pesado. Ambas as técnicas de sombreado só muito recentemente começaram a ser substituídas por outras técnicas, mais foto-realistas.

O pólo de investigação de Utah acabou por ser transferido para Nova Iorque (NYIT), numa altura em que muitos dos seus alunos, entretanto já com experiência em outras empresas, tais como a Hewlett Packard, começaram uma investigação paralela sobre os computadores pessoais. Steve Wozniak foi um desses alunos, e juntamente com o seu amigo Steve Jobs, criou o primeiro Apple em 1975. No mesmo ano, William Gates desenvolvia uma versão da linguagem BASIC para o Altair 8800, e cinco anos depois era contactado pela IBM para desenvolver um sistema operativo para os seus computadores. O DOS foi um dos passos marcantes na indústria do computador pessoal, e fez de Bill Gates a referência que é hoje.

O pólo de NYIT desenvolveu pesquisa durante cinco anos e, no fim, Ed Catmull e alguns dos seus colegas foram contratados, em 1979, por George Lucas para integrarem a LucasFilm na rodagem do filme *“Star Wars: O Império Contra-Ataca”*.

Entretanto, deu-se mais um avanço na tecnologia de modelação com o *Bump Mapping*, criado por James Blinn que, mais tarde, viria também a integrar o NYIT. O *bump mapping* usa mapas monocromáticos para determinar pequenas alterações na superfície de uma face através da manipulação da sombra, não requerendo a subdivisão da geometria.

A conjugação de *Bump maps* e *texture maps*, isto é, a aplicação de um mapa de textura e um mapa de *bump* a um dado objecto, explorando a conjugação do recurso a descritores gráficos (imagens) com simulação de sombras, é a base para a maioria dos modelos actuais, conferindo-lhes grande parte do realismo que possuem.

Em 1981, Loren Carpenter, que tinha sido convidado a trabalhar na LucasFilm, desenhou o primeiro motor de render denominado REYES (Renders Everything You Ever Saw). Um motor de

¹¹ Ver anexo A1.3

render é um software que traduz uma cena tridimensional para um mapa de bits bidimensional, aplicando no processo diversos elementos de foto-realismo, tais como textura, luz e sombra (directa e indirecta), reflexos, etc. O REYES evoluiu para o Renderman, a referência dos motores de render, e ainda hoje é utilizado na Pixar Animation, onde Carpenter trabalha.

Na mesma altura, Turner Whitted publicou uma tese sobre uma técnica de renderização para superfícies reflectivas, hoje conhecida como Ray Tracing. O Ray Tracing simula a utilização de raios de luz que são enviados para os objectos, reflectindo neles até regressarem à câmara, embaterem numa superfície não reflectiva, ou até saírem de cena, e é utilizado nos principais motores de render em uso actualmente (tais como V-Ray, Mental Ray, Maxwell, entre outros).



Imagem 6: Render de um dragão chinês em vidro, usando o Maxwell® Render ©Next Limit Technologies

O Ray tracing é uma técnica muito pesada para os processadores, e muitos dos avanços feitos a nível de hardware feitos entretanto existiram com o intuito de diminuir o tempo de processamento destes cálculos.

O REYES foi utilizado numa das primeiras cenas totalmente produzidas em computador na história do cinema, no filme *“Star Trek – The Wrath of Khan”*. Até então, as cenas que utilizavam gráficos gerados por computador (CGI, *Computer Generated Images*) eram escassas e de curta duração, pois não possuíam qualidade suficiente para marcarem presença num ecrã de cinema.

Até 1984, a renderização de um objecto era feita utilizando somente luz directa. Todas as superfícies que não eram iluminadas directamente ficavam pretas na imagem. A solução passava por criar focos de luz auxiliares para simular a luz indirecta. Nesse ano, membros da Cornell University desenvolveram um método denominado de Radiosity, que utilizava algoritmos de simulação de dispersão de calor para parecer a troca de energia entre superfícies 3D, simulando pela primeira vez de forma realista a luz indirecta. Actualmente, este método ainda é utilizado em projectos onde existe limitação de tempo e recursos para utilizar processos alternativos de iluminação, mais recentes, tais como a iluminação por fotões.

Até finais da década de 80, o desenvolvimento fez-se principalmente nos grandes ecrãs, onde a Industrial Light & Magic de George Lucas e a Pixar de Ed Catmull continuaram a desenvolver os seus softwares. Ao mesmo tempo, outras *Software Houses*¹² começaram a

¹² *Softwares Houses*: designam-se assim as empresas dedicadas à criação de software.

desenvolver software de modelação tridimensional que pudesse ser usado nos computadores pessoais, que também se desenvolviam a grande velocidade.

Em 1990, a Autodesk lança a sua primeira versão do 3D Studio™. Desenvolvido pela Discreet durante grande parte dos anos 90 até, recentemente, ter voltado de novo para a Autodesk, o 3D Studio™ é a referência da modelação tridimensional, e o software escolhido para o trabalho prático desenvolvido para esta dissertação.

A década de 90 foi prolífera em aplicações bem sucedidas dos CGI ao cinema, quer em algumas cenas (“Exterminador Implacável 2” ou “Parque Jurássico”), quer em filmes completamente animados, que finalmente atingiam o grande público com “Toy Story”, da Pixar™.

Desde então, a indústria cinematográfica aposta fortemente em CGI, havendo inclusive apostas em filmes fotorrealistas totalmente animados. A experiência com maior sucesso até hoje é o filme “Beowulf”¹³.

Os principais desenvolvimentos nos últimos anos, relativamente à modelação tridimensional, têm-se verificado na optimização dos processos de modelação e renderização, permitindo trabalhar com um número de polígonos cada vez maior e criar cenas mais ricas. Os novos motores de render (Mental Ray®, V-Ray®, Maxwell®) possuem ferramentas que permitem criar cenas verdadeiramente foto-realistas. Esta evolução é acompanhada de perto por um aumento exponencial da capacidade de processamento dos computadores actuais.

Modelos de realidade virtual – Referências históricas

Em 1995, o foco de investigação da tecnologia de gráficos 3D mudou. Com o lançamento da primeira consola de jogos com um chip gráfico concebido para gerar gráficos tridimensionais em tempo real - a PlayStation -, a atenção desviava-se da animação pré-renderizada para uma nova geração de tecnologia, onde a animação tridimensional é controlada não por um animador, mas pelo próprio utilizador.

Um ano depois, os primeiros chips gráficos para PC (*Personal Computer*) chegaram ao mercado, destinados a correr os jogos mais exigentes na altura, ainda que, não houvesse nenhum jogo, nem software, que utilizasse estas novas funcionalidades. Mesmo o jogo mais exigente – o “Quake” da Id¹⁴ – não obrigava ao uso de placa gráfica. O passo decisivo na evolução das placas gráficas deu-se com a comercialização da 3DFX Voodoo em 1997. Este foi também o ano do lançamento da sequência de “Quake”. O “Quake 2” proporcionava uma experiência gráfica até

¹³ [Http://www.beowulfmovie.com/](http://www.beowulfmovie.com/) (02-09-2008).

¹⁴ [Http://www.idsoftware.com/](http://www.idsoftware.com/) (08-09-2008)

então nunca vista num jogo, e foi o primeiro jogo a obrigar o utilizador a possuir um chip gráfico no seu computador.

Enquanto que a evolução no CGI do cinema é lenta (mas sólida, com exemplos como “Titanic¹⁵”, onde o uso de CGI é intensivo, mas tão realista que passa despercebido), a evolução nos chips gráficos dá-se a um ritmo frenético, face a um vasto novo mercado para software 3D que se abria. Em 1998, o mercado dividia-se entre a Nvidia, com o seu chip TnT, e a 3DFX com o Voodoo2™. Esta rivalidade manteve-se durante os anos seguintes, alimentando a evolução rápida dos seus hardwares. No ano 2000, a competição termina, quando a Nvidia compra a 3DFX após o seu chip, denominado de GeForce™, ter dominado o mercado. O GeForce™ foi o primeiro GPU a ser comercializado em larga escala. Ao contrário dos chips gráficos anteriores, que simplesmente auxiliavam o CPU (Central Processing Unit) do PC a gerir a informação 3D, os GPU (Graphics Processing Unit) incluíam o seu próprio processador, passando a ser eles a gerir toda a informação gráfica, libertando o CPU para as restantes tarefas. A GeForce™ foi também a primeira placa gráfica a incluir hardware próprio para lidar com instruções específicas, como iluminação e reflexos.

Actualmente, o mercado divide-se entre a NVidia e a ATI (entretanto comprada pela AMD)¹⁶.

O grande mercado para aplicações 3D em tempo real tem sido o dos jogos. Só muito recentemente outros softwares começaram a utilizar as potencialidades oferecidas pelos GPU. Até então, apenas os softwares de CAD tiravam algum benefício, mas à custa de chips gráficos criados especificamente para lidar com trabalho vectorial (como os chips Quadro™ da NVidia e os FireGL™ da ATI), mas são tecnologias díspares, e com um preço de investimento muito superior. O novo SO (Sistema Operativo) da Microsoft, o Vista™, bem como as novas versões dos softwares de modelação tridimensional já tiram benefícios da utilização de chips gráficos, mas nunca em todo o seu potencial. Nesse aspecto, as *Software Houses* especializadas em jogos estão muito mais avançadas na programação de software para criação de conteúdo tridimensional. Elas desenvolveram um tipo de software, denominado de motor de jogo (*game engine*¹⁷), que serve de base para a criação de jogos, e outro conteúdo 3D. Ao separar o motor de jogo do conteúdo, torna-se possível que o mesmo motor seja usado para inúmeras aplicações. O caso mais notável será o Id Tech3™, da Id, criado originalmente para o jogo “Quake III Arena”, acabando por ser usado em mais de uma dúzia de títulos diferentes. Os motores de jogo mais recentes gerem não

¹⁵ [Http://www.titanicmovie.com/](http://www.titanicmovie.com/) (08-08-2008)

¹⁶ [Http://en.wikipedia.org/wiki/Graphics_processing_unit](http://en.wikipedia.org/wiki/Graphics_processing_unit) (08-09-2008)

¹⁷ [Http://en.wikipedia.org/wiki/Game_engine](http://en.wikipedia.org/wiki/Game_engine) (15-07-2008)

só os gráficos tridimensionais, como também a componente áudio, iluminação, física, inteligência artificial, entre outros. O nível de qualidade gráfica atingido pelos novos motores de jogo é tal que consegue rivalizar com a animação pré-renderizada, oferecendo uma experiência foto-realista em tempo real.



Imagem 7: Imagens de referência do motor de jogo Cryengine2™ da Crytek, que revelam o nível de realismo que se consegue obter. - ©Crytek

2.2 Tecnologia existente

A análise do estado actual da aplicação das novas tecnologias na arqueologia e na investigação arqueológica apresentada nesta dissertação:

- Tecnologias de modelação tridimensional
- Tecnologias de visualização em tempo real

Modelação tridimensional como ferramenta de estudo e de análise comparativa de hipóteses de reconstrução.

O uso de modelações tridimensionais para representação e visualização de ambientes antigos, ou de reconstruções de edifícios e objectos, tem sido uma prática cada vez mais comum no meio arqueológico. A tecnologia existente hoje em dia permite criar representações foto-realistas, bem como animações, objectos singulares, edifícios diversos ou mesmo cidades inteiras, sem os óbvios custos de uma reconstrução física. Estas representações são largamente utilizadas em apresentações, documentários, e existem sob as mais diversas formas de material didáctico. A necessidade de criar meios de interactividade entre o objecto e o público levam à proliferação deste tipo de média, e qualquer museu hoje em dia possui o máximo de equipamento didáctico e interactivo ao seu dispor.

Com o desenvolvimento do conceito de Cultural Heritage (Herança Cultural) e World Heritage¹⁸ (Herança Mundial), veio uma crescente procura por novos meios de levantamento de espaços, e da sua consequente exposição.

Os trabalhos de levantamento e de modelação são feitos principalmente por equipas de investigação próprias, ou adjudicados a empresas especializadas, como a Digitale Archäologie¹⁹, ou a Virtual Heritage²⁰.

Actualmente, as tecnologias de modelação aplicadas à arqueologia incluem um novo campo, denominado de 3D scanning. Este método de levantamento através de um scanner laser²¹ ou, mais recentemente, de um scanner de luz branca²², tem a vantagem de fazer o levantamento em formato digital e com toda a informação tridimensional. Isto reduz o tempo de modelação necessário (embora a gestão de uma nuvem de pontos também seja um trabalho laborioso), bem como o erro associado à modelação manual.

¹⁸ Um dos pontos importantes no desenvolvimento deste conceito foi a World Heritage Convention promovida pela UNESCO. <http://whc.unesco.org/en/convention/> (02-09-2008)

¹⁹ <http://www.digital-archaeology.com/> (27-06-2008)

²⁰ <http://www.red-head.co.uk/virtualHeritage/index.html> (15-08-2008)

²¹ <http://www.atm3d.com>. Esta equipa francesa especializou-se em levantamentos digitais com recurso a scanners laser.

²² MCPHERRON, Shannon; GERNAT, Tim & HUBLIN, Jean Jacques: *Structured light scanning for high-resolution documentation of in situ archaeological finds*. <http://www.sciencedirect.com> (25-07-2008)

Aplicações de software de visualização em tempo real. Realidade Virtual e Realidade Aumentada.

Infelizmente, o uso de tecnologias de realidade virtual não está ainda difundido no meio arqueológico. Existem já algumas aplicações de motores de realidade virtual (VRML) em modelos arqueológicos, mas são experimentais e de fraca qualidade. Na verdade, quando comparados com o potencial gráfico dos motores de jogo, não existe ainda nenhum software profissional capaz de recriar ambientes e permitir uma experiência de realidade virtual de qualidade.

As tecnologias existentes de momento podem agrupar-se em três categorias diferentes, consoante a sua aplicação e método de interacção:

Interacção Virtual: Corresponde às aplicações mais correntes, como os jogos electrónicos, aplicações online, etc. A interacção é feita através de um teclado/joystick, e é visualizada num ecrã bidimensional.

Realidade Virtual²³: Corresponde a técnicas mais avançadas de simulação, onde a interacção ocorre através de um capacete e luvas que determinam o nosso ângulo de visão e o ponto de contacto. As principais aplicações correntes desta tecnologia são militares e médicas, se bem que, teoricamente, é possível carregar qualquer modelo tridimensional para um simulador deste género.

Realidade Aumentada²⁴: É uma técnica recente, ainda em fase experimental, que junta o real e o virtual, permitindo uma experiência conjunta, através de um monitor. Funciona quer através de uma câmara que capta imagens reais específicas (Optical Tag – Referência óptica), usando-as para referenciar os modelos virtuais; quer através de GPS, usando as coordenadas recebidas para fazer a referência.

A nível de interacção em tempo real, sem dúvida que são os motores de jogo os mais qualificados para proporcionar experiências de qualidade. Actualmente já existem alguns casos de aplicações profissionais destes motores, sendo o mais bem sucedido o da empresa francesa IMAGTP²⁵. Esta empresa de arquitectura e urbanismo adquiriu recentemente uma licença comercial do motor de jogo CryEngine2™, e os resultados obtidos até ao momento revelam um futuro muito promissor para este segmento de mercado.

²³ http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality (14-09-2008)

²⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality (15-09-2008)

²⁵ <http://www.imagtp.com/> (24-07-2008)

Trabalhos e obras de referência

Alarcão, Jorge de, “Introdução ao Estudo da Casa Romana”, Instituto de Arqueologia da FLC, Coimbra, 1985.

Correspondendo a um dos primeiros estudos que aborda a reconstrução romana, tem como vantagem o referir-se ao contexto nacional. Não obstante o elevado nível de abordagem científica do tema, trata-se de um estudo ultrapassado e em formato analógico.

Bédoyère, Guy de la, “The Buildings of Roman Britain”, London, 1991 (ISBN 0713463112)

A ocupação romana das ilhas Britânicas foi apenas parcial e deu-se no final do Império, correspondendo ao período de utilização da *villa* de Freiria. Para além da sobreposição temporal, o recurso a esta publicação tem como vantagem a descrição de estruturas invulgarmente bem conservadas que podem vir a ser utilizadas como modelos comparativos na avaliação funcional do espaço.

Gros, Pierre, “L’Architecture Romaine, 2. Maisons, palais, villas et tombeaux”, Les Manuels d’Art et d’Archéologie Antique, ed. A. et J. Picard, Paris, 2001 (ISBN 2-7084-0533-0).

Esta publicação divide-se em dois volumes. No primeiro, aborda-se o tema da paisagem urbana, desde os três últimos séculos da República até aos primeiros dois do Império. O segundo volume descreve, para a mesma época, a análise do que se designa por ‘vida privada’, que se afigura, em simultâneo, mais abrangente e restrita do que as sociedades contemporâneas. É um documento que retrata o quotidiano de uma realidade com maior afinidade cultural.

Debevec, Paul. “Making "The Parthenon", 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage, Pisa, Italy, December 2005.

“The Parthenon” foi uma curta metragem feita em animação virtual, que reúne virtualmente o Parténon e suas esculturas decorativas, separadas desde o início do século XIX. Para a modelação de ambos recorreu-se a diversas técnicas, incluindo *laser scanning*, *structured light scanning*, *photometric stereo* e *inverse global illumination*.

<http://www.debevec.org/Parthenon/debevec-vast2005-parthenon.pdf>

Rodrigues, Magalhães, Moura e Chalmers. “Geração Automática de Estruturas Romanas”, Congresso CAAP 2007

Este trabalho, apresentado no CAAP de 2007, pretendeu criar um sistema que criasse modelos tridimensionais de estruturas romanas de forma procedimental, com base na codificação dos conceitos de Vitruvio. O trabalho expõe apenas a metodologia, não mostrando uma validação prática

A. Gonçalves, A. Mendes. *The rebirth of a Roman Forum - The case study of the Flavian Forum of Conimbriga*, in Proc. of the CAA2003 - Enter the Past-The E-way into the four Dimensions of Cultural Heritage, Viena (Austria), April 2003

Este trabalho, incluído numa tese de mestrado, baseou-se na criação de um modelo virtual do fórum flaviano de Conímbriga, com base nos dados do Museu Monográfico de Conímbriga. Foi usado um motor de VRML para a divulgação e interacção com o modelo. Apesar de ser bastante bom para a altura, a falta de qualidade do motor não permite uma análise mais detalhada do modelo, e não possui nenhuma funcionalidade extra.

<http://ism.dei.uc.pt/forum>

Graham, Shawn - *Archaeology in, and archaeology of, Second Life*

Um blog dedicado ao trabalho de Shawn Graham, um arqueólogo americano, que se propõe fazer a investigação arqueológica de mundos virtuais, neste caso o mundo de Second Life™

<http://electricarchaeologist.wordpress.com/2008/06/30/archaeology-in-and-archaeology-of-second-life/>

Thierry Janin, Michel Py – *Lattes Languedoc & the Southern Gaules*

Um site interactivo sobre a cidade romana de Lattes, em França. O site mostra algumas das potencialidades base de uma apresentação online, onde a interactividade é chave. Conta ainda com uma reconstituição tridimensional da cidade.

<http://www.lattara.culture.fr/index.php>

Hrvoje Benko, Edward W. Ishak, Steven Feiner - Collaborative Mixed Reality Visualization of an Archaeological Excavation

Esta tese reporta a investigação feita sobre as aplicações de Realidade Aumentada à Arqueologia, através de um mecanismo denominado VITA (*Visual Interaction Tool for Archaeology*), uma ferramenta de visualização de objectos e escavações

http://www.edwardishak.com/publications/ismar2004_benko.pdf

3. Relatório do Trabalho Prático

3.1.Criação dos modelos tridimensionais com base no modelo CAD.

O levantamento arqueológico, tal como foi referido anteriormente, foi fornecido e já se encontrava em execução há vários anos. Assim, o trabalho de reconstituição baseia-se em dados pré-existentes, ainda que esta metodologia possa muito bem ser aplicada a um levantamento em fase de trabalho de campo.

3.1.1.Recolha de Informação. Dados Bidimensionais (e informação altimétrica) em formato CAD

No início do trabalho foi possível recolher diferentes tipos de dados, em três principais formatos:

- 1 - Levantamento topográfico;
- 2 - Levantamento arqueológico;
- 3 - Levantamento fotográfico.

Levantamento topográfico

Foram fornecidos dois levantamentos topográficos distintos. Um criado com base nas cartas do exército (Esc: 1: 25 000); e outro, realizado a pedido dos Serviços da Câmara, a uma escala mais detalhada (Esc: 1: 1000).

Ambos os levantamentos já estavam em formato digital, o que permitiu compará-los para prevenir grandes discrepâncias, quer entre si quer com o existente. Decidiu-se utilizar o levantamento mais detalhado para fazer o modelo tridimensional do terreno, por permitir maior exactidão e pormenor. O modelo de terreno será criado directamente no software de modelação tridimensional, usando as ferramentas próprias. No entanto, houve dois elementos que criaram um impedimento ao correcto desenrolar do trabalho, obrigando a um ajuste extra ao ficheiro: A necessidade de optimização de linhas, e a remoção de informação não essencial.

A maioria dos *softwares* que traduzem cotas altimétricas e curvas de nível num modelo tridimensional necessitam que cada curva seja apenas uma única entidade, e que esta não possua pontos demasiado próximos uns dos outros, para evitar excesso de triangulação. É também aconselhado (ainda que não obrigatório) que cada curva possua um número semelhante de pontos, para que a triangulação seja a mais homogénea possível.

Assim, foi necessário refazer as curvas de nível do levantamento topográfico, transformando-as em *polylines* únicas, de espaçamento semelhante.

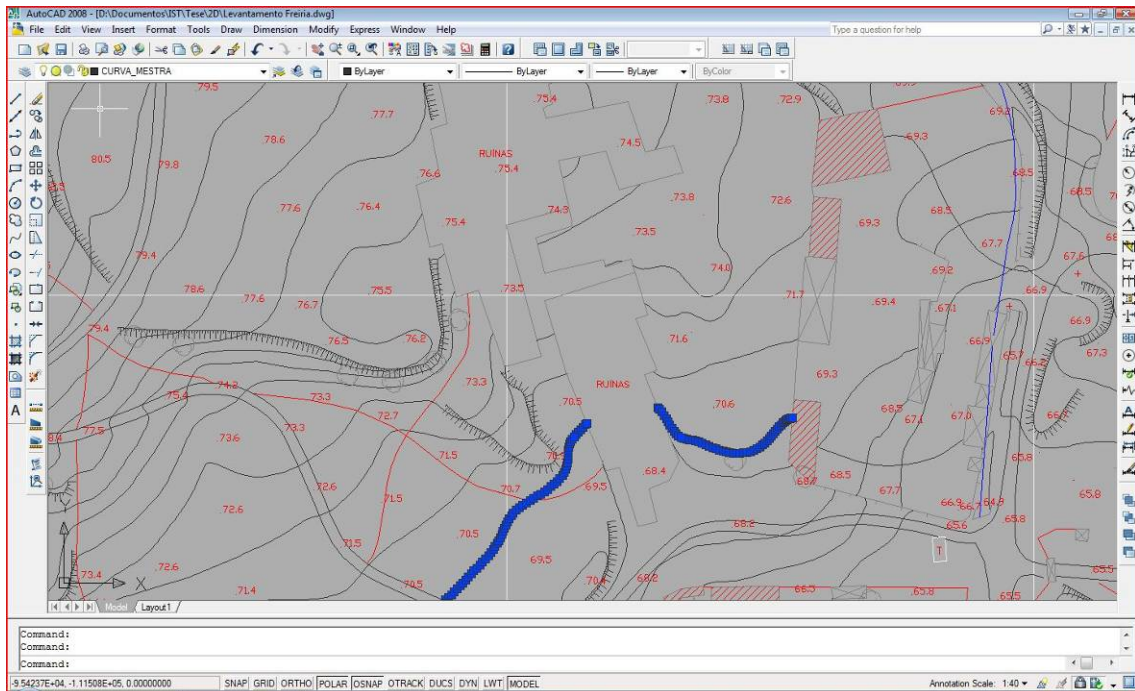


Imagem 8: Levantamento topográfico. A linha seleccionada mostra o grande número de pontos que constituíam as curvas de nível

Também se procedeu à remoção de *layers* não necessárias para o trabalho, sendo apenas as curvas de nível importadas para o ficheiro compilado.

Um último ajuste foi efectuado numa fase subsequente da modelação, e refere-se ao facto de o levantamento topográfico do terreno ter sido feito antes de as escavações estarem estabilizadas, pelo que parte das estruturas se encontrava abaixo da superfície do modelo.

O modelo ideal terá de ter em consideração as áreas de terreno entretanto escavadas.

Levantamento Arqueológico

O levantamento arqueológico já tinha sido convertido para formato digital quando foi disponibilizado.

O levantamento consistia em dois ficheiros diferentes. O primeiro, resultante do levantamento planimétrico e altimétrico do local, à escala 1: 20 e registado em papel milimétrico, com grande detalhe de todos os elementos. O segundo possuía o mesmo tipo de informação mas mais resumida, de grandes troços de estruturas de toda a escavação, com a indicação geral do traçado dos muros, do tipo de pavimento encontrado e do uso possível afecto a cada área.

O primeiro ficheiro de levantamento foi importante porque fornecia também as cotas georreferenciadas de cada pedra, o que permitia aceder automaticamente à altimetria de cada muro. Podia-se, ainda, recorrer ao levantamento fotográfico para eventuais correcções e

situações dúbias. Contudo, este levantamento não correspondia à totalidade da área presentemente escavada.

Por outro lado, o detalhe da informação original levou a que a conversão ao formato digital tornasse estes elementos muito complexos e detalhados. Ou seja, cada uma das *polylines* que definia cada elemento era composta por um número excessivo de pontos, o que, apesar de ser um procedimento adequado em termos de correcção de levantamento, era desnecessário para o nível de detalhe que se pretendia com o modelo tridimensional. Fundamentalmente por duas razões:

- Como o modelo pretende demonstrar hipóteses de reconstrução, qualquer componente do sistema construtivo utilizado (muitas das pedras encontradas) ficariam cobertas por uma camada de revestimento (logo invisíveis);

- Um excesso de detalhe em duas dimensões necessitaria de um igual nível de pormenor na terceira dimensão, o que, para além de tornar o trabalho excessivo (as pedras teriam de ser modeladas individualmente), não teria correspondência uma vez que, em arqueologia, a componente vertical tem sempre uma elevada percentagem de incerteza.

Por outro lado, um excesso de vértices na importação para o *software* de modelação tridimensional resulta num excesso de polígonos, o que traz uma redução de *performance* do *software*.

Assim, como o objectivo era apenas usar a informação altimétrica para determinar alturas, acrescentando algum detalhe ao modelo tridimensional, optou-se por fazer uma limpeza e optimização do detalhe da informação, de dois modos:

- Simplificação da geometria – Criação de *polylines* semelhantes às originais, mas com um número inferior de pontos.

- Remoção de elementos menores (inferiores a cinco centímetros em T.N.) – Os elementos mais pequenos, que não traziam real valor para a reconstrução virtual, foram eliminados do ficheiro compilado.

Deste modo, e sem uma perda relevante de informação, conseguiu-se otimizar o desempenho do modelo, efectuando-se uma redução de 30% do número de elementos (cada pedra é definida por uma polyline fechada), de 2.592 para 1.927; e de 70% do número de vértices, de 36.046 para 11.432.

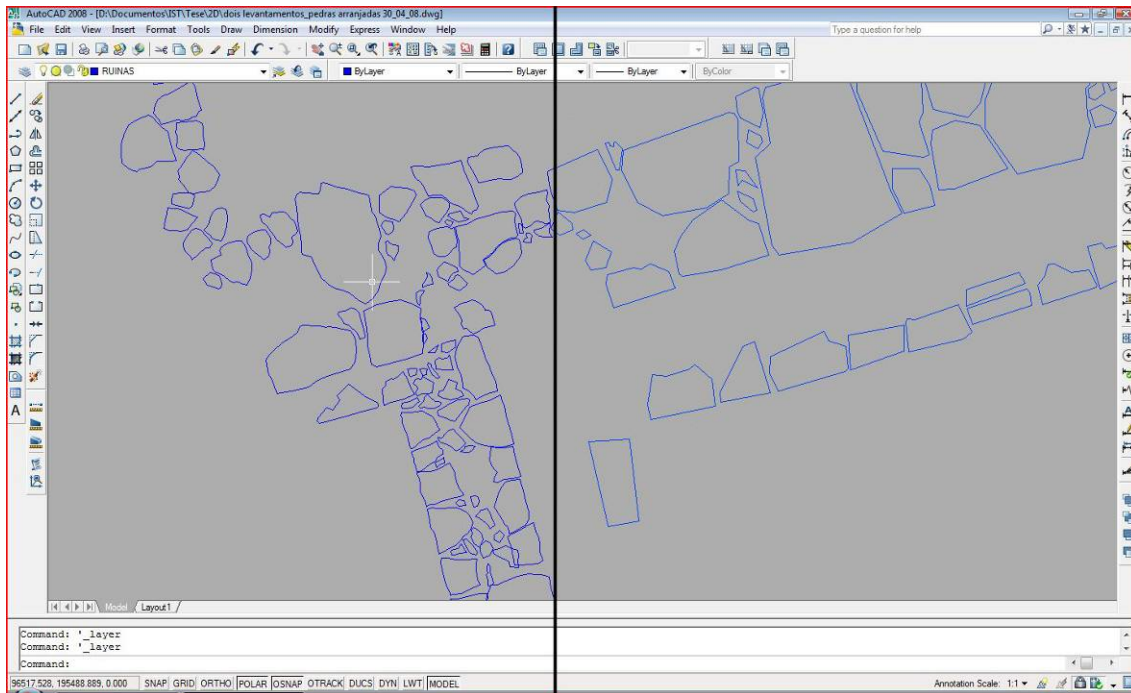


Imagem 9: Ficheiro original (esquerda) e otimizado (direita)

O segundo ficheiro do levantamento arqueológico, mais geral, também foi otimizado, procedendo-se à remoção de *layers* não relevantes para a modelação, sendo apenas importada para o ficheiro compilado a informação referente a muros e outras estruturas, tais como aquedutos. Este levantamento possuía a vantagem de estar mais completo do que o primeiro, permitindo que o modelo tridimensional abarcasse uma maior expansão de terreno.

Ambos os ficheiros possuíam as quadrículas que tinham sido usadas na escavação. Estas quadrículas foram também importadas quer para o ficheiro compilado, quer posteriormente para o modelo tridimensional

Com este tratamento da informação (remoção de excessos), o processo concluiu-se com a compilação de todos os dados num ficheiro único.

Assim, o ficheiro CAD compilado era composto pelas seguintes *layers*:

- Levantamento topográfico;
- Levantamento arqueológico (planimétrico e altimétrico), com a informação à escala 1:20 (pedra a pedra);

- Levantamento arqueológico geral (estrutural), com a informação à escala 1: 100 (contornos dos muros);
- Levantamento arqueológico geral (não-estrutural), com a informação à escala 1: 100 (aquedutos e outros elementos);
- Excerto da quadrícula de 2x2m utilizada no trabalho de campo.

Após a preparação dos dados e a sua fusão num ficheiro único, foi necessário georreferenciar esses elementos à mesma coordenada (ponto 0,0), uma vez que alguns dos softwares de modelação tridimensional são programados para gerir informação referenciada a um ponto central da intersecção de três eixos (ponto 0,0,0) interno e próprio do sistema. Isto acontece devido à sua programação inerente, pois foram desenhados para modelar objectos isolados. No entanto, a sua reposição à cota inicial é muito simples, porque todo o levantamento está referenciado a uma quadrícula por sua vez georreferenciada ao sistema geodésico nacional, bastando, para isso, manter a referência original de um ponto (normalmente o ponto central ou um dos cantos).

Assim, optou-se por manter o ficheiro compilado como original de referência, e foram criados, como cópias, dois novos ficheiros, um com os dados na localização original e já transpostos para a coordenada (0,0); e um outro apenas com a informação já transposta (estruturas, potenciais edifícios) e pronta a importar.

Levantamento fotográfico

O levantamento fornecido consiste na colecção de fotografias de registo das escavações e sondagens, da responsabilidade do próprio arqueólogo responsável, também fotógrafo profissional, Dr. Guilherme Cardoso; foram igualmente disponibilizadas algumas fotos aéreas do local, efectuadas quer pela F. A. - Força Aérea (fotos perpendiculares), quer por voos particulares (fotos oblíquas), fornecidas pelo IPCC - Instituto Português de Cartografia e Cadastro.



Imagem 10: Foto aérea de Freiria

As fotos são extremamente úteis para um trabalho desta natureza, pois permitem aferir pormenores relativos ao modelo que não são passíveis de discernir quer no levantamento topográfico, quer no levantamento arqueológico, a nível de geometria, localização no espaço e textura.

O primeiro passo na utilização desta colecção consistiu na digitalização de todas as fotos e subsequente catalogação. Foi-lhes atribuída uma referência e o local onde foi tirada, bem como o ângulo em que foi tirada, e foram apontados num registo gráfico comum, para facilitar o seu acesso futuro.

Este levantamento permite também definir as características dos materiais construtivos e, no caso em que as fotografias são relativamente perpendiculares a uma superfície, é possível extrapolar uma textura fidedigna para utilização no modelo tridimensional.

Com toda a informação devidamente compilada, o passo seguinte foi a importação dos dados bidimensionais no *software* de modelação tridimensional.

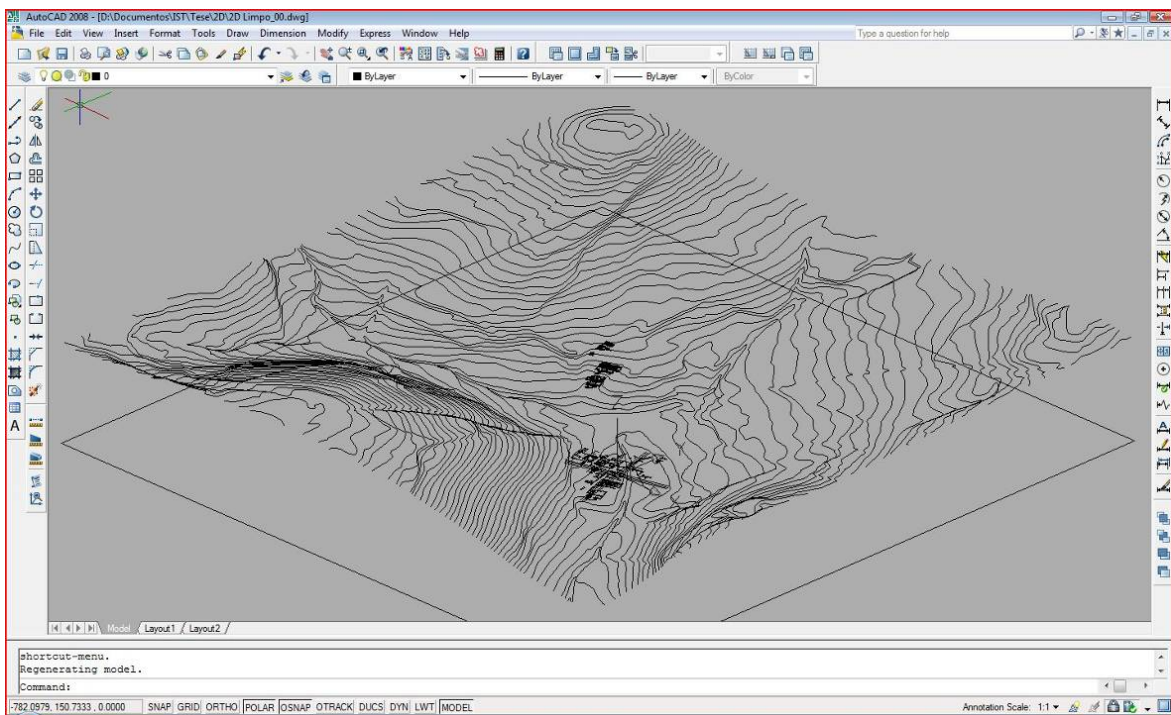


Imagem 11: Ficheiro DWG pronto a importar

3.1.2. Modelação Tridimensional

De modo a permitir diferentes hipóteses de reconstrução, em conformidade com as descobertas que, entretanto, venham a efectuar-se, decidiu-se que o modelo tridimensional iria representar, em camadas separadas, o seu estado actual, ou seja, as ruínas tal como existem hoje em dia, e as diferentes inferências que venham a equacionar-se para aquele espaço.

O software utilizado, Autodesk™ 3ds Max 2008, foi escolhido por uma questão de disponibilidade/acessibilidade e por não ser necessária formação extra. No entanto, e dado que a renderização do modelo não é obrigatória, é possível recorrer a qualquer outro software com as mesmas características, inclusive software gratuito como o Blender™²⁶.

Preparação do ficheiro de trabalho

Antes de se proceder à importação, foi necessário alterar o sistema de unidades do software. Muitas vezes, os novos ficheiros são criados com o sistema imperial. A importação de informação criada em sistema métrico para um modelo imperial leva à corrupção de todas as medidas, o que invalidaria qualquer simulação mais realista.

Para além de alterar o sistema de unidades para métrico, foi também necessário alterar a escala das unidades do software. O software de modelação tridimensional não funciona directamente em unidades métricas ou imperial, mas baseia-se em unidades genéricas. Desta forma, é também necessário referir a quantas unidades métricas (metros, decímetros, etc.) corresponde uma unidade (u = unit). Este valor é inconsequente se o trabalho for apenas para se realizar no software em questão, mas é essencial quando se pretende exportar o modelo para um software de visualização tridimensional, como um motor de jogo. No caso específico deste trabalho, o motor de jogo para o qual se pretende exportar o modelo, o Gamebryo, possui uma escala de conversão de 1u:0,014 m, ou seja, cada unidade corresponde a 1,4 cm reais. Este valor deve ser inserido no software antes de se proceder à importação.

²⁶ <http://www.blender.org/> (12-07-2008)

Com o sistema de unidades definido, procedeu-se à importação do ficheiro em formato DWG. Não foi necessário alterar as pré-definições, bastando salvaguardar que a importação é feita por *layers*, ou seja, que os objectos ficam agrupados por *layers*. Isto para facilitar o manuseamento da informação e para impedir que o ficheiro fique muito pesado (o que aconteceria se a importação fosse feita com todos os objectos separados).

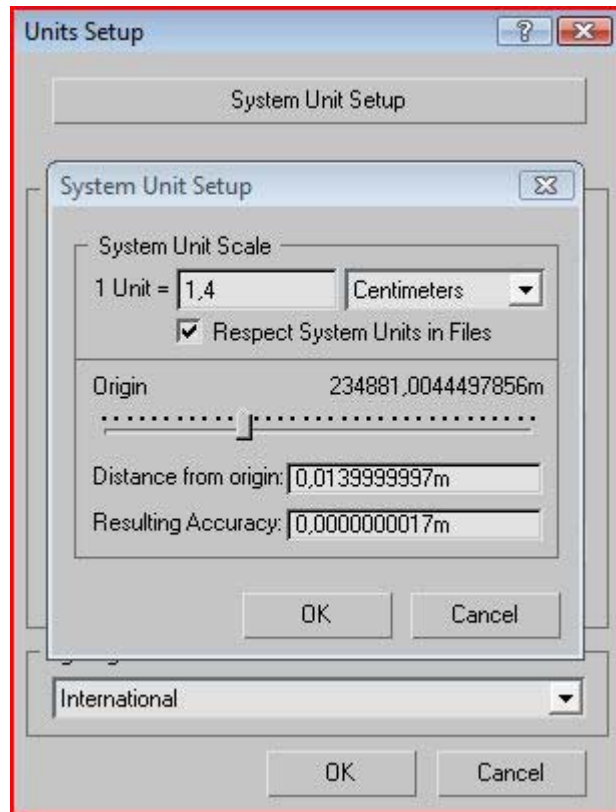


Imagem 12: Menu de definição de unidades de sistema

Criação do modelo de terreno

O primeiro objecto a ser modelado foi o terreno. O objectivo era criar uma malha de terreno que simulasse de forma fidedigna o real e que permitisse determinar facilmente a posição de qualquer elemento, quer já escavado, quer a descobrir em escavações futuras. Tornou-se assim necessário replicar, de alguma forma, a grelha usada aquando das escavações iniciais.

O modelo tridimensional inicial do terreno foi criado usando uma ferramenta própria do software, denominada *Terrain*. O algoritmo permite converter linhas tridimensionais em *mesh* (superfície tridimensional composta por vértices, linhas e faces). Basicamente, cria faces triangulares unindo os diversos pontos que formam as diferentes linhas. No entanto, o sucesso deste método depende, em grande parte, da forma como as linhas originais são desenhadas e do número de pontos que as formam. Também não permite alterações simples ao terreno, dado que os vértices se encontram dispostos de forma irregular.

Para contornar esta situação e, ao mesmo tempo, adicionar ao modelo do terreno a informação das grelhas de escavação, utilizou-se uma abordagem diferente.

Após a criação do modelo original, foi criado um plano composto por faces quadrangulares com 2 metros de lado. Deste modo, foi possível alinhar o plano com a grelha que tinha sido importada para o software, ficando assim com um plano bidimensional do terreno, já adaptado às grelhas de escavação. De seguida, bastou aplicar uma operação de *Conform*. Esta operação move

os vértices de um modelo até eles colidirem com a superfície de outro, como se se adaptassem a este, tal como uma toalha se conforma aos contornos de uma mesa quando lhe é sobreposta. Garantido que os vértices do plano se movimentavam apenas no eixo de Z (das alturas), o resultado foi uma superfície semelhante à superfície original, mas composta por uma grelha de 2x2 metros.

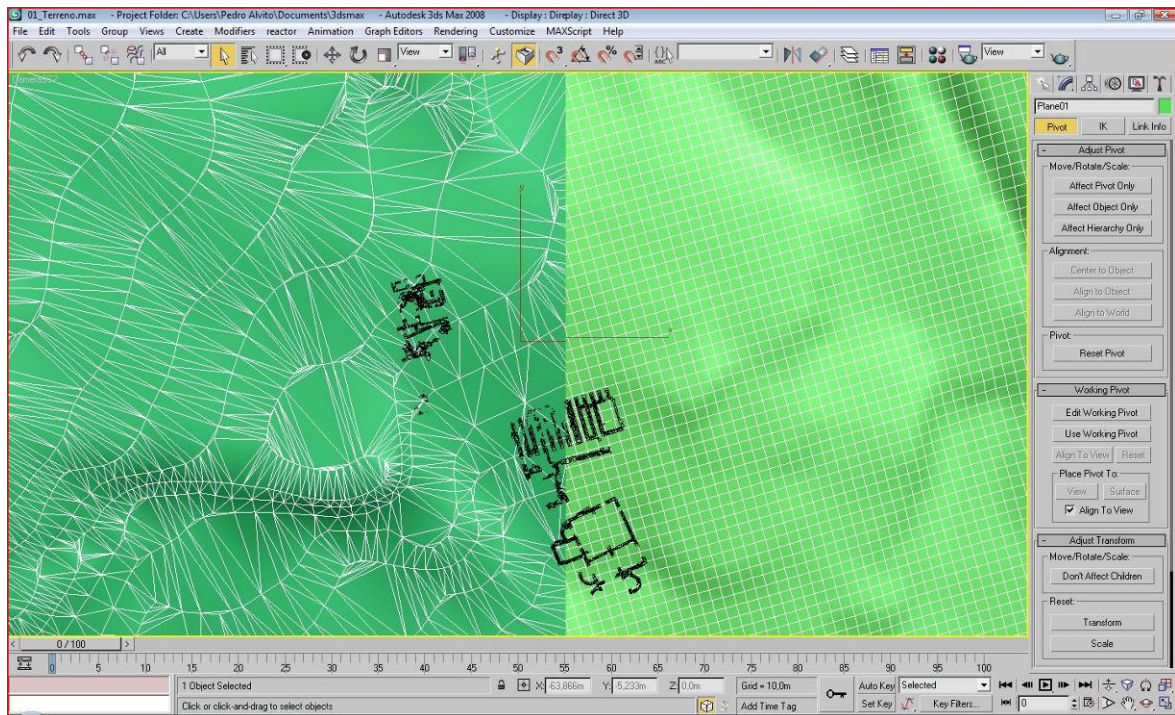


Imagem 13: Triangulação do terreno após a sua criação (esquerda) e após a sua optimização (direita)

Modelação do Presente

O modelo dos muros descobertos nas escavações é composto por dois tipos de geometria, derivada dos dois levantamentos arqueológicos disponíveis.

Por uma questão de facilidade na modelação, decidiu-se dividir a informação das duas *layers* correspondentes aos levantamentos arqueológicos em zonas, denominadas pela sua utilização mais provável. Assim, o modelo está dividido nos seguintes grupos: Termas, Domus, Armazéns, Celeiro e Alojamento de Servos. Esta separação permite trabalhar nos elementos de forma separada, o que facilita o processo de modelação. Por vezes torna-se necessário observar o modelo de várias posições para aceder correctamente a vértices, ou para aferir a sua correcta posição, o que é muito mais simples quando o modelo é mais pequeno.

Alguns destes grupos possuíam informação dos dois levantamentos na sua totalidade. Nesses casos, o primeiro passo consistiu na conversão da informação bidimensional em tridimensional.

O levantamento arqueológico altimétrico era composto por um conjunto de polígonos fechados, a diferentes cotas. Dado que aferir a altura exacta de cada pedra²⁷ era impossível, e pouco relevante para o estudo, decidi atribuir a todos os elementos a altura genérica de 10 cm, ou mais especificamente, -10 cm, pois era necessário que os modelos fossem criados para baixo, dado que a informação altimétrica se refere ao topo de cada pedra. Depois, à medida que a modelação decorresse, e de acordo com a informação que fosse possível aferir através do levantamento fotográfico, algumas das pedras ficariam com uma altura diferente, mais aproximada do real.

A decisão de manter o modelo tridimensional das pedras individuais foi, em grande parte, uma decisão estética. Ter a informação sobre a forma das pedras ajuda em casos pontuais, onde a existência de uma pedra com uma determinada forma pode sugerir um uso mais específico, mas a informação principal, a altimetria, não implica manter as pedras modeladas, e o resultado nunca será 100% real, dado que implicaria modelar as pedras exactamente como elas são, o que mais uma vez não era relevante para o estudo, nem tão pouco praticável. Pelo menos, não com o método de modelação manual. É possível que, com os avanços no uso de *scanners laser* e de luz branca nos levantamentos arqueológicos, este tipo de informação se torne uma alternativa viável.

²⁷ Por altura refere-se à altura individual de cada pedra, e não a sua altitude/cota altimétrica.

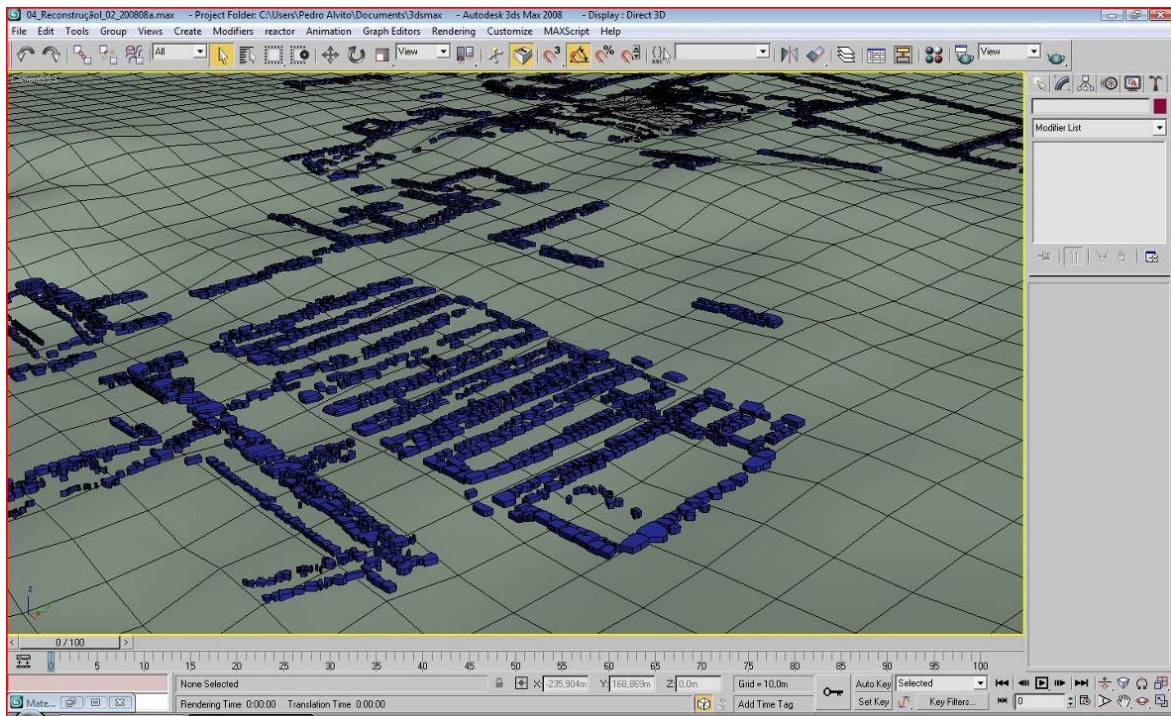


Imagem 15: Modelação das pedras individuais

Com as pedras devidamente modeladas aos propósitos do trabalho, utilizou-se o levantamento arqueológico geral para criar a geometria dos muros, até à cota estabelecida pelas pedras. Cada polígono foi extrudido²⁸ individualmente, e a *mesh* resultante foi sucessivamente subdividida para se adaptar às diferenças de cota de cada pedra.

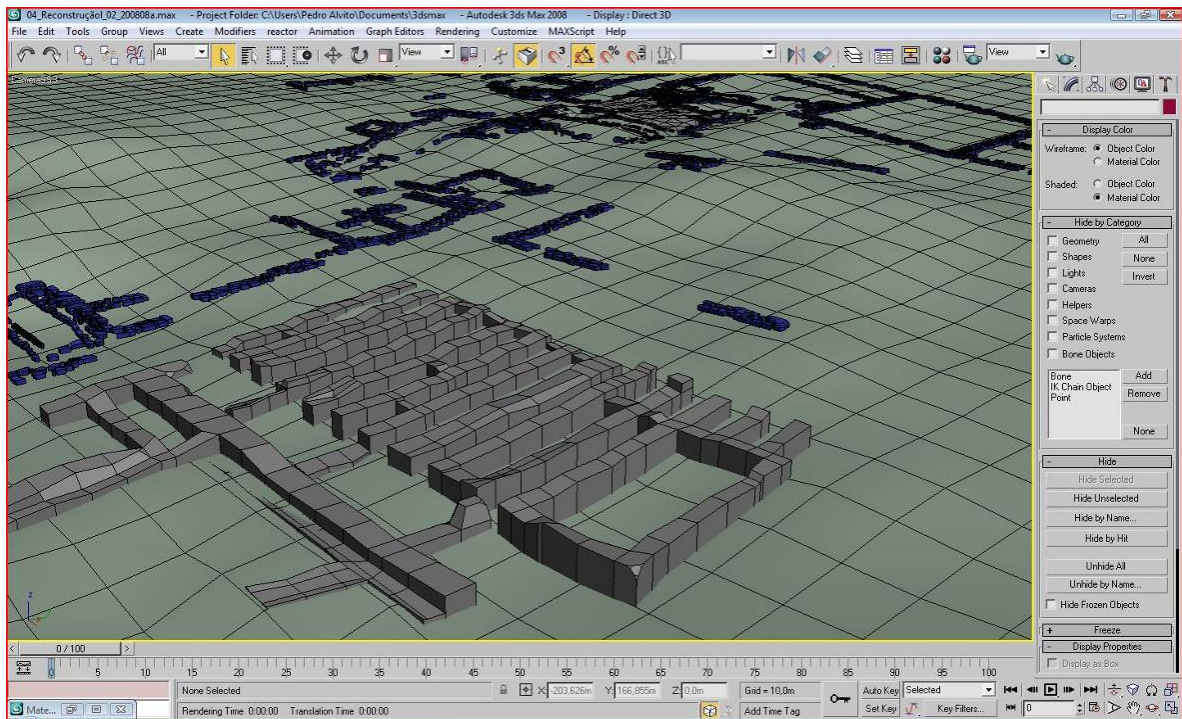


Imagem 14: Modelação dos muros, já subdividida

²⁸ O processo de extrusão consiste na atribuição de uma altura a um polígono bidimensional, transformando-o num sólido tridimensional.

Nas zonas onde não existia levantamento altimétrico, a modelação foi feita com base no levantamento arqueológico geral, usando os dados recolhidos no levantamento fotográfico para determinar as posições e cotas relativas de cada um dos elementos. Por uma questão de uniformização estética, foram utilizadas cópias dos modelos das pedras já existentes, de forma a coincidirem com o que foi possível determinar através do levantamento fotográfico.

Dado que o levantamento topográfico não tinha em consideração as alterações ao terreno efectuadas pelas escavações, foi necessário proceder a alguns ajustes na geometria, nomeadamente em zonas de escavação onde as cotas eram distintas em cada lado do muro. Foram criadas subdivisões na geometria do terreno, tendo em consideração que os vértices que formam a grelha de 2 x 2 m devem ser mantidos na sua posição, podendo apenas ser movidos no eixo das alturas. A subdivisão da geometria permite criar um modelo de terreno que se adapta às pequenas variações na altimetria, aumentando o grau de realismo.

Visto não haver liberdade temporal para fazer a correcta texturização do modelo, optou-se por manter um aspecto homogéneo de modelo conceptual, definindo apenas um mapa de *bump* genérico para a representação dos muros de pedra. O trabalho completo incluiria “pintar” as texturas convenientes, ou seja, representantes da realidade, e a criação do mapa de *bump* apropriado, quer para o terreno, quer para os muros e pedras.

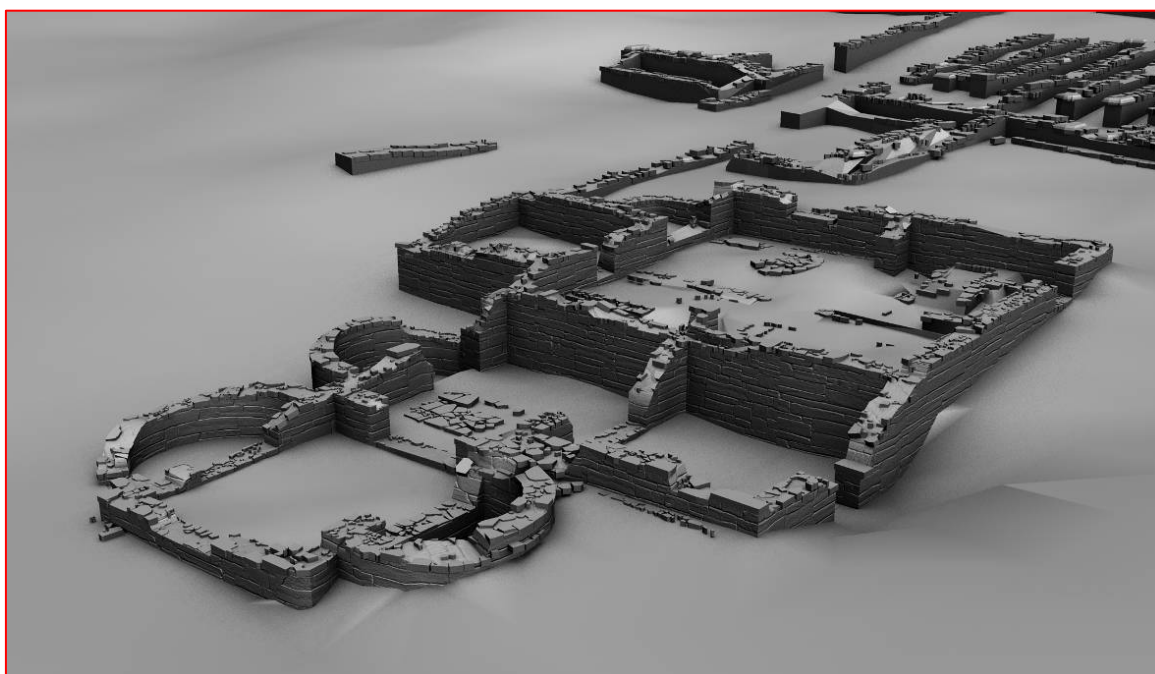


Imagem 16: Modelação do presente: as termas

Reconstrução do passado

O celeiro

Para exemplificar o processo de reconstrução que se pretende tomar com este método, decidiu-se focar o trabalho no celeiro. Isto por ser a peça central do local e por corresponder àquela sobre a qual existem hipóteses de reconstrução mais concretas.

O trabalho começa com a recolha de informação, através de entrevistas com os arqueólogos responsáveis. Isto permite definir à partida as hipóteses de reconstrução que estão a ser ponderadas no momento, pois são essas que se planeia testar com este modelo. É também realizada a investigação histórica necessária, para determinar as técnicas construtivas passíveis de terem sido utilizadas.

A investigação efectuada até ao momento indica que o celeiro possuía uma estrutura principal em madeira, revestida a colmo, com uma cobertura também em colmo.

Pretende-se modelar a estrutura do celeiro em conformidade com as especificações técnicas usadas na época em que foi construída. Isto ajuda quer na validação das hipóteses de reconstrução, como na fase de texturização, pois os materiais construtivos encontram-se separados por objectos, não sendo necessário proceder à criação de texturas muito personalizadas, nem a técnicas de mapeamento complexas. No entanto, este método de modelação torna o modelo em si mais complexo, o que dificulta futuras alterações ao mesmo. Torna-se mais difícil aumentar a área de pavimento de madeira, quando o mesmo pavimento é

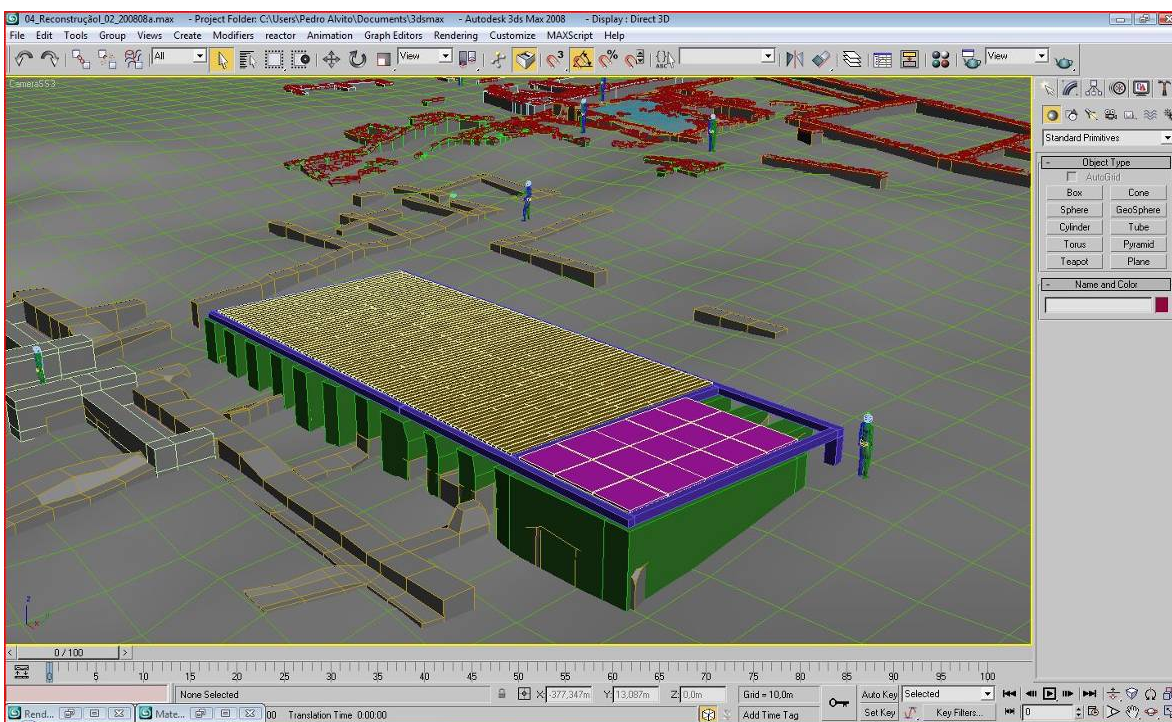


Imagem 17: Reconstrução do celeiro, com a colocação das fundações, da subestrutura e do pavimento.

modelado tábuas tábuas do que quando é apenas um plano texturizado. No entanto, o resultado é muito mais correcto e realista.

A modelação seguiu os passos de uma construção normal. Assim, começou-se por modelar as fundações. Sendo estas muito semelhantes às que sobreviveram até hoje, o resultado é muito semelhante ao que foi obtido para representar o existente, mudando apenas o facto de não ser necessária tanta subdivisão da geometria.

Assente directamente na fundação encontra-se a subestrutura composta por barrotes de madeira dispostos perpendicularmente às fundações. Este subsistema nivela e apoia a estrutura principal, assim como o pavimento. A estrutura principal do espaço do celeiro é composta por um conjunto de pórticos em madeira, que definem também as pendentes para a cobertura. Estes pórticos assentam na subestrutura, e são colocados directamente por cima das fundações, para que estas suportem o peso da construção. Como os pórticos são todos (teoricamente) iguais, e para facilitar futuras alterações, foram criadas instâncias²⁹ do pórtico, em vez de cópias separadas.

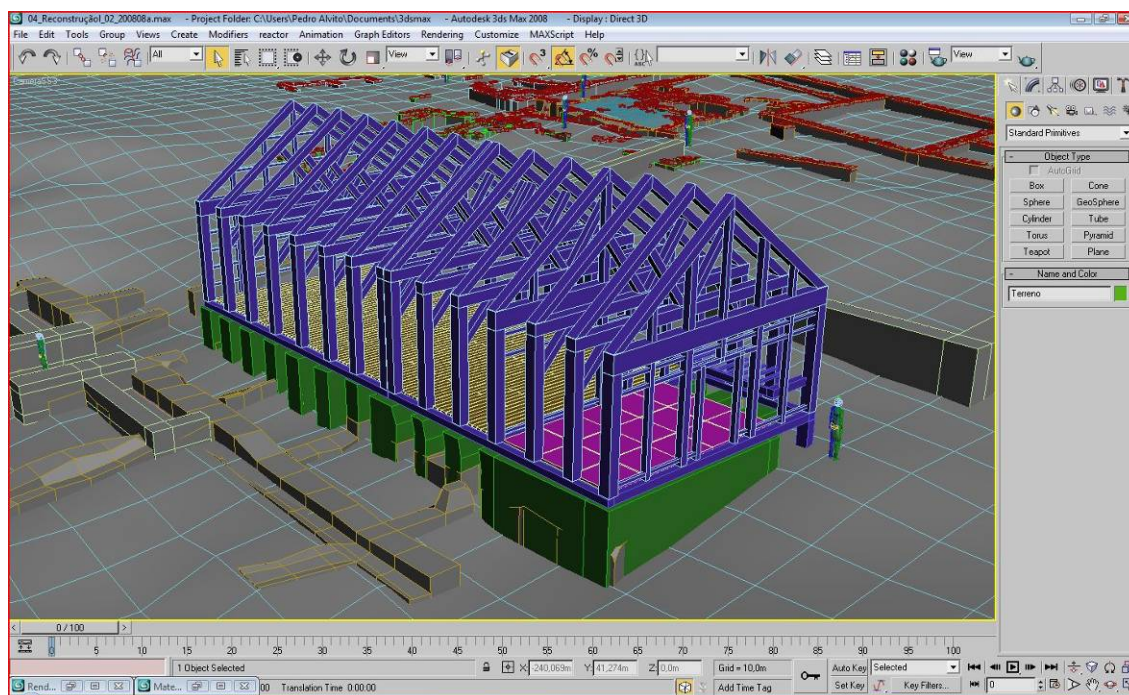


Imagem 18: Reconstrução do celeiro, com a estrutura principal em pórticos.

As paredes laterais e as posteriores, feitas de colmo, foram modeladas criando uma série de vigas de suporte em madeira, que unem os vários pórticos. Nessas vigas são assentes os vários panos de colmo, criados a partir da modelação de um plano, para simular o colmo pendurado nas

²⁹ Instâncias são cópias referenciadas de um objecto, para caso se altere um dos objectos, todas as cópias desse mesmo objecto se alteram também.

vigas. Apenas a fachada principal do celeiro, onde se crê estar a porta de acesso, foi preenchida a madeira.

O pavimento também foi modelado de forma a simular tábuas de madeira, excepto na área anexada do celeiro onde se modelou um pavimento em pedra, de acordo com os vestígios, e a opinião dos especialistas. Todas as tábuas de madeira e lajes foram modeladas como geometria distinta, e colocadas de forma não sistemática para aumentar o nível de realismo.

A modelação do telhado começou com a criação dos caibros assentes nos pórticos. Assente sobre caibros dispuseram-se planos a simular colmo. Para aumentar o nível de realismo, criaram-se mais dois planos por cima do primeiro, aos quais foram retiradas partes da geometria, para que o colmo seja representado a vários níveis.

Para completar o modelo do celeiro foram criadas estruturas de prateleiras onde se colocariam os cereais, assim como a entrada de ar para ventilação que se supõe ter existido na zona anexa.

Foi também modelado o acesso ao celeiro. Visto este estar sobrelevado por questões de ventilação e conservação dos cereais, era necessário um acesso a essa cota. Para esta hipótese de modelação, decidi modelar um conjunto de escadas de acesso em madeira, que permitiria o acesso ao celeiro directamente a quem viesse pela entrada norte da propriedade.

A forma final do celeiro ainda está aberta a várias hipóteses de reconstrução, pois não há indicações de altura, a colocação das fundações também não é muito clara, e o acesso ao seu interior pode ter várias interpretações. Isto leva a que sejam necessários vários modelos com as diversas hipóteses de reconstrução, para que se possam ir, possivelmente, eliminando as hipóteses menos prováveis.

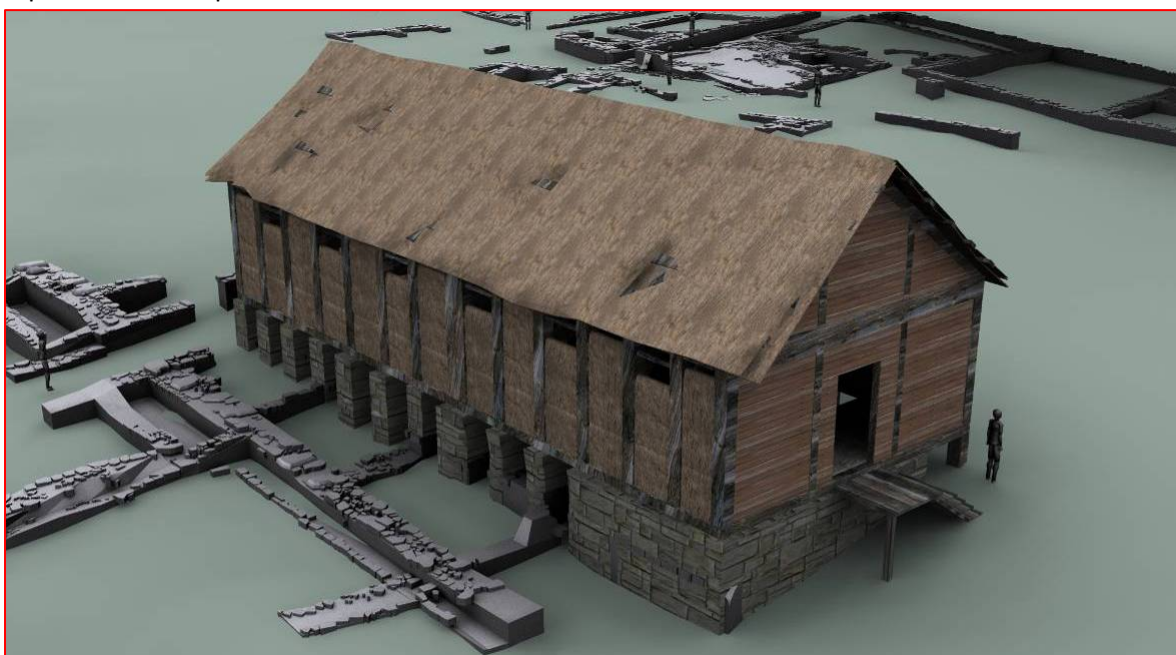


Imagem 19: Render da reconstrução do celeiro

A zona de armazenagem e lagares.

A área de armazenagem, composta pelo conjunto edificado a norte do celeiro, que albergava o lagar, e possivelmente espaços de armazém, colocou um conjunto de desafios diferente dos levantados anteriormente com a reconstrução do celeiro. Ao contrário deste, a informação existente sobre esta área é muito mais escassa, e como tal, muito mais aberta a hipóteses. Assim, e antes de se começar a modelação, foi necessário definir uma hipótese de reconstrução, que justificasse a localização de todos os muros existentes.

Outra questão surgiu com a criação das coberturas. Dadas as diferenças de cota existentes no terreno, e a geometria dos muros existentes, foi também necessário definir uma hipótese de reconstrução para as diferentes coberturas.

Tanto a reconstrução dos muros como das coberturas teve em conta as técnicas construtivas da altura, para a definição de vãos máximos e de alinhamentos de fachada. Outro facto que se teve em conta foi o possível uso dos edifícios como espaços de armazenagem, que sugerem edifícios com um maior pé direito. Também a existência de um lagar sugere um pé-direito maior, para comportar o equipamento necessário.

Com a hipótese de reconstrução definida, o processo de modelação pôde começar de forma muito semelhante ao celeiro.

Todos os elementos em pedra revestida foram criados a partir do mesmo sólido, procedendo-se à subdivisão da geometria para permitir a criação de paredes com alturas diferentes, bem como as fachadas que formam as pendentes da cobertura. Foram também abertos os vãos para portas e janelas, onde se julgou premente, de acordo com a hipótese de reconstrução.

Para suportar a cobertura, foram modeladas as vigas correspondentes, sendo que a cobertura em si foi modelada para representar uma versão simplificada das telhas em argila utilizadas na época.

Tratamento pós-modelação

Com a fase de modelação terminada, e antes de se proceder à exportação para o modelo de realidade virtual, é necessário fazer a correcta texturização do modelo, para ajudar a criar realismo na cena, e a discernir os diferentes materiais de construção. No entanto, e dados os parâmetros temporais existentes para a realização do trabalho, optou-se por se fazer a texturização apenas no modelo do celeiro, por ser o mais desenvolvido.

O trabalho de texturização de cada sólido consiste em dois passos complementares: a criação do mapa UVW; e a aplicação dos vários mapas de textura.

Um mapa UVW é utilizado para definir a escala de um mapa, a sua localização no modelo, o seu padrão de repetição e o seu método de aplicação num modelo. A aplicação de um mapa UVW é um passo necessário sempre que a textura não é criada especificamente para uma determinada geometria, o que acontece com as texturas genéricas aplicadas no modelo do celeiro.

A texturização do modelo do celeiro é composta por um conjunto de mapas de textura, aplicados a cada um dos objectos, e acompanhados pelos respectivos mapas de *bump*. Cada mapa representa um material diferente, o que é adequado ao método de modelação escolhido. Como cada objecto representa apenas um material/revestimento, não há necessidade de criar materiais compostos que lidem com texturas múltiplas, o que implica um maior esforço de modelação.

3.1.3. Modelo virtual

O modelo virtual foi criado recorrendo ao editor de mapas de um jogo comercial popular. O jogo corre sobre o motor de jogo Gamebryo, que vem equipado com um motor gráfico, um motor de física, Inteligência Artificial, e um software de produção de vegetação em tempo real. O editor de mapas em si também inclui um gerador de terreno, o que permite reproduzir o terreno já modelado e pintá-lo dentro do software. Isto faz com que, para além do celeiro, também o terreno pode ser texturizado com texturas genéricas. Esta ferramenta produz resultados aceitáveis sem recorrer a técnicas de pintura complexas e demoradas, o que vai ao encontro do objectivo de tornar esta metodologia o mais expedita possível. O editor de mapas permite também aceder à biblioteca de objectos modelados para o jogo que, por possuir um ambiente medieval/fantástico, torna alguns dos objectos úteis na decoração da cena.

Outra das potencialidades do *software* diz respeito à criação de avatares (personagens virtuais) com Inteligência Artificial. O *software* já possui uma série de scripts de IA facilmente modificáveis, para definir acções diárias (um escravo a levantar-se de manhã para ir trabalhar nos campos e voltar para casa à noite) ou reacções a estímulos exteriores (um guarda que defende a *villa* em caso de ataque). Também é possível definir diálogos e reacções a determinados diálogos (um dono a dar ordens a um escravo, ou a negociar com um comerciante).

A razão para o uso deste software não se prende apenas com as suas qualidades gráficas. Actualmente não existe nenhum software comercial com estas potencialidades. Este software permite a criação e edição de mapas, mas o trabalho resultante tem obrigatoriamente de ser acessível gratuitamente, dado não haver uma licença comercial.

Exportação

O software de edição de mapas requer que tanto a geometria como os mapas de textura estejam convertidos para um tipo de ficheiro próprio. O processo de exportação permite definir a localização dos ficheiros finais (a localização deve ser pré-determinada para que o software a consiga reconhecer), bem como a exportação de scripts de animação, caso o modelo seja animado (o que não acontece com o caso prático), permitindo também exportar os scripts de *bones* (ossos) para animações de personagens e animais, e de geometria de colisão. A geometria de colisão é necessária para que o software consiga determinar que partes do modelo são sólidas, logo impossíveis de atravessar. Permite também definir propriedades físicas como a massa de um

objecto, para que ele possa reagir de forma realista com a envolvente. Estas propriedades físicas são desnecessárias em modelos estáticos.

Foram feitas duas exportações do modelo: Uma com o modelo completo, incluindo o modelo de terreno feito no 3DStudio™; e uma apenas com o modelo do edificado. As partes da *villa* que não foram reconstruídas foram exportadas apenas como muros, não sendo exportadas as pedras individuais, por uma questão de performance do sistema. O modelo de terreno é exportado para facilitar na sua recriação usando a ferramenta de modelação de terreno do editor de mapas, sendo que o segundo ficheiro, sem o terreno, será o utilizado para a visualização final.

Infelizmente a versão do *plugin* de exportação fornecida para este trabalho permite apenas a

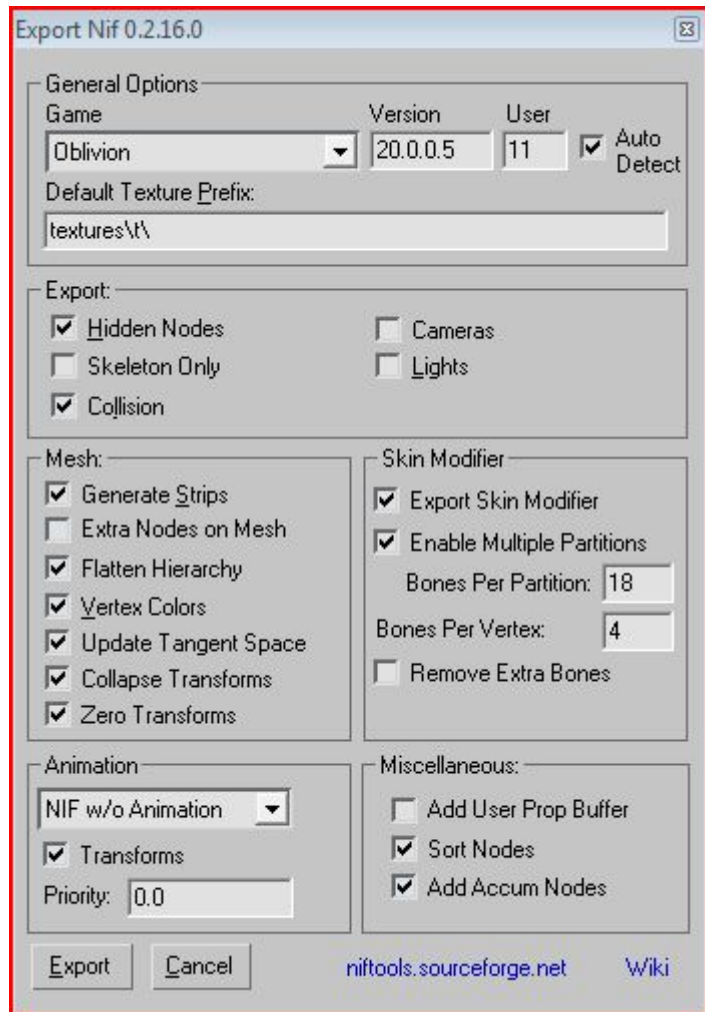


Imagem 20: Menu de exportação de modelos.

exportação de mapas de textura. Os mapas de *bump* criados para o modelo não serão utilizados nesta fase.

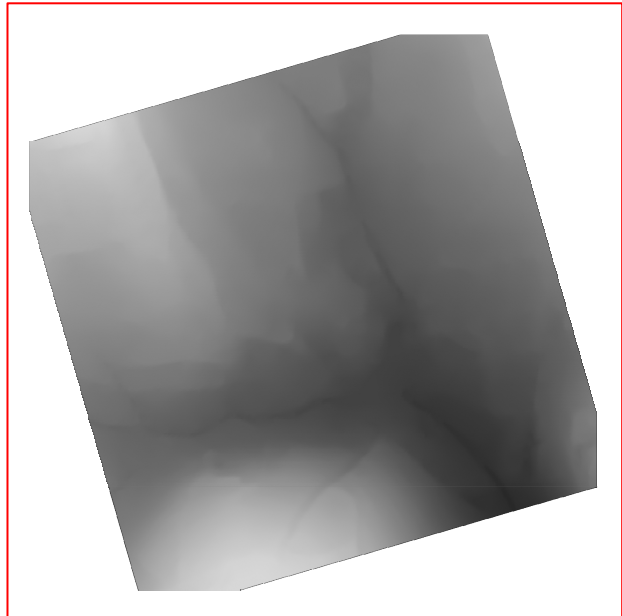
Criação do modelo de terreno no editor de mapas

O software de visualização possui uma ferramenta de modelação de terreno que utiliza *heightmaps* para definir as diversas alturas. Um *heightmap* (mapa de alturas) é um mapa em formato bitmap, em que a intensidade de cor de cada pixel se traduz num valor de altura. A utilização deste método permite fazer alterações manuais ao terreno muito mais facilmente, pois estas podem ser “pintadas”, alterando apenas as tonalidades do mapa.

Para facilitar o processo de transição de um software para o outro, criou-se um *heightmap* com base no modelo original. Para tal, foi aplicado à geometria um material específico, concebido

para assumir um gradiente de cinza no terreno, indo do preto no ponto mais baixo até ao branco no ponto mais alto.

O terreno no motor de jogo é composto por áreas individuais, correspondentes a uma determinada região. Estas áreas são constituídas por células (*cells*), organizadas num sistema cartesiano. Cada célula corresponde a uma área quadrangular com cerca de 59 metros de lado (192 pés, ou 4096 unidades de jogo). Para a criação do modelo de Freiria, foi utilizada uma região quadrangular com 3 células de lado. O software permite um



grande número de células numa região, criando mapas bastante vastos. O jogo em questão possui um mapa principal com 1900 hectares de área.

Imagem 21: Heightmap utilizado na criação do terreno.

A principal condicionante do uso deste software para a modelação de terreno está na criação de corpos de água. O software define corpos de água como todo o terreno que se encontre abaixo de uma determinada cota (especificamente a 4200 unidades de altura). Desta forma, é impossível criar linhas de água realistas, e obriga a que parte do modelo de terreno seja ajustada para que as linhas de água existentes existam à mesma cota. Isto no entanto não põe em causa a validade do terreno junto da villa. Outra condicionante prende-se com o facto de que a malha utilizada para fazer a modelação é fixa (malha quadrangular com aproximadamente 1,60 m de lado), não permitindo subdivisões. Logo existem detalhes que não podem ser reproduzidos.

A região é criada usando o *heightmap* produzido anteriormente. De seguida, importa-se o modelo completo com o modelo de terreno para o editor de mapas, e colocado no local correcto, quer em posição como em altura. A sobreposição do terreno modelado no 3DStudio™ com o terreno modelado no editor permite discernir as zonas que necessitam de um ajuste manual. Este ajuste é feito usando uma ferramenta de pintura embutida no editor, que usa *brushes* (pincéis) de tamanhos diferentes para abranger áreas diferentes. Esta ferramenta permite ajustar a altura de pequenos trechos de terreno, bem como ajustes à rugosidade do terreno.

Com o terreno novamente modelado no editor mapas, procede-se a uma pintura genericamente representativa da área das ruínas, recorrendo a texturas existentes no próprio

editor. Estas representam as áreas de verde, de ladrilho cerâmico e de pedra, e áreas genéricas em terra. São também definidas áreas onde se pretende a visualização de relva, uma das capacidades inerentes do software. Esta texturização é preliminar, e será ajustada após a inserção dos modelos.

Importação do modelo final

A importação de modelos para o editor é muito simples, bastando criar um objecto novo, e indicar a localização do modelo a utilizar. Como o processo de exportação implica acrescentar a localização das texturas, todo o restante processo é automático, assumindo que os ficheiros estão todos nos locais correspondentes. O processo de colocação é muito intuitivo, ao estilo “*drag-and-drop*”, onde se arrasta o objecto de uma lista de objectos para a cena. Para garantir a correcta localização do modelo, o centro da célula onde se vai implementar o modelo corresponde ao centro do modelo, bastando alinhar a câmara com o centro da célula (o que ocorre quando a seleccionamos pela primeira vez).

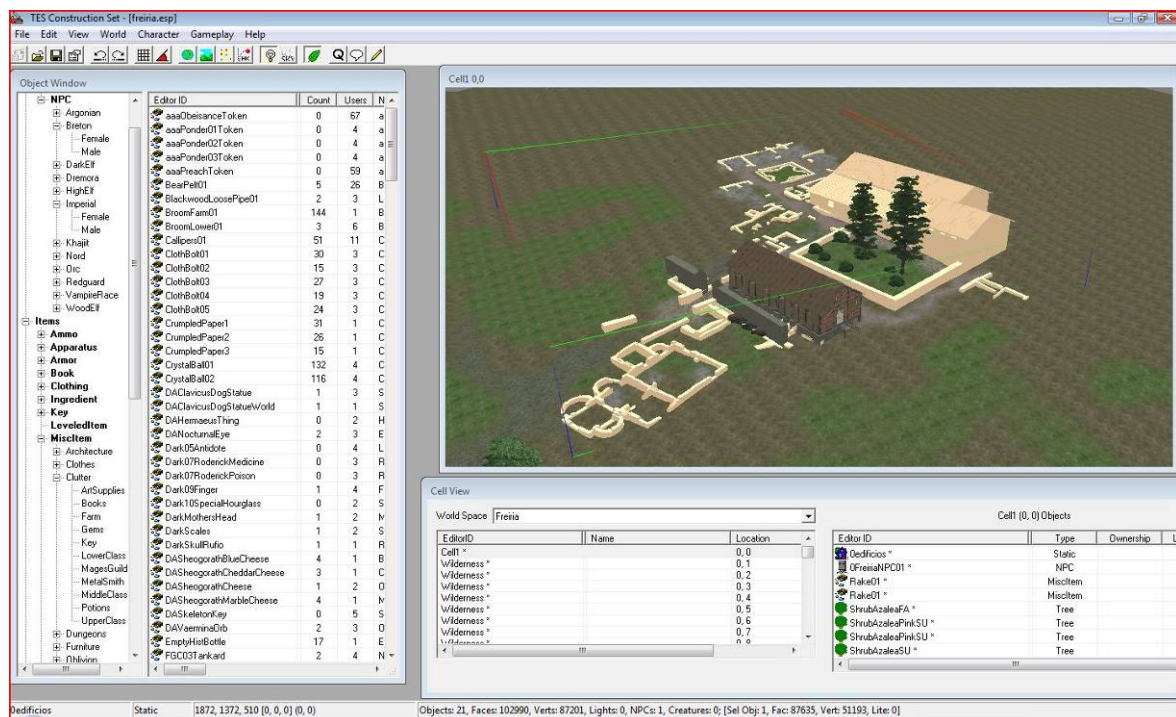


Imagem 22: Importação do modelo final para o editor de mapas.

Criação da envolvente: Vegetação e IA

A introdução de vegetação baseia-se dentro do possível no levantamento fotográfico do local. Infelizmente não é possível determinar com exactidão a existência ou não de zonas mais densamente arborizadas, pelo que essas decisões tomam um papel mais de caracterização da envolvente. O software utilizado já possui uma biblioteca extensa de vegetação, com diversos

tipos de árvores e arbustos, totalmente animados e texturizados, o que facilita imenso o processo. A sua implementação é igual à dos restantes objectos, bastando arrastar o modelo pretendido para o local desejado na cena. Outros objectos, como mobiliário ou utensílios de trabalho, podem também ser adicionados. O editor possui um vasto conjunto de objectos decorativos que podem ser utilizados, permitindo acrescentar um maior nível de realismo e envolvimento à cena, sem que seja necessária uma modelação extensiva de vários objectos.

A inteligência artificial é implementada por introdução de personagens em cena. As personagens são modelos de humanos (o editor inclui outras raças, não utilizadas no trabalho) que, para além de poderem ser equipados conforme o necessário, permitem a edição do corpo e da face para individualizar características; permitem também a adição de scripts de IA que lhes atribuem um conjunto pré-determinado de acções e reacções. Os scripts podem definir acções simples como deambular; ou acções complexas como um horário diário definido, reacções à envolvente ou diálogos pré-definidos. No caso de um escravo, a personagem teria de fazer o seu percurso diário (acomodações – trabalho – termas – acomodações), bem como reagir à presença dos seus senhores e do seu chefe (feitor) Vilicus³⁰.

No caso do modelo virtual, o interesse da aplicação de IA está na possibilidade de criar os diversos intervenientes do dia-a-dia de uma villa como a de Freiria, e possivelmente retirar algumas ilações da sua análise.

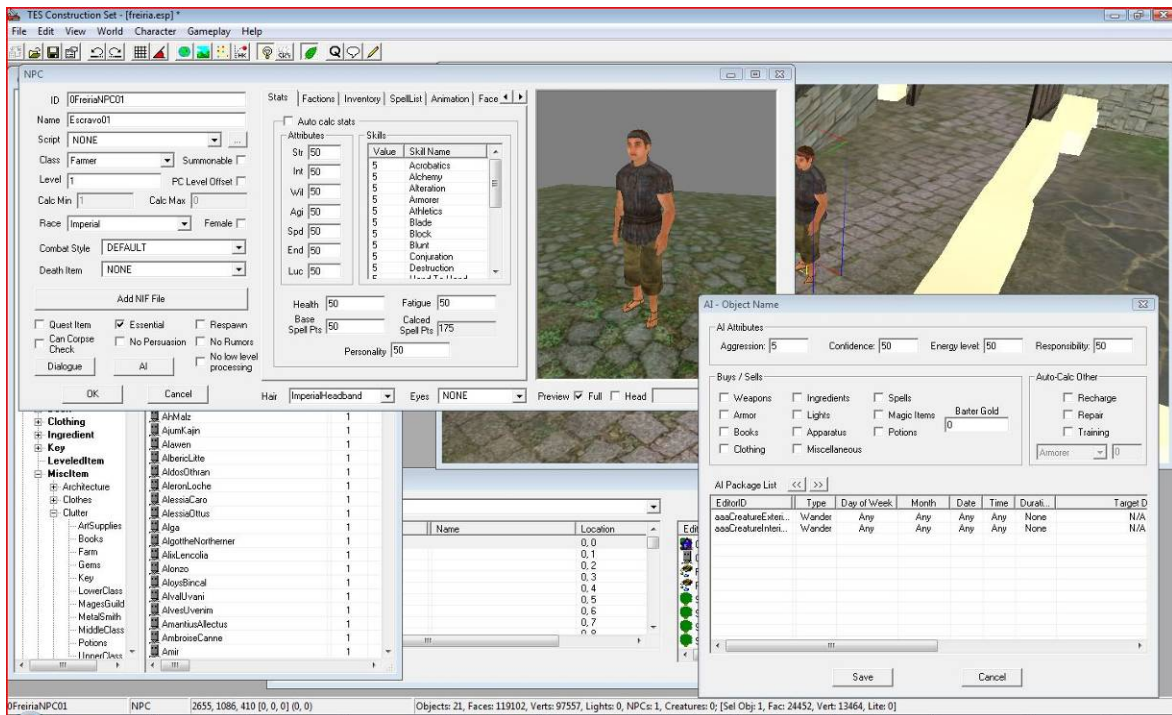


Imagem 23: Menus de criação de personagens e scripts de IA.

³⁰ Por indicação do Dr. Guilherme Cardoso

Integração com o motor de jogo

A visualização do modelo faz-se através do jogo em si, dado que este software actua como um editor dos mapas existentes. Como este é um mapa novo, e não apenas uma adição, é necessário alterar o ficheiro de configurações para que este reconheça o nosso modelo como o mapa inicial. Feito isso basta apenas correr o executável do jogo, e ele inicia com um *avatar default* (dado que não se utiliza o gerador de avatares que o jogo possui). Este pode movimentar-se por todo o mapa, recorrendo a uma combinação teclado+rato, comum em jogos FPS³¹ (First-Person Shooter). Também estão disponíveis comandos auxiliares para ajudar na visualização, que permitem ligar ou desligar as colisões de objectos, libertar a câmara do *avatar*, carregar diversos tipos de céu e condições meteorológicas, alternar entre dia e noite, etc. A nossa “personagem” pode interagir com objectos e personagens; e visualizar o espaço envolvente de todos os ângulos, em tempo real.



Imagem 24: Imagem de jogo, com o mapa aplicado.

³¹ http://en.wikipedia.org/wiki/First-person_shooter (14-09-2008)

4. Conclusões

A incerteza é uma constante no processo científico da investigação arqueológica. Na vasta maioria dos casos não existem dados suficientes para chegar a conclusões concretas. E este facto agrava-se quando nos deparamos com exemplos onde os vestígios encontrados até ao momento correspondem a datas de ocupação com séculos de afastamento, como o da villa de Freiria. Em todo esse tempo, a villa foi construída, reconstruída e adaptada inúmeras vezes; e conseguir atribuir um uso para um determinado espaço é uma tarefa indiscutivelmente subjectiva.

Parte integrante deste processo de investigação é a criação de hipóteses para o que um determinado espaço poderá ter sido. Estas hipóteses são baseadas nos vestígios encontrados, e no conhecimento que os intervenientes possuem sobre a matéria.

Muitas vezes estas hipóteses – especulações - são acompanhadas por uma representação bidimensional, um desenho. É a forma mais expedita de se confrontarem ideias, pois é muito mais fácil estabelecer um raciocínio sobre um qualquer elemento físico quando existe uma representação gráfica deste mesmo.

Mas as representações bidimensionais são muitas vezes incompletas (representam apenas a planimetria dos edifícios, e não como eles teriam sido), o que impede os arqueólogos de compreender e transmitir a verdadeira magnitude das suas teorias.

Os modelos tridimensionais há muito que são utilizados em arqueologia como forma de representar um ou vários elementos, e são a forma ideal de divulgação de um objecto arqueológico, seja ele uma peça única, ou toda uma cidade ou civilização. Nos tempos de hoje, onde a internet é a principal fonte de conhecimento, e toda a informação que queira ser vislumbrada deve ser o mais virtual e interactiva possível, as representações tridimensionais são uma aposta ganha.

Mais, as novas técnicas de levantamento arqueológico, com recurso a scanners laser, scanners de luz branca, fotogrametria, entre outras, permitem uma transição do real para o virtual mais eficaz. O papel e o lápis, a régua e a fita métrica são elas também cada vez mais parte da História.

Foram essas premissas que levantaram a questão da utilidade de um modelo tridimensional como instrumento de apoio à investigação arqueológica, em vez de se limitar a representar uma hipótese.

A utilização de um motor de jogo, para garantir qualidade visual em tempo real, e a utilização de um software de edição de mapas de jogo, muito intuitivo e completo com um

conjunto de ferramentas facilmente adaptáveis ao trabalho em causa, foi sem dúvida conseguir alcançar os objectivos propostos. A qualidade da envolvimento que se obtém é muito superior ao que qualquer software de realidade virtual “profissional” consegue obter, e abre portas para a adaptação futura destes softwares a um uso mais específico. Os primeiros passos já foram dados nos campos da arquitectura e urbanismo, e espera-se que, num futuro próximo, este tipo de serviço seja também acessível de forma comercial, como mais um modo de divulgação da informação.

A questão do uso de equipamento de scanners laser nos levantamentos arqueológicos levanta outro ponto importante de focar: a interdisciplinaridade obrigatória numa investigação deste tipo. A investigação arqueológica só tem a ganhar com o apoio e a experiência de especialistas em História, Arquitectura, Estruturas e, neste caso, de um especialista em modelações e animações tridimensionais. Um membro da equipa que participe em todos os passos, e que compreenda perfeitamente o alvo de estudo, ao invés de um profissional contratado apenas para fazer o modelo. Desta forma, o modelo é criado à medida que a análise do terreno é feita, e os resultados podem ser vistos e analisados enquanto o trabalho se desenrola, e não semanas ou meses depois.

Não se pode afirmar que a criação do modelo neste trabalho prático tenha respondido decisivamente às questões existentes, mas permitiu à equipa de investigadores experienciar de uma forma completamente nova o resultado das suas teorias, inclusivamente perceber as sensações que o ambiente criado incute aos seus utilizadores, e acabou por levantar algumas questões prementes, que dificilmente seriam postas se o espaço nunca fosse visto a três dimensões.

Anexos

A1: Processos/Conceitos a definir

A1.1 Polyline³²

Uma polyline é o termo utilizado em computação gráfica para definir um conjunto de linhas unidas pelos seus vértices. São utilizadas para desenhar aproximações a curvas, ou para definir áreas bidimensionais fechadas.

A1.2 Modelação/Mesh³³

Modelação tridimensional define o desenvolvimento de uma representação matemática de um objecto tridimensional. Este objecto é denominado de modelo tridimensional, e consiste num conjunto de pontos com coordenadas tridimensionais, unidos por linhas ou planos.

Uma modelação tridimensional pode ser feita manualmente ou como resultado de um scan, e pode tomar uma de duas estruturas principais:

- Mesh poligonal. A modelação é um conjunto de pontos cuja união simples forma faces planas. É a forma mais comum e simples de se modelar, embora o facto de as faces terem de ser obrigatoriamente planas obrigar a um maior número de faces para se criar o efeito de uma superfície curva.

- NURBS. Superfícies NURBS (Non Uniform Rational Basis Spline) são criadas não com linhas rectas, mas com splines de bezier. As faces criadas simulam curvas, o que torna este tipo de modelação ideal para modelação orgânica e superfícies não lineares.

O tipo de operações que se pode efectuar num modelo depende do tipo de estrutura que é utilizada. Para o trabalho descrito nesta dissertação foi usado apenas o método da mesh poligonal.

No método da mesh poligonal, um objecto tridimensional possui até 4 subcategorias, consoante o tipo de elementos que o formam:

- Vertex (vértices), são os pontos tridimensionais;
- Edges (linhas), criadas pela união de dois vértices;

³² <http://en.wikipedia.org/wiki/Polyline> - Consultado em 14-09-2008

³³ http://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling - Consultado em 14-09-2008

- Faces (faces ou polígonos), criados por três vértices, unidos por três linhas. Faces mais complexas são criadas por múltiplas faces triangulares.

- Elements (elementos), são os vários conjuntos de faces que formam um objecto

Cada uma destas subcategorias pode ser manipulada individualmente, e juntamente com as operações básicas de movimentação, rotação, adição e subtracção, existe um conjunto bastante elevado de outras operações aplicáveis, das quais as mais comuns (e as mais frequentemente utilizadas no decorrer deste trabalho), são as operações de extrusão e subdivisão:

- Extrusão – Esta operação aplica-se a faces e cria uma cópia da face seleccionada, unida a esta em todos os vértices, como se um novo objecto tivesse sido extrudido através da face.

- Subdivisão – Consiste na criação de novas faces através da criação de novos vértices complanares.

A1.3 Shading³⁴: Gourad e Phong

O processo de shading (sombreamento) consiste na definição da tonalidade de cada face de um modelo tridimensional, com base no ângulo e intensidade da luz que a atinge. O seu processo mais simples, o flat shading, atribui a cada face um valor único, o que resulta em perda de qualidade

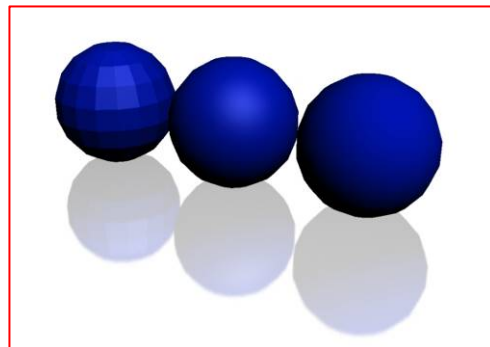


Imagem 25: A mesma esfera sem sobreamento, com Gourad Shading e com Phong Shading.

quando se pretendem representar superfícies curvas. Existem no entanto diversos algoritmos que

procuram contornar esse problema. Os dois mais conhecidos, e até muito recentemente os mais utilizados, são conhecidos por Gourad Shading e Phong Shading. Ambos os algoritmos definem a interpolação necessária para fazer o sombreamento em cada ponto da face, criando a ilusão de uma superfície curva. O método Phong é mais recente, e produz melhores resultados que o Gourad no que diz respeito aos brilhos (specular light).

A1.4 Mapas

Ao se desenvolver um modelo tridimensional, uma das ferramentas disponíveis é a aplicação de mapas. Mapas são entidades bidimensionais, em que cada pixel corresponde a um valor. Esses mapas podem ser aplicados a faces, quer directamente, quer através de um mapa de

³⁴ <http://en.wikipedia.org/wiki/Shading> (14-09-2008)

UVW, que converte as coordenadas dos pixéis de um mapa numa grelha tridimensional que pode ser aplicada de várias maneiras a um dado objecto. A maioria dos mapas é feita numa escala de cinza, em que o preto corresponde ao valor '0', e o branco ao valor '1'. Os mapas são utilizados para definir um grande número de parâmetros num objecto, tanto ao nível de cor e brilho, como ao nível da modelação mesmo. Um 'height map' (mapa de alturas) por exemplo, modifica o valor Z de cada vértice consoante o tom dos pixéis do mapa que coincidem com aquela área.

A1.5 Texture Mapping

Uma das versões mais comum de mapas é o mapa de textura (texture map). Em vez de atribuir um valor numérico a cada pixel, uma textura atribui uma cor a cada pixel, formando a imagem pretendida. Os mapas de textura normalmente são atribuídos à cor difusa de um objecto, ou seja, à cor natural de um objecto, não modificada por elementos envolventes ou iluminação.

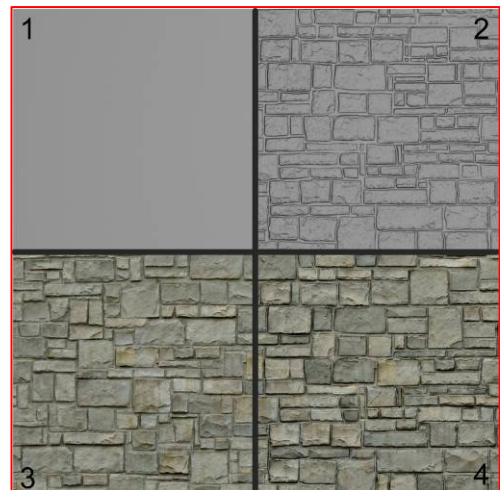


Imagem 26: Exemplo de aplicação de mapas. 1:Face vazia; 2:Bump map; 3:Texture Map; 4:Texture+Bump

A1.6 Bump Mapping

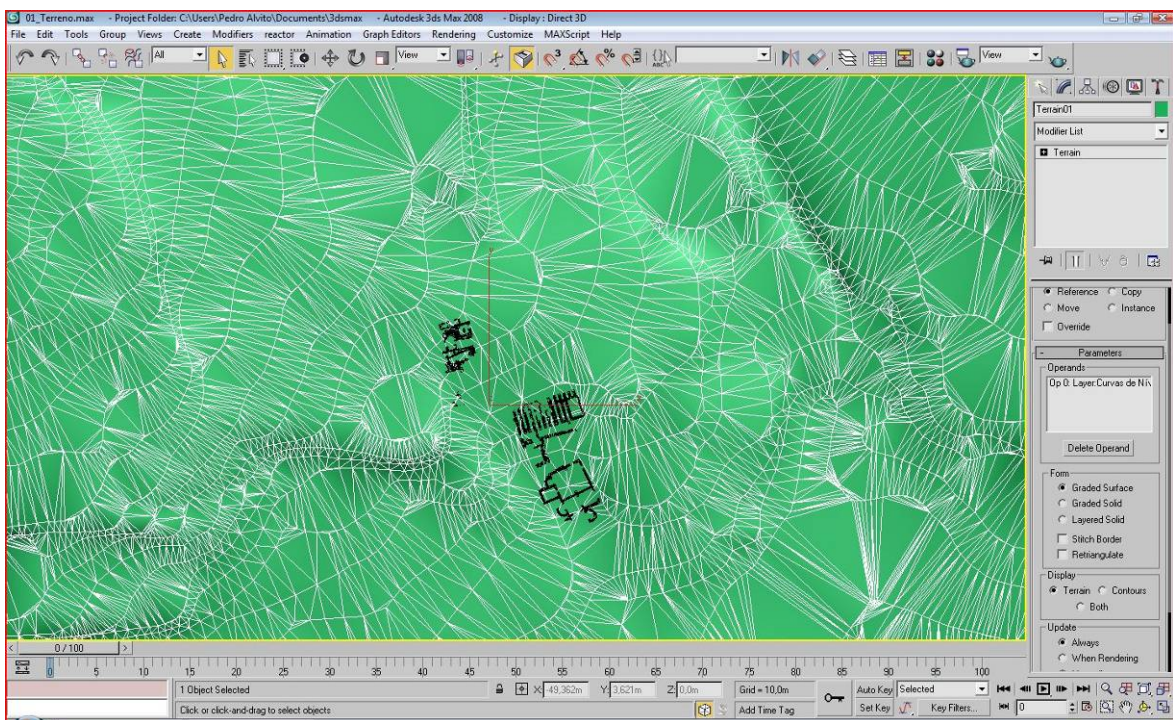
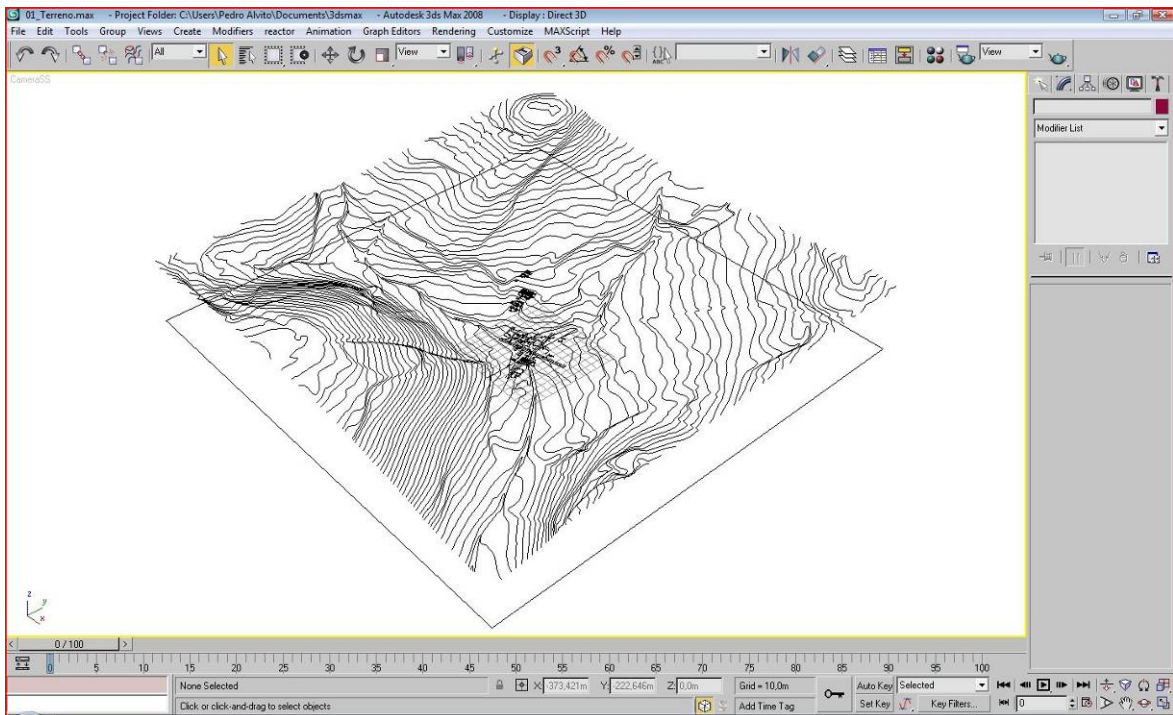
Um 'bump map' é um mapa em tom de cinza, muito semelhante a um mapa de textura, em que cada pixel define o ângulo de sombreamento para aquela área. O que o mapa faz é adicionar detalhe e realismo a uma textura, criando os efeitos de sombreamento necessários.

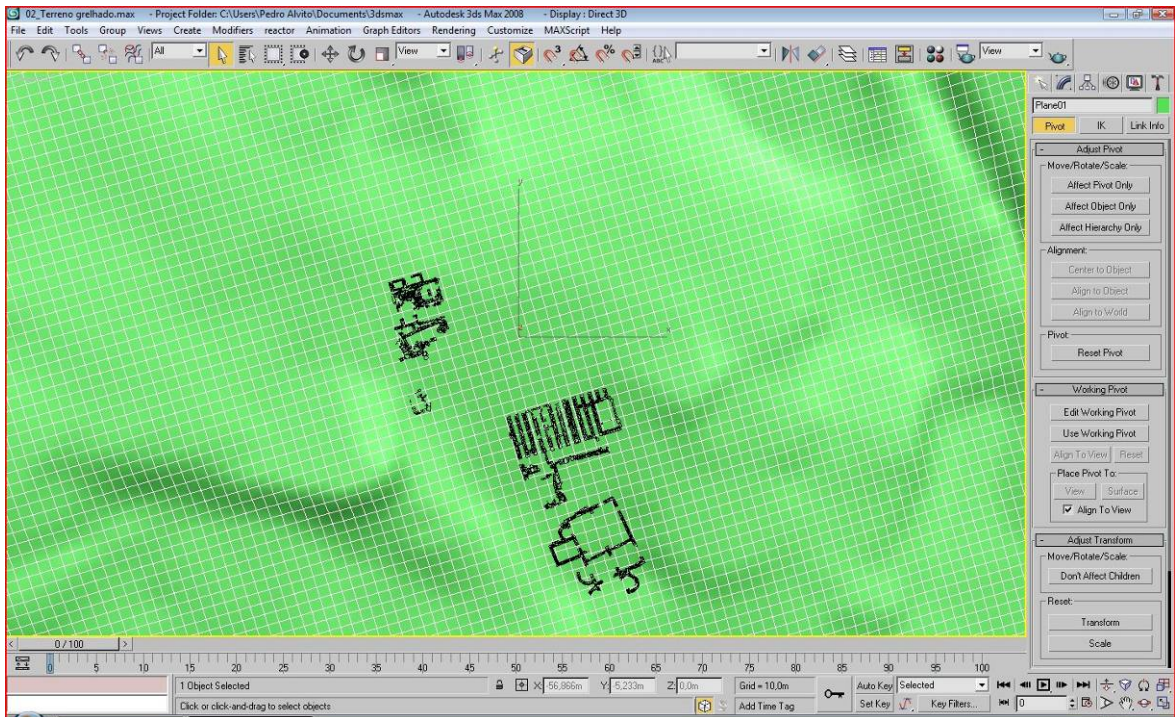
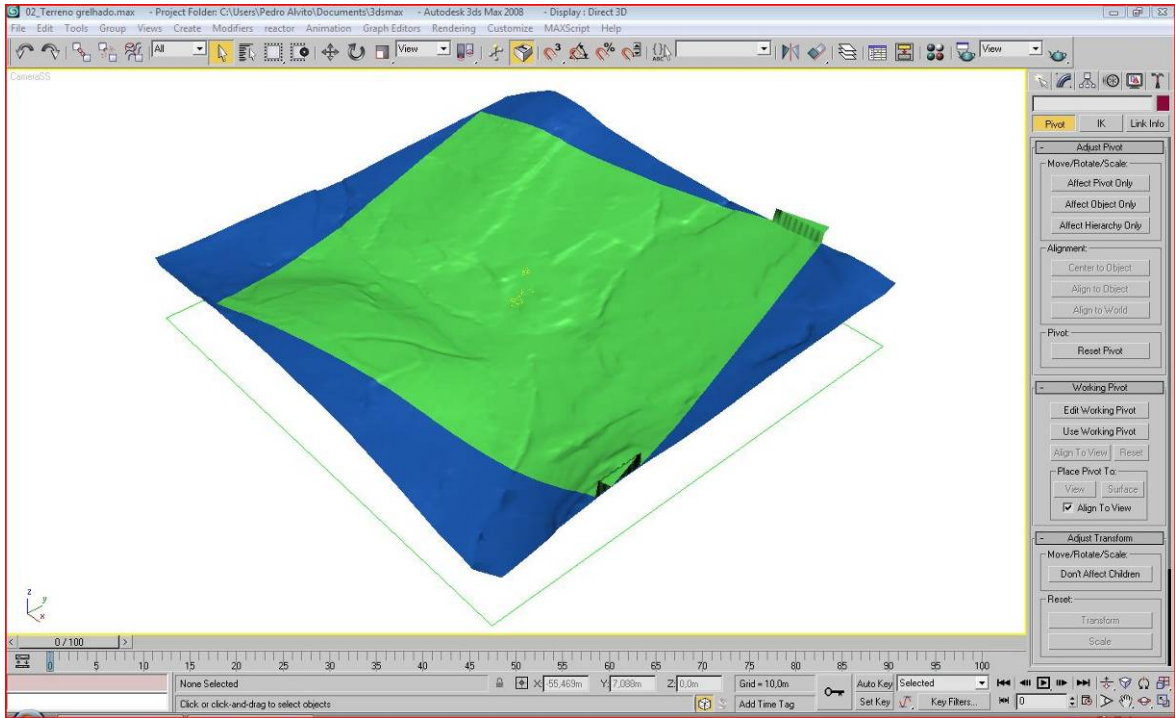
A1.7 Z-Buffer

O Z-Buffer, ou Depth Buffer (Buffer de Profundidade) é um mapa criado durante o processo de renderização, que guarda a informação de profundidade (distância à câmara) de cada pixel. Este mapa é utilizado para definir a visibilidade dos objectos, e pode ser exportado para programas de edição como o Combustion™ para a aplicação de efeitos como nevoeiro.

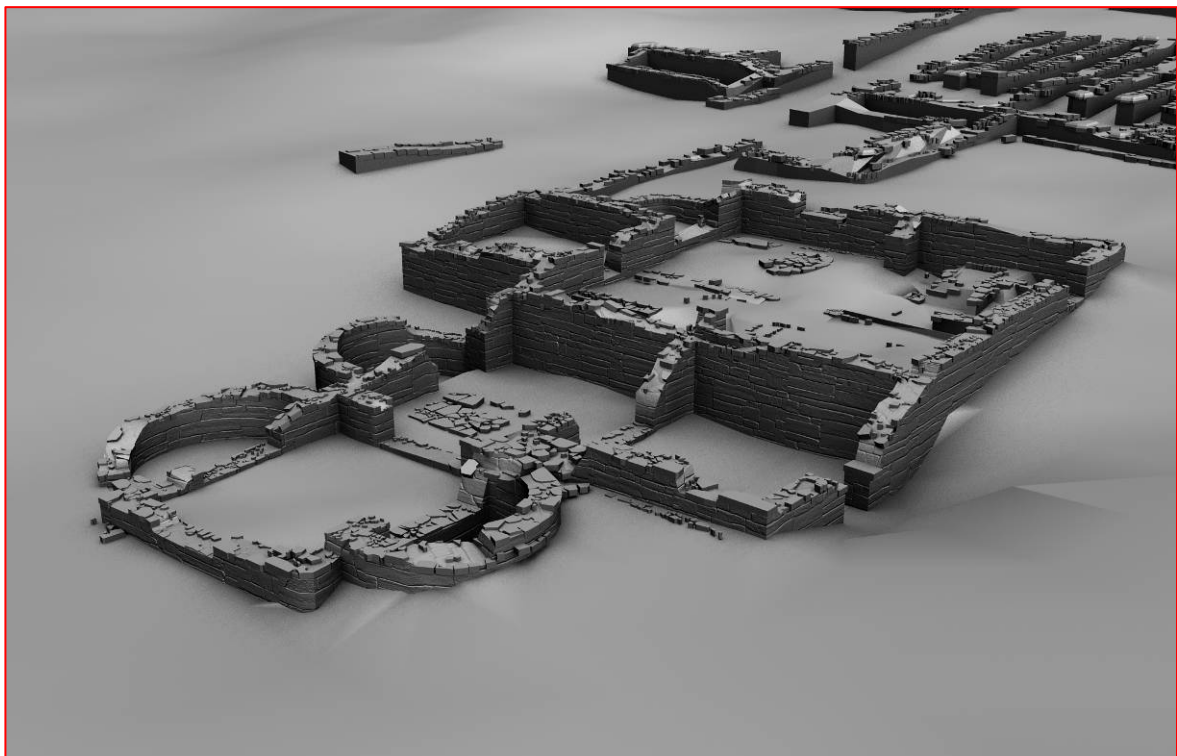
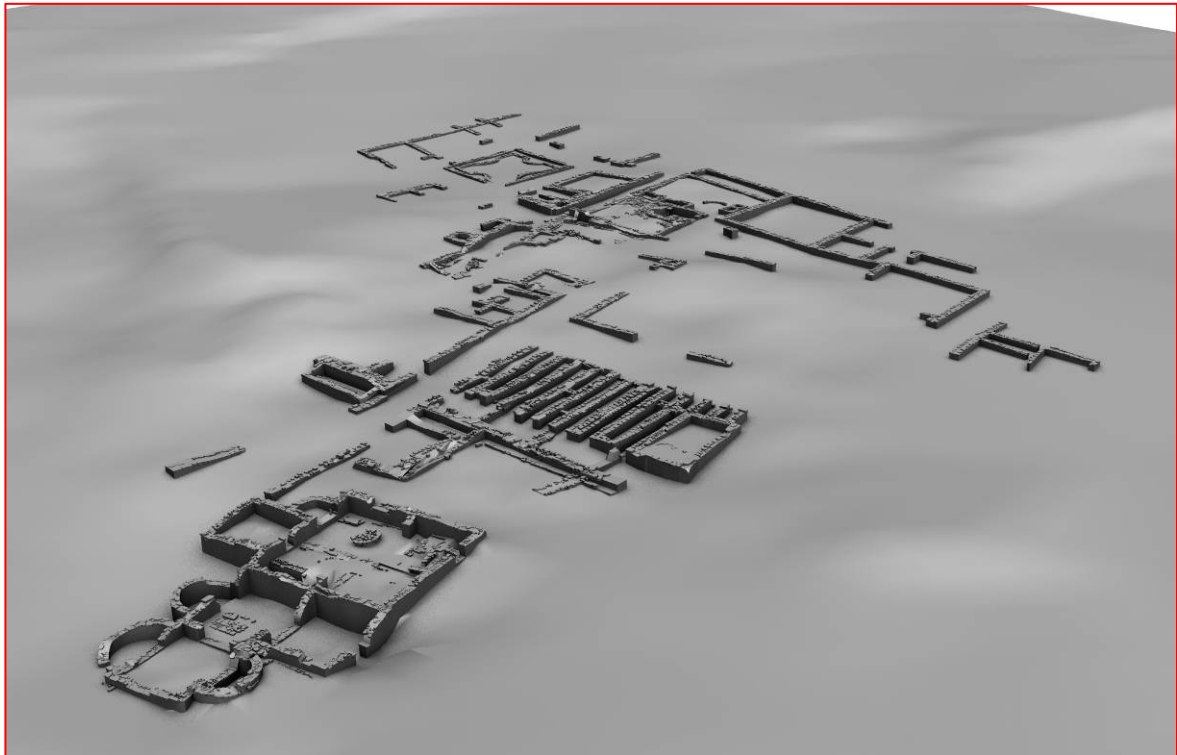
A2: Imagens do Trabalho Prático

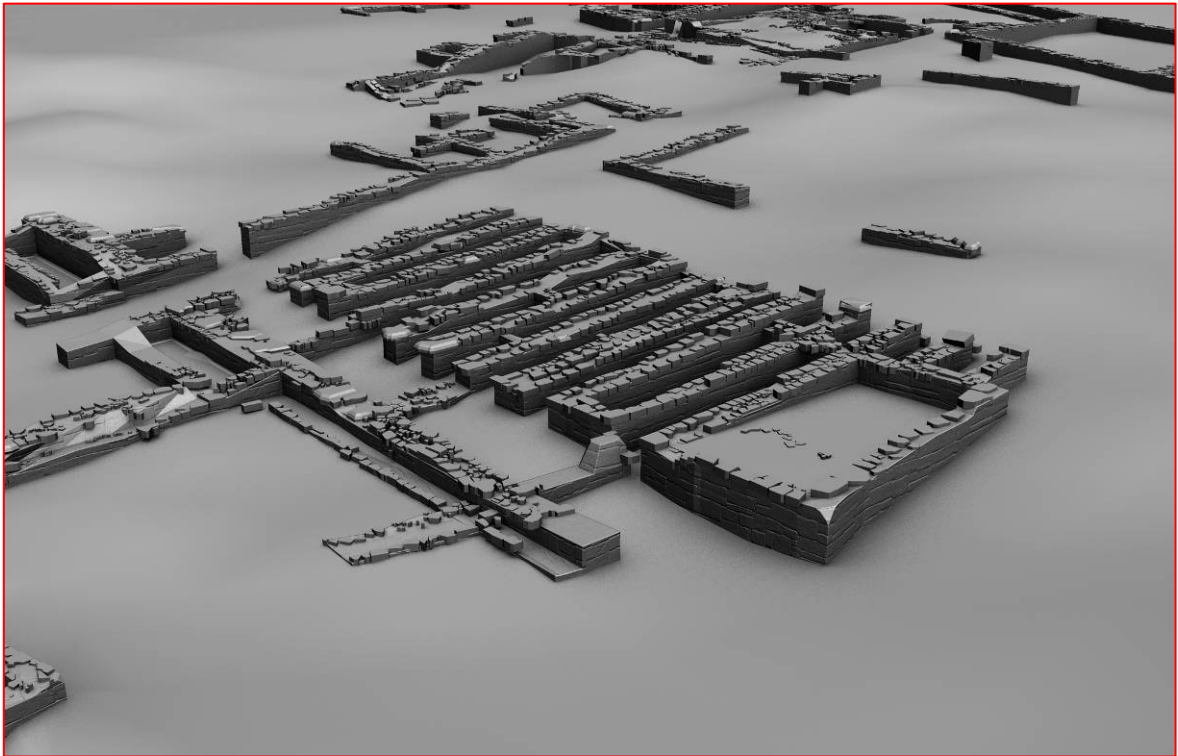
A2.1 Imagens do software de modelação





A2.2 Renders da modelação





A2.3 Imagens do motor de jogo





Bibliografia

[01] MORRISON, Michael – *Becoming a Computer Animator*. 1ª Edição

EUA: Sams, 1994

ISBN-13: 9780672304637

[02] ABRASH, Michael - *Michael Abrash's Graphics Programming Black Book Special Edition*.

The Coriolis Group, Scottsdale Arizona, 1997.

ISBN: 1-57610-174-6

[03] RODRIGUES, A. V. – *A técnica alemã de escavação arqueológica, Separata de Lucerna, Vol. I, nº 3-4*

Edições Marânus, 1985

[04] RUSSO, MARIO - *Polygonal Modeling: Basic and Advanced Techniques*

Wordware Publishing, Inc., 2005

ISBN-13: 978-1598220070

[05] HORN, D; SUGERMAN, J; HOUSTON, M & HANRAHAN, P - *Interactive k-D Tree GPU Raytracing*

Proc. 2007 Symposium on Interactive 3D Graphics

<http://graphics.stanford.edu/papers/i3dkdtree>

[06] MELÓN, José; GALARRAGA, Ane; MIRANDA, Álvaro – *Problems when generating Virtual Models representing real objects: Hondarribia walls*.

Proc. 2005 Virtual Retrospect

<http://www.vc.ehu.es/docarg/>

[07] VIEIRA; LASA; ELEXPURU – *3D Models obtained through Laser Scanner*

Proc. 2005 Virtual Retrospect

[08] MADELEINE, Sophie – *Reconstitution virtuelle d'une rue romaine*

Proc. 2005 Virtual Retrospect

[09] ALARCÃO, Jorge de – “Introdução ao estudo da CASA ROMANA”, *Cadernos de Arqueologia e Arte*, 4

Faculdade de Letras de Coimbra

Gráfica de Coimbra, 1985

[10] MACAULAY, David – *A cidade: Planificação e Construção de uma Cidade Romana*

Houghton Mifflin Co., 1978

[11] CARDOSO, G; D’ENCARNAÇÃO, J – *Espaço Cidadela: Cascais no tempo dos Romanos*

Câmara Municipal de Cascais

Instituto Português do Património Cultural

[12] CARDOSO, Guilherme – *Carta arqueológica do concelho de Cascais*

Câmara Municipal de Cascais, 1991

[13] CARDOSO, G; D’ENCARNAÇÃO, J – “A villa romana de Freiria e o seu enquadramento rural”,
Separata de *Historia Antigua*, vol. X-XI

Ediciones Universidad Salamanca, 1993

[14] CARDOSO, Guilherme – “Um tesouro monetário do Baixo Império na villa de Freiria (Cascais)”, *O Arqueólogo Português, Série IV, 13/15, 1995-1997. P. 393-413*

[15] BRUN, Jean-Pierre – “Production de l’huile et du vin en lusitanie romaine”, *Conimbriga XXXVI*,
p. 45-72

[16] CARDOSO, G; D’ENCARNAÇÃO, J – “Economia agrícola da região de Olisipo: O exemplo do
lagar de azeite da villa romana de Freiria”, *Économie et territoire en Lusitanie romaine*, pp. 391-
401

[17] CARDOSO, G; D’ENCARNAÇÃO, J – “Notas sobre a ocupação proto-histórica na villa romana
de Freiria”, *Revista de Guimarães, vol. Especial*, pp. 741-757

[18] CARDOSO, G; D’ENCARNAÇÃO, J – *Cascais Romana: Catálogo da Exposição Temporária*

Associação Cultural de Cascais, 2002

- [19] RUA, Helena – *Os dez livros de Arquitectura de Vitruvius*
Departamento de Engenharia do Instituto Superior Técnico, 1998
- [20] Devmaster.net – Your source for Game Development. Disponível em:
<http://www.devmaster.net> (23-06-2008)
- [21] CSA CAD Guide for Archaeology and Architectural History. Disponível em:
<http://www.csanet.org/inftech/cadgd/cadgdtoc.html> (10-08-2008)
- [22] VIRTOOLS – Software de visualização tridimensional em tempo real. Disponível em:
<http://www.virttools.com> (25-07-2008)
- [23] Online Archaeology. Disponível em:
<http://www.online-archaeology.co.uk/Default.aspx> (14-08-2008)
- [24] UNESCO World Heritage Center Virtual Congress. Disponível em:
<http://www.virtualworldheritage.org/> (14-08-2008)
- [25] The Elder Scrolls Construction Set Wiki. Disponível em:
http://cs.elderscrolls.com/constwiki/index.php/Main_Page (24-09-2008)
- [26] Digital Urban. Disponível em:
<http://www.digitalurban.blogspot.com/> (16-07-2008)
- [27] Crytek GmbH: Home. Disponível em:
<http://www.crytek.com/> (23-09-2008)
- [28] Wikipedia. Disponível em:
<http://www.wikipedia.org/>
<http://pt.wikipedia.org>
<http://en.wikipedia.org>

