

Computação Gráfica e Arqueologia Urbana

O caso de *Bracara Augusta*

Paulo Bernardes Manuela Martins
Unidade de Arqueologia, UM
Av. Central 39, 4710-228 Braga
{pbernardes, mmmartins}@uaum.uminho.pt

Resumo

A Computação Gráfica é, seguramente, uma ferramenta importante, e crescentemente utilizada, para representar e manipular grandes quantidades de informação de elevada complexidade.

Por sua vez a arqueologia, de uma forma geral, produz um manancial de informação de grande complexidade, pelo que a sua representação utilizando as tecnologias da Computação Gráfica constitui um elevado e aliciante desafio.

As reconstruções virtuais que representam arqueosítios, como, por exemplo, a cidade romana de Bracara Augusta, devem ser consideradas uma ferramenta importante e fundamental para o desenvolvimento da investigação levada a cabo por peritos (arqueólogos, arquitectos e especialistas em urbanismo) e para o despertar das consciências relativamente à importância da herança cultural.

Abstract

Computer Graphics is undoubtedly an important tool, widely used for representing and manipulating enormous amounts of high complex information.

Usually, the archaeological information is highly complex, so its representation using computer graphics technology is a true and engaging challenge.

Virtual reconstructions representing archaeological sites, as for example the roman town Bracara Augusta, should be considered a fundamental tool for the research improvement carried out by experts and extremely important for the uprising of cultural heritage consciousness.

Keywords

Reconstrução Virtual; Multimédia; Visualização; Arqueologia Urbana; Arqueologia Virtual;

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se vindo a assistir a uma progressiva utilização da Computação Gráfica na representação de dados arqueológicos [Barcelo98]. A Arqueologia, de uma forma geral, produz e manipula um manancial de informação de grande complexidade, pelo que a sua representação, utilizando técnicas de aquisição de dados 3D e métodos de reconstrução 3D, constitui um elevado e aliciante desafio. Apesar de esta representação virtual ser de indiscutível importância para a Arqueologia, nem sempre ela é desenvolvida de modo a servir a Arqueologia. De um modo geral, a Computação Gráfica utiliza estes modelos virtuais para testar e validar os diferentes algoritmos desenvolvidos no âmbito da modelação, visualização e navegação em mundos virtuais.

Na verdade, muitas aplicações relacionados com a reconstrução de arqueosítios ou de espólio arqueológico conferem aos objectos reconstruídos uma aparência extremamente realista. Em muitos casos será até

exageradamente realista, tendo em conta que a sua reconstrução se baseia, muitas vezes, em dados bastante incompletos e mal documentados. Este facto mostra que o discurso arqueológico nem sempre foi (e em alguns casos ainda não é) entendido pela Computação Gráfica. No entanto, este cenário tem vindo a sofrer algumas alterações, principalmente a partir do momento em que os especialistas em Computação Gráfica começaram a ter um diálogo mais construtivo com os peritos ligados ao estudo do património arqueológico, ou até, em alguns casos, começaram a procurar uma formação complementar na área da Arqueologia.

Tal como é referido em [Martins00b], a adopção de novas tecnologias na Arqueologia, e particularmente na Arqueologia Urbana, para ajudar a investigação, a gestão e a apresentação do passado, é uma consequência natural que resulta da necessidade de gerir enormes quantidades de dados arqueológicos e, também, da evolução rápida das novas tecnologias, cada vez mais adaptáveis ao processamento de informação arqueológica.

O desenvolvimento de reconstruções virtuais que representam arqueossítios, como, por exemplo, a cidade romana de *Bracara Augusta*, deve ser considerado uma ferramenta importante e poderosa para o desenvolvimento da investigação levada a cabo por especialistas (arqueólogos, arquitectos, urbanistas) e para a ampliação da consciência cívica relativamente à importância da Herança Cultural.

1.1 Motivação

Em Arqueologia, os vestígios existentes acerca de uma estrutura podem ser apenas alguns fragmentos de muros, alicerces, pilares ou colunas extremamente danificados pela acção do Homem ao longo dos anos. Um edifício ou infra-estrutura pode ter sido alterado ou reconstruído diversas vezes, o que determina modificações significativas tanto na sua aparência como na sua funcionalidade. Daqui se pode inferir que uma necessidade dos arqueólogos consiste em utilizar uma ferramenta capaz de representar, para um determinado arqueossítio, interpretações alternativas, bem como mudanças ao longo do tempo.

As escavações realizadas em Braga nos últimos 27 anos produziram uma imensa quantidade de informação, apenas entendida por especialistas, que produzem um discurso muito próprio. Este discurso, devido à sua especificidade, nem sempre é correcta ou facilmente apreendido pelo público. Mas, para sensibilizar a população para os problemas e dificuldades que a Arqueologia Urbana enfrenta, particularmente em Braga, e para contribuir, no que diz respeito a *Bracara Augusta*, para a democratização do saber, é necessário simplificar o discurso arqueológico.

Assim, este trabalho não procurará desenvolver ou otimizar as tecnologias existentes da Computação Gráfica, mas antes entender o discurso dos arqueólogos e traduzir esse discurso para a linguagem própria da Computação Gráfica. Só desta forma se pode assegurar rigor e qualidade na divulgação da Arqueologia, ou da Herança Cultural, usando a Computação Gráfica: as imagens produzidas não serão apenas imagens bonitas, mas sim imagens ou reconstituições virtuais que servirão, também, de ferramenta ao arqueólogo na sua própria investigação.

1.2 Objectivos

O objectivo principal deste trabalho consiste em representar virtualmente a cidade de *Bracara Augusta*, bem como a sua evolução ao longo de cinco séculos. Este modelo virtual deverá permitir ao seu utilizador, independentemente da sua especialização, percorrer o espaço reconstruído de *Bracara Augusta*. Para além disso é também possível mostrar a evolução no tempo, de forma a fazer uma leitura da cidade em termos temporais.

Por outro lado, o mesmo modelo deverá servir, também, no processo de validação das reconstituições arquitectónicas que resultam da interpretação dos dados arqueológicos. As vantagens destas reconstruções virtuais não residem apenas na partilha do conhecimento. O próprio processo

de criação dos modelos tridimensionais conduz, com alguma frequência, a descobertas adicionais.

Em suma, a reconstrução virtual deverá ser capaz de servir de ferramenta de investigação aos peritos que têm de estudar os dados arqueológicos e, também, terá de cumprir a função de divulgar esses mesmos dados, já devidamente analisados e tratados, a um público muito mais vasto e leigo.

2. O PROJECTO BRACARA AUGUSTA

Como é referido em [Martins00a], a realidade portuguesa até aos anos 60, no que respeita à relação entre as cidades históricas portuguesas e a Arqueologia, era muito semelhante aos restantes países europeus. Nas décadas de 50 e 60 aparecem, com alguma frequência, vestígios romanos um pouco por todo o país. Isto porque foi nesta altura que se iniciou uma fase de renovação dos equipamentos urbanos, nomeadamente redes de saneamento, água e telefones. Com a abertura de valas de implantação para estes equipamentos urbanos, foram-se descobrindo vestígios arqueológicos por todo o lado.

Também foi nesta altura que se verificou, graças ao capital da emigração e um pouco por todo o país, uma expansão urbana que avançou de uma forma descontrolada para terrenos onde, em muitos casos, estavam sepultadas as antigas cidades romanas. Este avanço provocou, como infelizmente foi o caso de Braga, uma destruição irreparável de estruturas e de espólio, fundamentais para ampliar o conhecimento acerca do passado da cidade [Martins92].

Em Braga, precisamente para travar a destruição em massa que aqui decorria, foi criado em 1976 o Projecto de *Bracara Augusta* [Martins98], que se destinava a salvar a zona Arqueológica de Braga. Este projecto, que possui contornos muito particulares, uma vez que foi criado por uma decisão governamental, permitiu a constituição de uma equipa, dependente da Universidade do Minho, para fazer face às intervenções arqueológicas na área urbana de Braga.

Ao longo de mais de 1 quarto de século de existência, este projecto teve de enfrentar diversas dificuldades e passou por diferentes fases que ditaram diferentes estratégias e ritmos de intervenção arqueológica na cidade de Braga.

Inicialmente, o objectivo deste projecto era o salvamento da área arqueológica da cidade romana e envolveu um conjunto de iniciativas legislativas e um vasto trabalho arqueológico de salvamento e emergências. Este trabalho foi acompanhado por prospecções geofísicas para delimitar, com algum rigor, a área de *Bracara Augusta*. Esta definição rigorosa da área da antiga cidade romana tinha em vista a protecção legal dos terrenos que faziam parte dessa área. Já na década de 80 o projecto de salvamento evoluiu para um projecto de investigação, que procurava definir o urbanismo e a arquitectura de *Bracara Augusta*.

No entanto, um conjunto de circunstâncias menos favoráveis remeteram para segundo plano a componente

científica, dando de novo, prioridade aos salvamentos e emergências. Não obstante, o projecto de *Bracara Augusta* mantém, ainda hoje, tanto a componente de salvamento, como a de investigação. Este facto faz dele um projecto pioneiro e único no nosso país. A direcção científica deste projecto depende da Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho e esta situação permitiu que as intervenções arqueológicas em Braga não fossem consideradas escavações de circunstância, mas sim integradas numa intervenção coerente em termos de investigação da antiga cidade romana.

Também na área da informática aplicada à Arqueologia, este projecto se tornou pioneiro. De facto, desde 1996 [Martins98] a equipa responsável pelo projecto *Bracara Augusta* apostou na informatização dos dados provenientes de dezenas de intervenções realizadas em Braga. Estes dados foram então integrados no Sistema de Informação Arqueológica de *Bracara Augusta* (SIABRA) [Giestal98], que é um SIG dedicado ao projecto *Bracara Augusta*. O SIABRA é, como todos os SIG, um sistema geo-referenciado que trata a informação arqueológica de Braga com vista a garantir e auxiliar a preservação, investigação, gestão e divulgação do património arqueológico da cidade.

A etapa seguinte deste projecto consistiu em recorrer às potencialidades da reconstrução virtual para proceder à representação tridimensional de *Bracara Augusta*. Esta representação, que foi realizada a partir dos dados arqueológicos que se encontram no SIABRA, possibilita um melhor entendimento de *Bracara Augusta*, tendo em conta que se podem visualizar as reconstituições de alguns espaços desta cidade romana.

3. COMPUTAÇÃO GRÁFICA EM ARQUEOLOGIA

Ainda hoje a aplicação da Computação Gráfica, particularmente dos ambientes virtuais e multimédia, é mais conhecida junto de áreas tais como a arquitectura e planeamento urbano, a medicina, a visualização científica e a formação e treino. No entanto, a área da Herança Cultural Virtual e tem vindo a tornar-se cada vez mais importante, no que diz respeito à conservação, preservação e interpretação do imenso legado histórico da Humanidade [Refsland00]. De facto, a vasta área de aplicação dos ambientes virtuais permite-nos concluir que estes constituem uma forma privilegiada de divulgação de aspectos culturais e científicos. A Cultura e a Ciência são assimiladas e compreendidas mais facilmente, uma vez que os utilizadores podem interagir com o mundo virtual e manipular os dados, produzindo diferentes modelos de conhecimento.

As primeiras aplicações da Computação Gráfica à arqueologia datam dos finais dos anos 70 [Badler78], começaram a intensificar-se em finais dos anos 80 e inícios dos anos 90 e foram desenvolvidas em países como Inglaterra [Reilly87], Estados Unidos [Cornforth91] e Alemanha [Jakobs94].

No entanto, é de notar que quando se começou a aplicar estas novas tecnologias à Arqueologia os resultados nem sempre satisfaziam as necessidades dos especialistas nem a curiosidade do público [Addison00]. Esse fracasso deveu-se, fundamentalmente, ao facto da tecnologia de então ainda estar numa fase larvar e, também, à circunstância de haver pouca sensibilidade, por parte dos peritos das novas tecnologias, para o discurso arqueológico. Hoje, estas dificuldades estão mais suavizadas tendo em conta que as tecnologias ligadas à reconstrução virtual e multimédia evoluíram muito e, também, que as equipas que trabalham em projectos de reconstituição de um sítio arqueológico são cada vez mais multidisciplinares.

Um dos primeiros trabalhos apresentados nesta área, em Portugal, foi a reconstituição virtual do Mosteiro de Santa Clara-a-Velha [Teixeira97], em Coimbra. É de notar que o interesse de investigadores ligados à Computação Gráfica pela arqueologia já se verifica há algum tempo, como se pode verificar em [Brodlie87] e em [Spicer87], e que, com a evolução da Computação Gráfica, este interesse se justifica cada vez mais [Berndt00].

3.1 A importância da CG em Arqueologia

A reconstrução arqueológica, usando um grande número de técnicas de Modelação Geométrica e de Computação Gráfica, é uma ferramenta de suporte à investigação muito útil se os modelos forem rigorosos. Como o rigor é um grande objectivo de todos os arqueólogos, é necessário investir em recursos que permitam a obtenção do mesmo, por forma a preservar e transmitir subtilezas que, de outro modo, se poderão perder, ser ignoradas em processos futuros de estudo e investigação ou deixar de ser conhecidas pelas gerações vindouras.

A divulgação da informação arqueológica, usando os ambientes virtuais e o multimédia, é também de enorme importância para a democratização do saber, prestando um importante auxílio, no que diz respeito à descodificação da informação arqueológica para o grande público e, conseqüentemente, favorecendo a consciencialização da importância do património arqueológico.

A partir de ruínas e de fragmentos de diferentes artefactos, os arqueólogos tem de recriar modelos que sejam capazes de transmitir a vivência de comunidades desaparecidas há vários séculos, ou até mesmo milénios. A sua tarefa não se resume apenas a escavar, a recolher os dados e a organizá-los, mas também e fundamentalmente a interpretar e criar modelos cognitivos do passado.

Precisamente para criar uma visualização do passado, os arqueólogos dispõem já de um conjunto de ferramentas na área da Computação Gráfica, que concretiza as suas representações mentais através de modelos tridimensionais. Estas reconstituições 3D virtuais servirão para a investigação e poderão ser partilhados

com outras pessoas. O trabalho apresentado em [Abouaf99] reflecte bem esta situação.

Efectivamente, os ambientes virtuais aplicados à Arqueologia são uma ferramenta particularmente interessante para os arqueólogos divulgarem as suas interpretações. Em vez de descrever uma escavação recorrendo a um texto e a desenhos, pode-se reconstruir um arqueosítio em três dimensões e explorá-lo interactivamente.

Além disso, à medida que novos dados vão sendo disponibilizados, o modelo virtual pode ser actualizado com essa informação. Outra forma de melhorar os modelos do passado passa por introduzir-lhes maior detalhe e mais rigor, recorrendo ao trabalho cooperativo, em ambiente virtual, entre arqueólogos. Esta partilha de conhecimento verifica-se também com o público em geral. Geralmente, a informação sobre um sítio arqueológico é divulgada em publicações e, também, através de exposições, em museus. No entanto, neste último caso esta forma de divulgação apresenta algumas limitações:

- Grande parte dos museus reservam apenas algum espaço para as suas exposições, pelo que cada uma pode estar montada apenas durante algum tempo e mostrando apenas parte do espólio;
- Durante a exposição o espólio de um sítio arqueológico corre sempre o risco de ser danificado por acção humana ou mesmo furtado;
- A exposição de algumas peças à acção do ar e da luz directa pode causar danos irreparáveis às mesmas.

Uma forma de minimizar estas limitações passa precisamente pela utilização de ambientes virtuais para divulgar não apenas o espólio de um arqueosítio, mas também os contextos onde esse espólio foi encontrado.

Assim, e para que o rigor da informação científica seja preservado, é necessária uma elevada atenção durante a produção dos conteúdos que pretendem ser divulgados. Estes dependem, naturalmente, dos diferentes tipos de público-alvo a que se destinam. Para os especialistas os conteúdos terão muito mais importância do que o meio de divulgação, uma vez que aquilo que lhes interessa é o rigor científico da informação.

De facto, para o arqueólogo as simulações em ambientes virtuais podem e devem ser entendidas como informação complementar aos mapas, plantas e cortes com os quais se encontra familiarizado. Por sua vez, o estudante é especialmente sensível à forma como a informação lhe é transmitida. Para o grande público o interesse poderá residir essencialmente nos aspectos de inovação tecnológica, que complementam o conteúdo. Neste último caso, o conteúdo deverá conter informações de carácter geral que facilmente possam ser absorvidas por um público menos exigente.

3.2 Alguns Projectos

No que diz respeito à aplicação de ambientes virtuais na reconstrução de espólio existem alguns projectos muito

interessantes, como é o caso de [Steckner98] e de [Brogni98].

Um trabalho também particularmente válido nesta área está descrito em [Zheng00]. O projecto em questão, que conta na sua equipa com arqueólogos, conservadores de museu e investigadores na área da informática, usa a Computação Gráfica, ambientes virtuais e multimédia para investigar a possibilidade de recuperar algumas relíquias desenterradas na China, no "*Museum of the Terra Cotta Warriors and Horses*". O sítio arqueológico, que foi descoberto à cerca de 20 anos, conta com uma equipa de oitenta pessoas a qual já pôs a descoberto aproximadamente 3000 esculturas das 8000 estimadas. Este projecto de recuperação procura concretizar os seguintes objectivos:

- Digitalização do espólio escavado;
- Teste e utilização de técnicas de recuperação em Ambiente Virtual;
- Apresentar os resultados numa exposição virtual.

Muito embora a importância da reconstituição virtual do espólio de um arqueosítio seja indiscutível e mereça, segundo [Papaioannou01], particular atenção por parte da informática, esta é maioritariamente utilizada na reconstituição de estruturas e edifícios desaparecidos ou em avançado estado de degradação.

Um exemplo claro desta prática é o que se está a fazer no Sítio Romano de *Sagalassos* (Sudoeste da Turquia) [Pollefeys98]. Há, também, projectos que procuram restituir as estruturas de uma forma mais completa, como é o caso da restituição da *Domus Aurea* de Nero e do Coliseu em Roma [Forte98a], das termas de Badalona (*Baetulo*) [Costa98], da reconstrução da cidade medieval Turku na Finlândia [Uotila98] ou da reconstrução do castelo de Ferrara em Itália [Forte98b].

Actualmente estão a decorrer vários projectos que utilizam os ambientes virtuais como uma interface para a investigação e análise arqueológica. Um destes projectos é o ARCHAVE, que é um sistema que representa todos os componentes de uma escavação arqueológica no contexto de uma reconstrução arquitectónica do Templo de Petra na Jordânia [Acedo00].

O ARCHEOGUIDE (*Augmented Reality based Cultural Heritage On-site GUIDE*) é um outro projecto que utiliza já a realidade aumentada para o estudo e divulgação de um sítio arqueológico ou de interesse cultural [Hildebrand00]. Estes exemplos atestam, sem dúvida, alguma importância dos ambientes virtuais na arqueologia e mostram, também, que o recurso a esta tecnologia está em fase crescente.

4. O CASO DE BRACARA AUGUSTA

Como já foi referido anteriormente, a evolução urbana da cidade de Braga ditou, em alguns casos, a destruição de importantes vestígios arqueológicos referentes à ocupação romana desta cidade. Este facto transformou a interpretação arqueológica, já por si bastante difícil e subjectiva, numa tarefa extremamente delicada.

Por este motivo, a reconstituição virtual da antiga cidade romana de *Bracara Augusta* foi, e continuará a ser, uma tarefa complexa, que sofrerá uma evolução constante à medida que forem descobertos novos vestígios, os quais produzirão mais informação para enriquecer e completar a reconstituição actual.

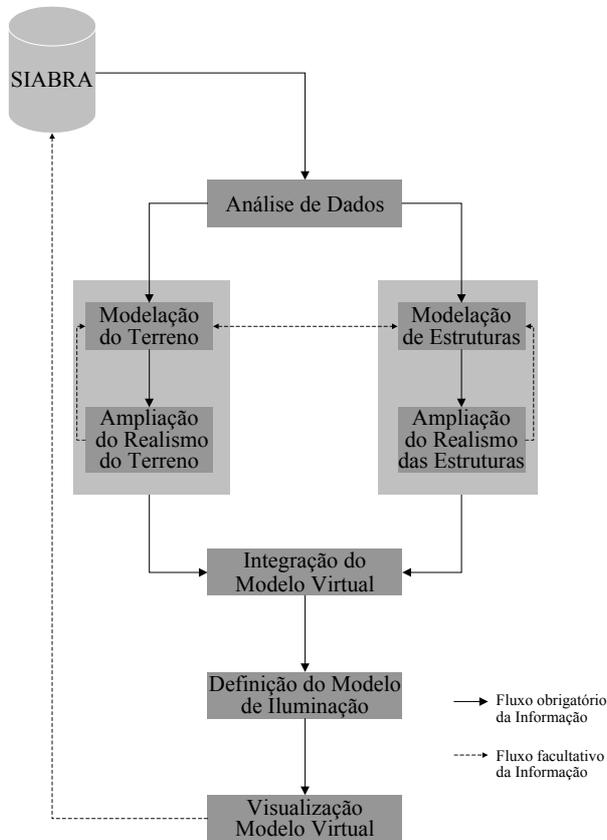


Figura 1: Metodologia de restituição de *Bracara Augusta*

O modelo tridimensional de *Bracara Augusta* surgiu a partir de um processo construtivo que compreendeu um conjunto de tarefas, as quais podem ser agrupadas nas seguintes fases (ver figura 1):

- Análise dos dados existentes;
- Modelação das estruturas e do terreno envolvente;
- Texturação dos modelos;
- Integração dos modelos das estruturas no modelo do terreno;
- Definição de um modelo de iluminação adequado à cena virtual;
- Visualização da reconstrução virtual de *Bracara Augusta*.

4.1 Análise de Dados

A análise dos dados provenientes das escavações e já devidamente interpretados é, de facto, o ponto de partida para todo o processo de reconstrução virtual de *Bracara Augusta*. Estes dados estão disponíveis no SIABRA e materializam-se da seguinte forma:

- Plantas das escavações;
- Alçados, planos e cortes das estruturas escavadas;
- Valores de cotas de terreno;
- Informação fotográfica;
- Informação escrita;
- Plantas, cortes e alçados resultantes da interpretação dos dados das escavações.

É, principalmente, este último tipo de informação que vai ser preponderante na modelação tridimensional das estruturas que foram encontradas em *Bracara Augusta*. São estes dados que vão dar forma à cidade.

Todos os outros elementos são necessários para, com rigor, aumentar o grau de realismo e de pormenor dos modelos tridimensionais das construções que compõem o modelo virtual de *Bracara Augusta*.

A análise de todos estes dados foi de capital importância para:

- Compreender a dimensão e complexidade de *Bracara Augusta*;
- Hierarquizar correctamente os modelos das estruturas;
- Definir o grau de detalhe na construção de cada modelo tridimensional;
- Estabelecer os níveis de detalhe mais adequados para a visualização.

4.2 Desenvolvimento dos Modelos Virtuais

Como já foi mencionado anteriormente, os dados mais importantes para restituir volumetricamente *Bracara Augusta* são as plantas, cortes e alçados existentes sobre as estruturas encontradas. A partir destes dados, procurou-se modelar geometricamente todos os edifícios e infra-estruturas conhecidas da cidade romana fazendo uso da técnica de modelação de sólidos conhecida por Geometria de Sólidos Construtiva (*Constructive Solid Geometry - CSG*) [Mäntyla88].

O terreno que envolve a cidade romana foi recriado usando as curvas de nível de um mapa do século XIX. Tendo em conta a natureza destes dados, o tipo de modelação que será aplicada neste caso não será a modelação de sólidos, mas sim, a modelação de superfícies.

No caso do terreno de *Bracara Augusta*, a modelação de superfícies consistiu em recriar uma superfície a partir de um conjunto finito de pontos existentes no espaço.

4.2.1 Estruturas Arquitectónicas e Infra-estruturas

A reconstituição tridimensional das estruturas arquitectónicas de *Bracara Augusta* representam um exercício bastante complexo que obedeceu a uma metodologia comum, apresentada nos parágrafos seguintes, e desenvolvida em duas fases:

- Modelação;
- Ampliação do Realismo.

Os modelos tridimensionais das estruturas arquitectónicas foram desenvolvidos utilizando o *MicroStation 95* da *Bentley* [Olson96] e o *Caligari trueSpace™4 v4.3* [CALIGARI98].



Figura 2: Pavimentos de circulação à cota exacta

Nas estruturas arquitectónicas de *Bracara Augusta*, o primeiro passo consistiu em modelar as plataformas de circulação dos edifícios, com base na informação da planta dos mesmos e no valor das cotas de terreno. Assim, como se pode observar na figura 2, o chão de cada edifício é representado por um conjunto de cubos cuja forma inicial foi modificada por transformações geométricas apropriadas. No caso particular das infra-estruturas de *Bracara Augusta* este primeiro passo consistiu em adaptar o traçado, tanto da muralha como das ruas, à morfologia do terreno, que na circunstância é bastante irregular.



Figura 3: Estruturas de um edifício

O passo seguinte nesta fase de criação dos modelos virtuais consistiu em recriar as paredes interiores e exteriores do edifício. Estas paredes também foram modeladas a partir de cubos, aos quais são aplicadas transformações geométricas, que os posicionam correctamente no modelo e lhe dão a forma aproximada (ver figura 3). Depois, e tendo em conta a informação dos alçados e dos cortes projectados pelos, são criados sólidos que têm os contornos das janelas, das portas ou de outras aberturas e com espessura superior à das paredes do modelo. Estes objectos vão depois cruzar as paredes nos sítios onde estão localizadas as diferentes aberturas e, com o auxílio de operações de subtracção, são criadas nas paredes dos edifícios as respectivas portas e janelas (ver figura 4).

O passo seguinte consistiu em modelar, ainda tendo em conta a informação das plantas e os modelos

arquitectónicos, a estrutura que suportava o telhado. Esta estrutura é modelada, mais uma vez, a partir de uma forma simples, na circunstância um cubo, que é modificado a partir de operações booleanas regulares e transformações geométricas até atingir a forma desejada. Depois é posicionada sobre o modelo já existente, que posteriormente é coberto com objectos modelados que representam as telhas romanas (as *tegulae*). O efeito final da modelação pode ser observado na figura 5. Para as infra-estruturas, este último passo é dispensável.

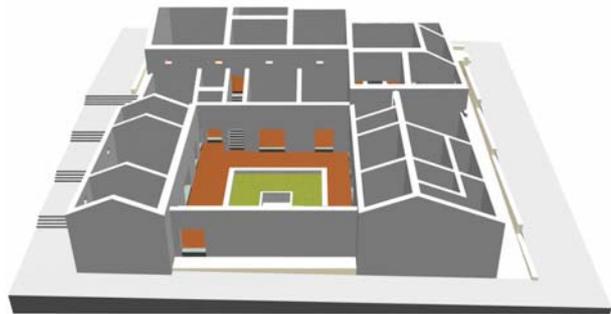


Figura 4: Aberturas nas paredes

Frequentemente, após a modelação da estrutura do telhado e da cobertura, verifica-se a necessidade de proceder a alguns ajustes, no que diz respeito à modelação das paredes e de interiores.

Durante toda a fase de modelação existiu sempre a preocupação de estabelecer uma hierarquia correcta entre os vários objectos para facilitar, mais tarde, todo o processo de *rendering* e de animação de objectos que compõem os modelos.



Figura 5: Modelo completo de um edifício Romano

As propriedades materiais são um aspecto fundamental, no que concerne ao grau de realismo com que se pretende visualizar um cenário virtual, tendo em conta que o material é a informação atribuída a um objecto para que este tenha uma determinada aparência.

A hierarquização da cena é, também aqui, importante para a tarefa de definição das propriedades materiais dos diferentes objectos. Na verdade, o modelo virtual vai ficar estruturado em árvore, onde as folhas representam todos os objectos da cena, e os nós correspondem a agrupamentos de objectos que possuem o mesmo tipo de material. Desta forma, o processo de atribuição das características materiais aos diferentes objectos está facilitado. Mais ainda, fica minimizada a hipótese de se

esquecer de atribuir, ou de atribuir erradamente, características materiais a algum objecto.

Assim, para todos os objectos, que compõem a reconstituição virtual de *Bracara Augusta*, são definidas as respectivas propriedades materiais, cujos parâmetros são:

- A cor;
- A reflexão difusa e especular;
- O índice de refacção;
- O brilho e transparência.

A tarefa da texturação de um modelo tridimensional começa com a criação de texturas que confirmam ao modelo um aspecto mais realista. Este processo é naturalmente facilitado quando as estruturas encontradas, durante a intervenção arqueológica, se encontram em bom estado de conservação. Neste caso, as texturas são obtidas a partir de fotografias de estruturas, tratadas num sistema de processamento de imagem.

No caso de *Bracara Augusta*, no entanto, não é muito frequente encontrar estruturas que possam servir de base para texturas realistas. Aqui, e porque a arquitectura e o urbanismo romano obedeciam a regras muito claras, a criação de texturas passa por um processo de pesquisa de sítios que possuam estruturas semelhantes e contemporâneas às de *Bracara Augusta*. O levantamento fotográfico dessas estruturas e o posterior tratamento digital permite, então, a obtenção de texturas adequadas ao modelo 3D.

A aplicação das texturas ao modelo 3D finaliza a tarefa da texturação e não envolve qualquer dificuldade.

4.2.2 Terreno Envolvente

A modelação do terreno envolvente foi desenvolvida utilizando, também, o *MicroStation 95* da *Bentley* para o tratamento bidimensional da informação. O modelo 3D do terreno foi obtido com o *AutoCAD® Land Development Desktop R2* da *Autodesk* [Autodesk99].

Utilizando as ferramentas do *AutoCAD® Land Development* para a criação de terrenos, foi modelada uma superfície que corresponde ao terreno da área envolvente de *Bracara Augusta*, representada através de uma rede irregular de triângulos (*Triangulated Irregular Network – TIN*).

Para diminuir o número de polígonos da superfície do terreno, transformou-se a superfície, constituída por uma rede de triângulos, numa superfície de malha de quadriláteros. Apesar de se verificar uma diminuição de precisão no modelo do terreno, este passo é extremamente vantajoso uma vez que se reduz para cerca de um quarto o número de faces. Desta forma contribuiu-se para um melhor desempenho computacional de todo o modelo de *Bracara Augusta* virtual.

Todo o processo para incrementar o realismo visual do terreno é semelhante ao descrito para o caso da modelação de estruturas arquitectónicas. Também para o terreno é necessário definir uma cor, atribuir um valor

adequado à reflexão difusa e especular, ao brilho e à transparência e, ainda, estabelecer o valor ideal para o índice de refacção.

4.3 Integração da Informação

A integração dos modelos tridimensionais consistiu em posicionar as diferentes estruturas e infra-estruturas correctamente sobre o modelo do terreno de *Bracara Augusta*.

Naturalmente que existem sempre alguns ajustes e adaptações que se têm de fazer quando se integram as estruturas e infra-estruturas num terreno, mas, tendo em conta que todo o trabalho feito anteriormente, desde o levantamento dos dados no sítio arqueológico à integração da informação no SIABRA, foi sempre de elevado rigor e qualidade, esta tarefa não se revelou de execução difícil. Na figura 6 podemos observar o efeito final da integração da informação.

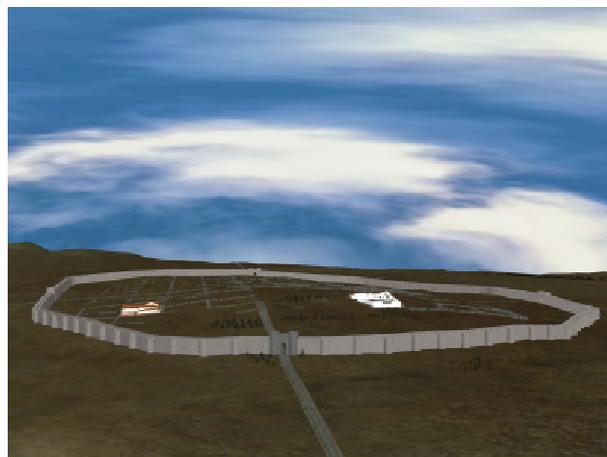


Figura 6: Integração da informação

Para além dos modelos rigorosos que foram criados, houve também necessidade de desenvolver modelos de edifícios simplificados, com os quais se preencheram todos os quarteirões de *Bracara Augusta* e sobre os quais ainda não existe informação, ou os seus dados ainda não foram convenientemente analisados e interpretados (ver figura 7).



Figura 7: Reconstrução global de *Bracara Augusta*

4.4 Modelo de Iluminação

Um modelo de iluminação pretende ser um meio para aumentar o realismo visual de um cenário virtual. Para isso, é feita uma combinação de diferentes tipos de luz e fontes de luz, tais como:

- Luz Ambiente;
- Fonte de Luz Direccional;
- Fonte de Luz Pontual.

No caso da reconstituição virtual de *Bracara Augusta*, o modelo de iluminação encontrado despreza a componente da luz ambiente e combina apenas a fonte de luz direccional com a fonte de luz pontual. Desta forma, o modelo de iluminação resulta numa maior aproximação à realidade.



Figura 8: Iluminação global

O modelo de iluminação utilizado para a reconstituição virtual de *Bracara Augusta* compreende uma fonte de luz direccional, posicionada estrategicamente na cena e com a qual se consegue simular o Sol e, conseqüentemente, a iluminação global do espaço (ver figura 8).



Figura 9: Iluminação interior

Para além das fontes de luz direccionais, foram utilizadas fontes de luz pontuais de modo a simular a iluminação associada aos edifícios do modelo virtual. A diferente combinação deste tipo de luz conseguiu produzir um

conjunto de sombras, tornando mais realistas os interiores dos compartimentos e dos espaços dos conjuntos arquitectónicos que foram reconstituídos (ver figura 9).

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O passado afigura-se como um elemento cada vez mais importante na sociedade contemporânea. Daí que a sua correcta representação se torna crescentemente importante. No entanto, é importante ter sempre em mente que esta representação do passado não é o passado em si, mas apenas um modelo do mesmo que resulta dos dados disponíveis e da sua interpretação.

Sem qualquer tipo de dúvida, pode-se afirmar que a Computação Gráfica, o Multimédia e os Ambientes Virtuais possuem técnicas e metodologias fundamentais para a representação desse passado, contribuindo, efectivamente, para uma melhor conservação, preservação e interpretação do património cultural e, muito particularmente, do património arqueológico.

A representação virtual de *Bracara Augusta* constituiu um importante passo no projecto de *Bracara Augusta*, na medida em que, a partir de agora, os dados sobre as escavações são representados, sempre que possível, de uma forma tridimensional. Para além da tridimensionalidade do espaço, também a representação cronológica da evolução da ocupação espacial é feita a três dimensões.

A importância desta forma de representação da informação arqueológica reflecte-se, principalmente, a nível da divulgação dos resultados de escavação junto do público leigo. De facto, um público não-especialista entende muito melhor um determinado arqueossítio se tiver a possibilidade de o ver reconstituído virtualmente. Por outro lado, desta forma, a informação arqueológica não será pertença exclusiva dos arqueólogos, contribuindo para uma maior e importante democratização do saber. Assim, torna-se mais fácil alertar a população em geral para a problemática da preservação e conservação do património arqueológico, inculcando nelas uma maior consciência para a herança cultural.

Mas, as vantagens são, também, imensas para o especialista que está a estudar um sítio arqueológico. A representação virtual de um determinado sítio arqueológico baseia-se, sempre, numa interpretação elaborada por uma equipa de especialistas (arqueólogos, arquitectos e historiadores). Essa representação é apenas um dos modelos interpretativos. Os dados existentes poderão contribuir para o aparecimento de outros modelos interpretativos, que nem por isso serão menos válidos, partindo do princípio que se baseiam em pressupostos verdadeiros. O facto de estas representações serem modelos geométricos tridimensionais, facilita a criação de outros modelos geométricos que representam diferentes interpretações.

Se é verdade que os modelos virtuais carecem de ser validados pelos especialistas, não é menos verdade que

algumas interpretações de estruturas são corrigidas durante o processo de criação dos modelos virtuais. De facto, tradicionalmente as interpretações são representadas em suporte papel, ou seja, em desenhos bidimensionais. Ao transformar esta informação em modelos tridimensionais, pode acontecer que a equipa de investigação seja alertada para algumas inconsistências, que rapidamente são ultrapassadas. Apesar de ser globalmente positivo representar o património arqueológico em ambiente virtual, isto não significa que este procedimento apresente apenas vantagens para a Arqueologia.

As representações gráficas em suporte computacional são, por vezes, de tal forma realistas que rapidamente podem ser entendidas como se de realidade se tratasse. Este facto representa um equívoco que pode ser perigoso, na medida em que um público menos informado pode confundir a virtualidade com a realidade. Não é isso que é pretendido com a aplicação dos ambientes virtuais à Arqueologia. Esta deve ser entendida como forma de recriar o passado, facilitando a sua assimilação e simultaneamente uma ampliação do próprio conhecimento, pois a sua representação melhora significativamente as grelhas mentais com que o arqueólogo lê o registo arqueológico.

6. BIBLIOGRAFIA

- [Abouaf99] J. Abouaf. The Florentine Pietá: Can visualization solve the 450-year-old Mystery? *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.19, num.1, Janeiro-Feveiro, págs.6-10. 1999.
- [Acevedo00] D. Acevedo, E. L. Vote, D. Laidlaw e M. S. Joukowsky, *ARCHAVE: A Virtual Environment for Archaeological Research*, in *IEEE Visualization 2000 Proceedings, Virtual Reality in Archaeology*, Salt Lake City - Utah - USA 2000.
- [Addison00] A. C. Addison. Emerging Trends in Virtual Heritage. *IEEE Multimedia*, vol.7, num.2, Abril-Junho, págs.22-25. 2000.
- [Autodesk99] Autodesk, *AutoCAD Land Development Desktop Release*, 1999. User's Guide.
- [Badler78] N. I. Badler e V. R. Badler, *Interaction with a Color Computer Graphics System for Archaeological Sites*, in *Computer Graphics SIGGRAPH'78 Proceedings*, 12(3), 1978.
- [Barcelo98] J. A. Barcelo, M. Forte e D. H. Sanders, *The Diversity of Archaeological Virtual Worlds*, in *Virtual Reality in Archaeology - CAA'98 Proceedings, British Archaeological Reports*, J. A. Barcelo, et al., Eds., BAR International Series 843, Barcelona 1998.
- [Berndt00] E. Berndt e J. C. Teixeira. Cultural Heritage in the Mature Era of Computer Graphics. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.20, num.1, Janeiro-Feveiro, págs.36-37. 2000.
- [Brodlie87] K. W. Brodlie, *Standardisation in Computer Graphics: an introduction to GKS*, in *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology - CAA'87 Proceedings, British Archaeological Reports*, C. L. Ruggles e S. P. Q. Rahtz, Eds., BAR International Series 393, Leicester 1987.
- [Brogni98] A. Brogni, E. Bresciani, M. Bergamasco e F. Silvano, *An Interactive System for the Presentation of a Virtual Egyptian Flute in a Real Museum*, in *Virtual Reality in Archaeology - CAA'98 Proceedings, British Archaeological Reports*, J. A. Barcelo, et al., Eds., BAR International Series 843, Barcelona 1998.
- [CALIGARI98] CALIGARI, *CALIGARI trueSpace4*, 1998. User's Guide.
- [Cornforth91] J. Cornforth, C. Davidson, C. J. Dallas e G. R. Lock, *Visualising Ancient Greece: Computer Graphics in the Sacred Way Project*, in *Computer Applications and Quantative Methods in Archaeology - CAA'91 Proceedings, British Archaeological Reports*, G. Lock e J. Moffet, Eds., BAR International Series S577, Oxford 1991.
- [Costa98] J. G. Costa e E. G. Costa, *The Baths of Baetulo: From Archaeological to Virtual Reality*, in *Virtual Reality in Archaeology - CAA'98 Proceedings, British Archaeological Reports*, J. A. Barcelo, et al., Eds., BAR International Series 843, Barcelona 1998.
- [Forte98a] M. Forte, *About Virtual Archaeology: Disorders, Cognitive Interactions and Virtuality*, in *Virtual Reality in Archaeology - CAA'98 Proceedings, British Archaeological Reports*, J. A. Barcelo, et al., Eds., BAR International Series 843, Barcelona 1998.
- [Forte98b] M. Forte e D. Borra, *The Estense Castle of Ferrara (Italy): Multimedia Project and Virtual Reconstruction*, in *Virtual Reality in Archaeology - CAA'98 Proceedings, British Archaeological Reports*, J. A. Barcelo, et al., Eds., BAR International Series 843, Oxford 1998.
- [Giestal98] C. D. Giestal. *Sistema de Informação Geográfica para a Arqueologia Urbana: o caso de Bracara Augusta*. Departamento de História, Universidade do Minho, Braga, 1998. (Tese de Mestrado).
- [Hildebrand00] A. Hildebrand, P. Dähne, F. Seibert, I. T. Christou, A. Demiris, M. Diorinos, N. Ioannidis, L. Almeida, A. Diogo e J. Weidenhausen, *An Augmented Reality Based System for Personalized Tours in Cultural Heritage Sites*, in *International Conference on Augmented, Reality Virtual Environments and 3D Imaging Proceedings*, Grécia 2000.
- [Jakobs94] K. Jakobs e K. Kleefeld, *Multimedia Communication in Archaeology - Why and How*, in *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology - CAA'94 Proceedings, British Archaeological Reports*, J. Hugget e N. Ryan, Eds., BAR International Series S600, Glasgow 1994.

- [Mäntyla88] M. Mäntyla, *An Introduction to Solid Modeling*, USA, Computer Science Press, 1988.
- [Martins92] M. Martins. *Bracara Augusta: A memória de uma cidade. Cadernos de Arqueologia*, vol.8-9, págs.177-197. 1992.
- [Martins98] M. Martins e F. S. Lemos. Duas Décadas de vida de um Projecto: o Salvamento de *Bracara Augusta. Cadernos de Arqueologia*, vol.14-15, págs.9-21. 1998.
- [Martins00a] M. Martins. *A Arqueologia em Busca da Cidade*. Braga. 2000.
- [Martins00b] M. Martins e P. Bernardes. A Multi-Disciplinary Approach for Research and Presentation of *Bracara Augusta's* Archaeological Heritage. *Archeologia e Calcolatori*, vol.11, págs.347-357. 2000.
- [Olson96] N. A. Olson, *MicroStation 95 Fundamentals*, Indianapolis - Indiana - USA, New Riders Publishing, 1996.
- [Papaioannou01] G. Papaioannou, E.-A. Karabassi e T. Theoharis. Virtual Archaeologist: Assembling the Past. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.21, num.2, Março-Abril, págs.53-59. 2001.
- [Pollefeys98] M. Pollefeys, M. Proesmans, R. Koch, M. Vergauwen e L. v. Gool, *Acquisition of Detailed Models for Virtual Reality*, in *Virtual Reality in Archaeology - CAA'98 Proceedings, British Archaeological Reports*, J. A. Barcelo, *et al.*, Eds., BAR International Series 843, Barcelona 1998.
- [Refsland00] S. T. Refsland, T. Ojika, A. C. Addison e R. Stone. Virtual Heritage: Breathing new life into our Ancient Past. *IEEE Multimedia*, vol.7, num.2, Abril-Junho, págs.20-21. 2000.
- [Reilly87] P. Reilly e J. Richards, *New Perspectives on Sutton Hoo: The potential of 3-D Graphics*, in *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology - CAA'87 Proceedings, British Archaeological Reports*, C. L. Ruggles e S. P. Q. Rahtz, Eds., BAR International Series 393, Leicester 1987.
- [Spicer87] D. Spicer, *Computer Graphics and the Perception of Archaeological Information: Lies, Damned Statistics and ... Graphics!*, in *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology - CAA'87 Proceedings, British Archaeological Reports*, C. L. Ruggles e S. P. Q. Rahtz, Eds., BAR International Series 393, Leicester 1987.
- [Steckner98] C. Steckner, *Form and fabric, the Real and the Virtual - Roman Economy-related Geometrical Mass Constrains in Dressel's Table of Amphora Forms*, in *Virtual Reality in Archaeology Proceedings, British Archaeological Reports*, J. A. Barcelo, *et al.*, Eds., BAR International Series 843, Barcelona 1998.
- [Teixeira97] J. C. Teixeira, A. Côte-Real, P. Bernardes e F. P. d. Macedo, *Virtual Environments and Cultural Heritage*, in *The Fifth International Conference on CAD and Graphics Proceedings*, China 1997.
- [Uotila98] K. Uotila e M. Sartes, *Medieval Turku - The Lost City. A Project trying to reconstruct a Medieval Town in Finland*, in *Virtual Reality in Archaeology - CAA'98 Proceedings, British Archaeological Reports*, J. A. Barcelo, *et al.*, Eds., BAR International Series 843, Barcelona 1998.
- [Zheng00] J. Y. Zheng. Virtual Recovery and Exhibition of Heritage. *IEEE Multimedia*, vol.7, num.2, Abril-Junho, págs.31-34. 2000.