



Dissertação

Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel

***Reconstrução Virtual Expedita de Sítios de Herança
Cultural***

César Manuel da Costa Ferreira

Leiria, Dezembro de 2013



Dissertação

Mestrado em Engenharia Informática – Computação Móvel

***Reconstrução Virtual Expedita de Sítios de Herança
Cultural***

César Manuel da Costa Ferreira

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Alexandrino José Marques Gonçalves e do Doutor Nuno Carlos Sousa Rodrigues, Professores do Departamento de Engenharia Informática da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Dezembro de 2013

À Minha Família

Agradecimentos

A realização desta Dissertação de Mestrado só foi possível graças à colaboração e ao contributo, de forma direta ou indireta, de várias pessoas e instituições, às quais gostaria de exprimir algumas palavras de agradecimento e profundo reconhecimento.

Agradeço à Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria (ESTG) e ao Governo Português, através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia – FCT e a União Europeia (COMPETE, FEDER) através do projeto PTDC/EIA-EIA/114868/2009 (FCOMP-01-0124-FEDER-015075) intitulado “ERAS - Reconstrução Virtual Expedita de Sítios de Herança Cultural”.

Deixo o meu principal agradecimento ao Professor Doutor Alexandrino José Marques Gonçalves e ao Professor Doutor Nuno Carlos Sousa Rodrigues, orientadores desta dissertação. Acima de tudo agradeço a sua inteira disponibilidade para acompanhar este projeto, mas também o espírito crítico que demonstraram, e ainda o interesse que manifestaram pelo tema, o qual se revelou fundamental à evolução da dissertação.

Aos responsáveis pelo Museu Monográfico de Conimbriga, principalmente ao seu Diretor, o Doutor Virgílio Hipólito Correia, não só pela disponibilidade nas diversas reuniões e pelo acompanhamento como também pelas pertinentes sugestões durante o decorrer do trabalho, sem as quais não seria possível realizar as tarefas a que nos tínhamos proposto.

À minha família, em especial aos meus pais, Manuel Silva e Maria Margarida Silva por terem criado condições para que possa ter chegado a este ponto e ao meu irmão Ivo que, com muito carinho, sempre me incentivaram nesta caminhada, apoiando-me incondicionalmente mesmo nos momentos de maior ausência da minha parte.

À Andreia, pela amizade e paciência que sempre demonstrou, mas também pela tão preciosa motivação que foi capaz de inculcar em mim durante este último ano letivo.

Quero também agradecer aos meus colegas do Centro de Investigação e Informática e Comunicações (CIIC) pelo companheirismo e apoio prestado.

Resumo

Tendo em conta que as estruturas em ruínas que fazem parte do nosso património arqueológico, assim como os artefactos de épocas passadas estão repletos de detalhe e relevância para o estudo deste nosso legado cultural, seria desejável a existência de um processo de reconstrução automático que possibilitasse a criação de réplicas virtuais exatas e precisas, que poderiam ser exploradas livremente sem comprometer a fragilidade inerente, principalmente dos artefactos, do nosso passado histórico. Ambientes tridimensionais são normalmente a primeira opção para representar tais estruturas e artefactos. No entanto, os custos para produzir os mesmos são desencorajadores, devido ao custo significativo das ferramentas de modelação tridimensional que são normalmente utilizadas, assim como o tempo necessário para produzir estes modelos manualmente.

Este projeto apresenta uma alternativa de baixo custo para o processo clássico de modelação manual e produção de modelos com elevado detalhe utilizando unicamente *software* de código aberto e uma câmara com um sensor de profundidade móvel de baixo custo. Com este processo, é nossa intenção potenciar a disseminação do nosso património cultural, tornando-o acessível, não só a especialistas, mas igualmente ao público em geral, sem necessidade de possuir qualquer equipamento de alto desempenho, *software* de modelação de elevado custo ou capacidades profissionais no processo de modelação tridimensional. Para este efeito surgiu a participação no projeto FCT ERAS - Reconstrução Virtual Expedita de Sítios de Herança Cultural, estruturado em diferentes módulos, como sejam a extração de informação, integração com modelo de dados, testes às ontologias (ontologia genérica e especialização romana) e geração procedimental de arquiteturas e artefactos históricos. Esta dissertação tem o seu foco principal na realização dos testes às ontologias, aquisição tridimensional de artefactos para complementar os modelos finais e no estabelecimento de ligações para operacionalizar o funcionamento entre módulos.

Os modelos virtuais desenvolvidos são disponibilizados através de um visualizador interativo embebido num *browser*, utilizando as mais recentes tecnologias, como *HTML5* e *WebGL*. Este pode ser acedido através de uma ampla variedade de dispositivos móveis proeminentes, assim como qualquer computador pessoal, contribuindo deste modo para uma verdadeira

democratização do conhecimento da história. Apesar de existirem alternativas de reconstrução procedimental, estas têm alguma falta de realismo comparativamente à modelação manual, daí se ter optado por uma abordagem híbrida, manual e procedimental. Nesta abordagem alguns dos edifícios são modelados manualmente e as metodologias procedimentais são utilizadas de modo a complementar estes modelos. A abordagem proposta foi aplicada para criar um modelo virtual de um complexo de lojas do período Romano existente nas ruínas de Conímbriga, identificado como "Casa do Medianum Absidado" assim como a uma residência típica do séc. III denominada "Casa de Cantaber".

Palavras-chave: Kinect, Conímbriga, medianum absidado, cantaber, 3D scan, ERAS

Abstract

Given that the dilapidated structures that are part of our archaeological heritage, as well as artifacts from past eras are full of detail and relevance to the study of our cultural legacy, it would be desirable to have a process that would allow the automatic reconstruction creating accurate and precise virtual replicas that can be explored freely without compromising the inherent fragility, especially the artifacts of our historical past. Three-dimensional environments are usually the first choice to represent such structures and artifacts. However, the costs for producing the same are daunting because of the significant cost of three-dimensional modeling tools that are commonly used, as well as the time needed to produce these models manually.

This project presents a low-cost alternative to the classic manual modeling process and production of models with high detail using only open source software and a camera with a mobile low-cost depth sensor. With this process, we intend to enhance the dissemination of our cultural heritage, making it accessible not only to specialists but also to the general public without the need to own any equipment, high performance modeling software capabilities or high cost professional three-dimensional modeling process. For that the opportunity to participate in the project FCT ERAS - Expedited Virtual Reconstruction of Cultural Heritage Sites, structured in different modules, such as information extraction, integration with the data model, ontology testing (Roman general and specialized ontology) and generation of procedural architectures and historical artifacts. This work has its main focus in testing the ontology, acquiring three-dimensional artifacts to complement the final models and establishing connections to operationalize interoperability between modules.

The developed virtual models are available through an interactive viewer embedded in a browser, using the latest technologies such as HTML5 and WebGL. This can be accessed through a wide variety of prominent mobile devices, as well as any personal computer, thus contributing to a true democratization of knowledge of history. Although there are alternative procedural reconstruction processes, they have some lack of realism compared to manual modeling, so we opted for a hybrid, manual and procedural approach. In this approach some of the buildings are modeled manually and procedural methods are used to complement these

models. The proposed approach was applied to create a virtual model of a series of shops existing in the Roman period ruins of Conimbriga, identified as “House of Medianum Absidado” as well as a typical III century residence called “House of Cantaber“.

Key-Words: *Kinect, Conímbriga, medianum absidado, cantaber, 3D scan, ERAS*

Índice de Figuras

Figura 1 - Resultado do paper “Real-time Procedural Generation of ‘Pseudo Infinite’ Cities”	25
Figura 2 - imagem retirada do vídeo de apresentação do projeto <i>Rome Reborn</i>	27
Figura 3 - Plastico di Roma Antica.	28
Figura 4 - Arquitetura ERAS.....	35
Figura 5 - <i>Trello</i> com as respetivas "cards" desta dissertação.	38
Figura 6 - Interface do Github.....	39
Figura 7 - Ontologia Genérica.....	41
Figura 8 - Ontologia Romana.....	42
Figura 9 - Protótipo do ERAS I/O.....	44
Figura 10 - Entidades de edifícios genéricas e específicas romanas.	45
Figura 11 - Trecho de código de atribuição dos atributos da casa de Cantaber.....	46
Figura 12 - Resultado em XML da ferramenta ERAS I/O da Casa de Cantaber.	48
Figura 13 - ConimbrigaCG.....	49
Figura 14 - Resultado da aquisição tridimensional de uma ânfora com 669000 faces.....	50
Figura 15 - Modelo final com as correções necessárias.	51
Figura 16 - Modelo obtido da aquisição tridimensional (à direita) e objeto real (à esquerda).	51
Figura 17 - Modelo de um Pote obtido da aquisição tridimensional (à direita) e objeto real (à esquerda).	52
Figura 18 - Esquema do Panorama Geral.....	54
Figura 19 – Fluxo de Trabalho.....	56
Figura 20 - Planta da Casa de Cantaber.....	61
Figura 21 - Planta da Casa do Medianum Absidado.	62
Figura 22 - Planta de Conimbriga onde é possível localizar a Casa <i>do Medianum Absidado</i> , assinalada com um retângulo, ao lado do Fórum.....	63
Figura 23 - Zona central da casa com as bases do Medianum Absidado em primeiro plano.....	64
Figura 24 - <i>Render Internal vs Cycles Render</i>	65
Figura 25 - Recipiente com frutos diversos com texturas aplicadas via <i>Node Composing</i>	66
Figura 26 - Sala de jantar da Casa de Cantaber.....	67
Figura 27 - Medianum Absidado, vista frontal.....	68
Figura 28 - Medianum Absidado, vista lateral.....	68
Figura 29 - Medianum Absidado, vista lateral.....	69
Figura 30 - Cantaber, vista frontal.....	69
Figura 31 - Cantaber, vista aérea.....	70
Figura 32 - Cantaber, vista para uma sala de jantar.....	70
Figura 33 - Planta da Cidade de Conimbriga com a marcação dos edifícios modelados.	71
Figura 34 - <i>Screenshot</i> da aplicação web com a casa do <i>Medianum Absidado</i>	72
Figura 35 - <i>Screenshot</i> da aplicação web com a casa de <i>Cantaber</i>	72

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Software de modelação 3D (dados consultados em agosto/2013).	32
Tabela 2 - Características da biblioteca <i>XStream</i>	47

Lista de Siglas

API Application Programming Interface

CTO Chief Technology Officer

GPU Graphics Processing Unit

LOD Level Of Detail

RIA Rich Internet Applications

HTMLHyperText Markup Language

Índice

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	20
1.2	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	21
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	MÉTODOS PROCEDIMENTAIS	23
2.2	RECONSTRUÇÕES VIRTUAIS.....	25
2.2.1	<i>Aquisições Tridimensionais</i>	29
2.2.1	<i>Kinect Fusion</i>	30
2.2.2	<i>Ferramenta de Modelação Manual</i>	31
3	O PROJETO ERAS	33
4	DESENVOLVIMENTO DA INTEGRAÇÃO	37
4.1	FERRAMENTAS DE APOIO À GESTÃO	37
4.1.1	<i>Trello</i>	37
4.1.2	<i>Github</i>	38
4.2	ONTOLOGIA.....	39
4.2.1	<i>Ontologia Genérica</i>	39
4.2.2	<i>Especialização Romana</i>	41
4.3	TESTES À ONTOLOGIA.....	43
4.4	ERAS I/O	44
4.5	CONIMBRIGACG	48
5	RECONSTRUÇÃO VIRTUAL	53
5.1	MÉTODO SEGUIDO	53
5.2	FLUXO DE TRABALHO.....	55
5.2.1	<i>Acessibilidade Online</i>	57
5.2.2	<i>HTML5</i>	57
5.2.3	<i>WebGL</i>	58
5.3	ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	60
5.3.1	<i>Casa de Cantaber</i>	60
5.3.2	<i>Casa do Medianum Absidado</i>	62
6	RESULTADOS	65
6.1	TEXTURAS	65
6.2	<i>RENDERS DOS ESPAÇOS DE HERANÇA VIRTUAL</i>	67
6.3	MONTAGEM DO CENÁRIO PARA O VÍDEO	70
6.4	ACESSO ONLINE	71
7	CONCLUSÃO	73
7.1	TRABALHO FUTURO	74
8	BIBLIOGRAFIA	77

1 *Introdução*

A reconstrução tridimensional fidedigna de locais arqueológicos e monumentos antigos, e a posterior visualização dos mesmos, permite aos especialistas aperfeiçoar as suas teorias sobre os elos perdidos da história da nossa civilização. Ainda que a reconstrução tridimensional represente um grande desafio, nomeadamente quando não existe informação visual, ela constitui uma ferramenta crucial para os especialistas estudarem e interagirem com os locais e estruturas há muito desaparecidos. Além disso, fornecem ao público em geral as condições para visualizar e explorar essas reconstruções como ambientes virtuais, promovendo a participação cultural, social e científica.

A reconstrução detalhada constitui, contudo, uma tarefa extremamente complexa, onde todos os estágios da síntese de imagens necessitam de ser cuidadosamente executados a partir de modelos tridimensionais detalhados de modo a obter um retrato fiel do objeto de estudo. As descrições textuais e as informações de natureza geoespacial recolhidas pelos arqueólogos *in loco* podem ser usadas para ultrapassar a falta de informação visual. Porém, muitas vezes estas informações não são suficientes, pelo que se torna necessário recorrer a processos de modelação procedimental de forma a reduzir o tempo de realização da tarefa e os seus custos. E assim surge este trabalho que se enquadra no âmbito de um projeto FCT denominado ERAS - Reconstrução Virtual Expedita de Sítios de Herança Cultural (capítulo 3).

O projeto ERAS baseia-se em módulos computacionais independentes, nomeadamente: a extração de informação, a integração com modelo de dados, testes às ontologias e a modelação procedimental tridimensional; sendo que esta dissertação se foca na interoperabilidade entre os módulos, nos testes à ontologia e a todo um processo de reconstrução virtual.

Deste trabalho resulta um processo que permite o desenvolvimento de reconstruções virtuais de sítios arqueológicos num curto espaço de tempo. Para tal, são usadas técnicas de modelação

procedimental para a criação de edifícios com bastante detalhe (interiores e exteriores), guiadas por um conjunto de regras extraídas automaticamente de descrições textuais. Dado que o caso de estudo de teste desta metodologia é a antiga cidade Romana de Conimbriga, pretende-se igualmente modelar alguns edifícios da cidade manualmente de forma a termos mais dados comparativos entre as duas metodologias (procedimental e manual). Além disso, e de modo a dotar o interior das habitações de artefactos da época em questão, pretende-se desenvolver uma aplicação de aquisição tridimensional de artefactos reais, de modo a incorporá-los nos modelos virtuais.

De modo a alargar o acesso aos modelos desenvolvidos no âmbito deste projeto a um número mais vasto de pessoas (especialistas ou público em geral), os mesmos serão disponibilizados na web sem que haja necessidade de *plugins* adicionais para a sua visualização.

1.1 Objetivos

Os objetivos desta dissertação são:

1. Realização de um estudo sobre as atuais metodologias de reconstrução virtual;
2. Desenvolvimento de um processo de reconstrução virtual manual que permita reduzir o tempo e custos associados;
3. Desenvolvimento, em conjunto com os restantes parceiros do projeto ERAS, de uma Ontologia de uma cidade genérica e uma especialização de representação de edifícios romanos;
4. Reconstrução virtual de duas estruturas representativas do nosso caso de estudo (Casa de Cantaber e Casa do Medianum Absidado);
5. Integrar as reconstruções virtuais e correspondentes artefactos adquiridos numa página web.

1.2 Organização da Dissertação

No seguimento deste capítulo introdutório é apresentada, no capítulo dois (Revisão da Literatura), a revisão da literatura, onde é feita uma abordagem aos trabalhos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste projeto.

O capítulo três (O Projeto ERAS) faz o enquadramento com o projeto ERAS e com áreas de atuação dos trabalhos desta tese no mesmo.

O capítulo quatro (

Desenvolvimento da Integração) é dedicado a formas de integração com o projeto ERAS.

De seguida, no capítulo cinco (Reconstrução Virtual) é explicada a abordagem utilizada no que diz respeito à modelação dos espaços de herança cultural e consequente disponibilização *online*.

No sexto capítulo (Resultados) é apresentado o processo de modelação aplicado aos casos de estudo definidos para o projeto.

Por fim (Conclusão), são apresentadas as conclusões tendo em conta vários aspetos - o cumprimento dos objetivos, propostos, as principais limitações da solução proposta, a contribuição da mesma em termos científicos e tecnológicos, e os tópicos abertos a desenvolvimentos futuros.

2 *Revisão da literatura*

Neste capítulo são apresentados vários projetos de áreas relacionadas com esta dissertação, sendo abordadas temáticas relacionadas com Métodos Procedimentais e Reconstruções Virtuais, na qual se inserem as aquisições tridimensionais.

2.1 Métodos Procedimentais

Vários investigadores propuseram métodos semiautomáticos, utilizando modelação procedimental para gerar modelos virtuais de edifícios ou mesmo de cidades inteiras. Geralmente, essas abordagens focam-se apenas ou nos exteriores das casas ou nos seus interiores. No trabalho apresentado nesta dissertação pretende-se gerar edifícios do nosso património cultural completos (interior e exterior) que possam posteriormente ser visitados.

A crescente demanda por modelos virtuais de maiores dimensões e mais complexos, resultantes da necessidade de diferentes áreas da indústria, como é o caso dos jogos virtuais e filmes de animação, criou uma necessidade recorrente por algoritmos computacionais capazes de gerá-los automaticamente de forma eficiente. Rodrigues e Santos em (Rodrigues, et al. 2008; Santos et al. 2010), desenvolveram uma abordagem de geração automática com base em regras fornecidas, no entanto são aplicáveis apenas a edifícios modernos.

Merrell e os seus colegas (Merrell et al. 2010), com o principal foco incidindo sobre casas habitacionais, apresentaram um método para gerar interiores de edifícios. Muito próximo de um caso real, são levantados requisitos de alto nível (número de quartos, casas de banho, etc.), e com recurso a redes *bayesianas* “alimentadas” com dados reais, são gerados diagramas de bolha com as possíveis adjacências das divisões. Por intermédio de otimização estocástica são geradas plantas da habitação e, por fim, estas plantas são transformadas em modelos tridimensionais que incluem portas, janelas e telhados.

Com o intuito de reconstruir virtualmente edifícios antigos com arquitetura Chinesa, *Yong Liu* e os seus colegas (Liu et al. 2008), propuseram uma metodologia baseada em ontologias para guiar a geração de edifícios de herança cultural chinesa. Para tal, fornecem à ferramenta um

DTD¹ com a semântica, o conhecimento do domínio extraído da arquitetura acima referida e um mapa urbano da área que querem criar. O módulo gerador de cidades faz então a ligação entre o mapa rodoviário e os edifícios e gera os modelos de acordo com a descrição. Antes de gerar o output tridimensional, a ferramenta deixa o utilizador, caso deseje, fazer ajustes ao modelo. Este sistema tem como principal objetivo dar um maior foco às ligações semânticas do que aos detalhes geométricos.

A criação de edifícios de forma livre² é uma das áreas de grande desafio na engenharia e na arquitetura, *Helmut Pottmann* (Pottmann et al. 2007) desenvolveu algoritmos complexos de forma a conseguir gerar este tipo de edifícios. Apesar de tudo, utilizando esta abordagem não é possível criar interiores de edifícios a partir de especificações de alto nível.

A utilização de *L-Systems* para criar ambientes rurais virtuais foi apresentado pela primeira vez por *Parish e Muller* (Parish & Müller 2001) utilizando técnicas de *data amplification* (através de conhecimento do mundo real e dados aleatórios (Lindenmayer 1968)) de forma a gerar conteúdo complexo a partir de um conjunto de dados pouco detalhado. Apesar de ser muito usado, demonstra ter pouca fiabilidade visual.

Face às limitações na fiabilidade visual utilizando *L-Systems* por *Parish* (Parish & Müller 2001), António Coelho decidiu criar uma extensão dos *L-Systems* denominada *Geospatial L-Systems* (Coelho et al. 2007). Esta opera em módulos geoespaciais mas com a particularidade de fornecer noção geoespacial, não só a nível modular, mas também no controlo da sequência de desenvolvimento, onde podemos por exemplo fornecer previamente as texturas necessárias. Esta ferramenta pode ser usada para modular espaços urbanos altamente detalhados, especialmente se forem fornecidas as texturas originais ou até uma textura diferente para cada edifício. Apesar de ter muito sucesso na criação de exteriores, os interiores dos edifícios não são contemplados por esta abordagem.

Greuter com a sua tese *Real-time Procedural Generation of 'Pseudo Infinite' Cities* (Greuter et al. 2003) sugere que as plantas dos edifícios sejam criadas com base em polígonos gerados aleatoriamente em processos iterativos e que os próprios edifícios sejam gerados em tempo real de cima para baixo, esticando, encolhendo e rodando formas geométricas aleatoriamente e por

¹ Document Type Definition

² Freeform buildings

fim expandindo até atingir a altura total do edifício. Os edifícios gerados com este algoritmo têm um grande nível de complexidade visual e quando combinados com texturas suficientemente complexas ficam muito parecidos com prédios com escritórios (Figura 1) que normalmente se vêem na América do Norte (Martin 2005). Usando esta metodologia é possível gerar uma cidade inteira num curto espaço de tempo³ (Parish & Müller 2001; Gresuter et al. 2003).



Figura 1 - Resultado do paper “Real-time Procedural Generation of ‘Pseudo Infinite’ Cities”.

Jess Martin decide ir mais além do que os seus colegas e foca o seu trabalho não só na construção de exteriores mas também em interiores, desta maneira, não só podemos criar cidades transponíveis com muito detalhe mas também simulações de menor escala, como por exemplo uma habitação. Este algoritmo é mais desejável para o desenvolvimento de jogos e de animações pois o mesmo algoritmo pode ser usado tanto para edifícios que se podem atravessar como para os que não podem ao invés de ter que modelar os interiores da casa manualmente (Martin 2005).

2.2 Reconstruções Virtuais

Neste últimos anos a denominada Arqueologia Virtual originou um crescimento significativo de reconstruções virtuais de espaços de herança cultural, alguns dos quais inclusive sobre Conimbriga. Como exemplo, *Eduardo Barragán* apresenta na sua página pessoal (Barragán 2013) excertos de vídeos com uma possível reconstrução da cidade de Conimbriga,

³ O método de Greuter consegue fazer *rendering* de 500 edifícios a 30 frames/segundo, enquanto o método de Muller gera 13000 edifícios em 10 minutos.

nomeadamente a chamada *Insula do vaso fállico*. Aí são visíveis vários problemas a nível do modelo de arquitetura escolhido, designadamente os de Pompeia/Herculano, quebrando assim, a nosso ver, o realismo histórico desejável que deve dar conta das especificidades das arquiteturas locais.

Existe ainda nessa mesma reconstrução uma planta da cidade de Conimbriga que permite visualizar a fachada da *Casa do Medianum Absidado*, no entanto não temos conhecimento que a mesma alguma vez tenha sido modelada em pormenor por alguém.

Outro antigo local Romano em Portugal, propício a ser reconstruído virtualmente é *Bracara Augusta* (Bernardes et al. 2000) e (Bernardes & Martins 2003), uma das grandes metrópoles urbanas construídas pelo Imperador Augusto após o final das guerras Cantábricas (19 AC). Esta cidade atingiu o seu expoente a nível de urbanismo, arquitetura e vida económica durante o século I. Em que apesar de ser uma ferramenta fundamental para a pesquisa e de extrema importância para a consciência sobre a nossa herança cultural, falta qualidade a nível de realidade para os padrões de hoje.

Rome Reborn (Frischer et al. 2008; Dylla & Frischer 2008) é um dos mais famosos trabalhos de reconstituição virtual da atualidade. Esta é uma iniciativa internacional coordenada pelo “*Institute for Advanced Technology in the Humanities*” da Universidade de Virgínia cujo objetivo passa pela criação de modelos digitais tridimensionais ilustrativos do desenvolvimento urbano da Roma antiga desde a idade do bronze (1000 AC) até à desertificação da cidade em 550 DC. O projeto *Rome Reborn* situa a cidade em 320 DC que corresponde ao auge da cidade. O objetivo desta primeira fase do projeto é o de espacializar e apresentar informação e teorias acerca de como seria o aspeto da cidade naquela altura (Figura 2).



Figura 2 - imagem retirada do vídeo de apresentação do projeto *Rome Reborn*.

A Figura 2 ilustra uma *frame* do famoso vídeo de apresentação do projeto numa fase bastante avançada que permite visualizar um conjunto amplo de edifícios e de partes substanciais da cidade bem como a simulação de diferentes luminosidades ao longo do dia. Esta é uma representação do coliseu romano que tomámos como âncora visual para a análise que pretendemos efetuar. Em termos genéricos, a modelação tridimensional do projeto *Rome Reborn* disponibilizada na internet, recorre por um lado, a dados construídos a partir de informação obtida por escavações arqueológicas, inscrições, fontes literárias, etc. e por outro lado, à digitalização de uma maquete - *Plastico di Roma Antica* – apresentada na Figura 3, criada sob a direção de *Italo Gismondi* entre 1933 e 1974 e que resulta, igualmente, da recolha de todo o tipo de informações disponíveis em arquivos e bibliotecas sobre Roma da fase imperial.



Figura 3 - Plastico di Roma Antica.

No passado, foi criada uma solução semelhante à apresentada no que diz respeito à reconstrução de um local histórico Romano (Fórum Flaviano de Conimbriga) e posterior disponibilização *online* da mesma (Gonçalves et al. 2005). Esta solução usa a linguagem VRML que apesar de ser bastante leve no *browser*, é de difícil aprendizagem e necessita de um *plugin* para que possa ser visualizada.

2.2.1 Aquisições Tridimensionais

No que diz respeito à aquisição tridimensional de estruturas arqueológicas existem diversas ferramentas que permitem efetuar essa aquisição, como por exemplo em panoramas alargados a *DeltaSphere 3000 time-of-flight laser scanner* (3rdTech 2000), usado por alguns departamentos da polícia pela equipa forense para fazer um levantamento de cenas de crime, este utiliza as leituras com lasers infravermelhos combinados com fotografias digitais de modo a obter texturas. No entanto, apesar de obter bons resultados é um processo bastante lento (Zhu et al. 2007). Outra solução é a *Metric Vision LR200 Laser Scanner* que foi o primeiro aparelho de aquisição que a combinar dados vindos de radar, laser e 3D, aplicado ao famoso caso “*Plastico di Roma antica*” (Guidi et al. 2005) onde apesar de ter capturado um grande volume de dados pecou por ter pouco detalhe e ter um elevado custo monetário. A *NextEngine Multi-Laser 3D Scanner* (NextEngine 2001) poderá ser considerada uma solução a ter em consideração. Apesar de apresentar vantagens na recriação de texturas e cores dos objetos, captando assim uma imagem fiel ao objeto real, ainda apresenta inconvenientes como o preço e o facto de ser necessário um cenário específico com uma base giratória. Esta base tem que funcionar a uma velocidade constante, tornando o procedimento muito demorado.

Existe igualmente um outro tipo de equipamento que permite a aquisição tridimensional e com um custo significativamente mais reduzido quando comparado com os equipamentos descritos anteriormente. Esse equipamento, inicialmente concebido para a indústria de jogos, é a Microsoft Kinect idealizada para a consola de videojogos *Xbox 360*, permite interações de forma natural (PrimeSense 2013), mas que devido às suas capacidades no que toca à captação de dados geométricos se revelou uma mais-valia no processo de aquisição tridimensional. Uma demonstração do potencial da KinectTM na modelação tridimensional de um ambiente interior, pode ser observado no trabalho de (Henry et al. 2010). De facto, as potencialidades deste equipamento e a sua popularidade num conjunto crescente de áreas para além dos videojogos levaram ao aparecimento de uma nova versão, designada por Kinect para Windows, em grande parte idêntica ao modelo da consola mas com significativas melhorias a nível de captação de detalhes em objetos de tamanho reduzido (Pheatt & McMullen 2012). A solução apresentada neste artigo utiliza a primeira versão do sensor Kinect, disponível a um custo relativamente baixo. No entanto, está já previsto o lançamento por parte da Microsoft da segunda versão deste equipamento, a Kinect 2, que entre outras características passará a ter uma resolução de 1080p (ao invés dos 480p da versão anterior). É espectável que com alguns ajustes na ferramenta

desenvolvida no âmbito deste trabalho para captura geométrica dos artefactos de Conimbriga e com recurso ao Kinect SDK 1.8, um *kit* de desenvolvimento sem custos (Microsoft 2011), as aquisições tornar-se-ão muito mais precisas devido à melhoria da perceção de profundidade do novo sensor.

2.2.1 Kinect Fusion

Uma das principais características da última geração de jogos virtuais foi a revolução proporcionada por novas formas de interação com estes. O uso do controlador da Wii (*Wiimote*) (Sony 2013) trouxe para a sala de estar uma forma mais natural do jogador interagir com o jogo. O premir botões de um *joystick* foi substituído pelo movimento de um controlador simplificado associado a movimentos do corpo. Uma evolução natural desta tendência foi a criação do periférico Kinect, onde apesar dos sensores de profundidade móvel não serem um novo conceito, a Microsoft fez com que estas ficassem disponíveis para todos a um preço acessível. Para uso com a consola XBOX 360, este dispositivo elimina, inclusive, a necessidade de utilizar um controlador físico. Constituído por um conjunto de câmeras e um sistema de infravermelhos, o Kinect retorna uma informação bastante exata da profundidade associada a cada ponto mesmo em situações de pouca luminosidade. A qualidade dos sensores de profundidade, o preço reduzido e a natureza da tecnologia são fatores que a tornaram imediatamente popular entre investigadores e entusiastas. É portanto, uma plataforma promissora para aquilo que tínhamos em mente.

Uma das formas de interagir com as funcionalidades da Kinect é através da Kinect Fusion. A Kinect Fusion (API) fornece a possibilidade de digitalizar e criar um modelo de um qualquer objeto tridimensional do mundo real utilizando o sensor Kinect. O utilizador pode ir criando uma cena com a câmara e simultaneamente ver e interagir com o modelo tridimensional detalhado da mesma.

Esta API permite que superfícies densas sejam reconstruídas em tempo real, com um nível e robustez muito superiores àqueles que qualquer profissional conseguiria modelar em horas ou até dias de trabalho. Em poucos segundos após a aquisição é obtido um ficheiro preparado para ser manipulado livremente sem representar qualquer ameaça para a integridade do objeto real.

A reconstrução tridimensional de objetos reais é uma área de grande interesse no campo da visão computacional. As suas aplicações variam desde mapeamentos interiores para arquitetura, mapeamento e localização na robótica, realidade aumentada, filmes ou até videogames.

Este tipo de reconstruções normalmente seguem os seguintes passos: aquisição de mapas de profundidade (feita com diversos tipos de técnicas e sensores), alinhamento das nuvens de pontos e a combinação de todas estas nuvens de pontos num único objeto tridimensional (*mesh*).

Aquando da realização de testes, foi possível observar que fazer pequenos e lentos movimentos com o sensor Kinect na mão, tanto em rotação como em translação, são o melhor método para manter um *tracking* estável do modelo que está a ser adquirido. A queda de *frames*⁴ pode afetar adversamente (Williams & BECK 1999) uma aquisição, levando a que os valores do movimento de rotação e translação sejam duplicados incorretamente, resultando num modelo virtualmente errado. Quando isto ocorre é necessário recomeçar a aquisição.

Os testes mostraram também que o sensor é menos preciso do que inicialmente suposto, especialmente em situações de curta distância, no entanto prevê-se que esta imprecisão seja corrigida aquando do lançamento da Kinect 2.0. Note-se que quando a Kinect 1.0 foi lançada, o objetivo primordial era haver uma interação do utilizador com os videojogos, daí haver uma elevada preocupação em fazer o *traking* das juntas do esqueleto humano, não existindo grande preocupação com o rigor da extração de imagens para outros fins. No entanto, com o aumento de interesse por parte da comunidade científica neste sensor, poderá surgir uma maior preocupação em melhorar os sensores de profundidade para que estes se tornem mais precisos do que são hoje em dia.

Assim, apesar de apresentar um baixo nível de precisão no que toca a objetos pequenos, esta tecnologia revela ser uma mais-valia no que diz respeito à reconstrução tridimensional.

2.2.2 Ferramenta de Modelação Manual

Noutra vertente, de forma a poder criar e controlar interactivamente cenários tridimensionais, estes podem ser produzidos utilizando um *software* de modelação específico. No entanto, alguns têm um elevado custo associado, não só ao nível do preço, como na curva de aprendizagem da ferramenta. A Tabela 1 apresenta algumas das ferramentas mais utilizadas no mercado.

⁴ Utilizando a chamada *Drop frame timecode*, identificador único de uma *frame* de vídeo, é utilizado um algoritmo para compensar a discrepância entre 29.97 e 30 FPS.

Aplicação	Usado para	Licença	Preço
3DS Max	Modelação, Animação (videojogos), Iluminação, “Renderização”	Proprietária	\$3,495
Cinema 4D	Animação, Iluminação, Modelação, efeitos visuais 3D, “Renderização”, Simulação	Proprietária	\$995 - \$3,695
Maya	Modelação, Animação (Vídeo), Iluminação, “Renderização”, Efeitos visuais 3D	Proprietária	\$3,495
LightWave 3D	Modelação, Animação, Iluminação, “Renderização”, Criação de <i>assets</i> para videojogos	Proprietária	\$1495
Blender	Animação, Iluminação, Modelação, “Renderização”, Criação de videojogos, efeitos visuais 3D, esculpismo, pós-edição de vídeo básica	GPL 2+	Grátis
SketchUp / SketchUp Pro	Desenho assistido por Computador	Proprietária	Grátis / \$495

Tabela 1 - Software de modelação 3D (dados consultados em agosto/2013).

No caso de estudo em apreço optou-se pelo *Blender*, um *software* grátis *open-source* que foi criado como alternativa aos programas de elevado preço atualmente no mercado. Este está em constante evolução desde 1995 e neste momento proporciona muitas características coincidentes com muitas das principais ferramentas existentes no mercado.

3 O Projeto ERAS

De forma a reduzir o volume da intervenção humana na reconstrução tridimensional fidedigna de locais arqueológicos e monumentos antigos, este projeto tem como objetivo principal, entre outros, desenvolver um sistema expedito de modelação tridimensional. Este sistema de modelação será orientado pelo conhecimento relativo às regras de construção de monumentos ou estruturas do passado, codificadas numa gramática formal a partir do conhecimento dos peritos sobre os procedimentos arquitetónicos da história. Este sistema inclui a modelação de fachadas e de interiores de modo a que o exterior e o interior surjam perfeitamente integrados e complementem o conhecimento em falta sobre a estrutura em causa. (Parish & Müller 2001; Haegler et al. 2006) desenvolveram e melhoraram um sistema, o *CityEngine*, capaz de gerar cidades inteiras num curto espaço de tempo. Este sistema foi utilizado para criar modelos da antiga cidade romana de Pompeia (Müller et al. 2005) e de *Mayan Xkipché* (Müller et al. 2006) no México.

Porém, à semelhança de outros investigadores, eles focaram-se na criação de cidades inteiras cujos edifícios só contêm as suas fachadas exteriores. Alguns autores, por outro lado, abordaram o problema da geração dos interiores, no entanto sem serem suportados por regras reais, dando origem a estruturas incapazes de representar edifícios reais. Num projeto anterior (3D4LBMS - POSI/CHS/48220/2002) foi desenvolvido, um sistema de modelação (XL3D) (Gomes et al. 2006; Coelho et al. 2007) capaz de gerar ambientes urbanos baseados em *L-Systems*, que incorporaram informações geoespaciais. O recurso a regras reais que suportem a criação de edifícios virtuais com o seu interior foi recentemente explorado pela equipa do ERAS, para a construção de estruturas modernas (Rodrigues et al. 2008) , e de estruturas antigas (ex. civilização Romana) (Rodrigues et al. 2008).

Com base no trabalho já realizado, pretende-se estender e melhorar o atual estado do conhecimento de modo a permitir a reconstrução e visualização de locais arqueológicos com

edifícios completos (que incluem interiores e exteriores) e georreferenciados, baseados em alguns valores paramétricos concordantes com as regras definidas para o período de tempo considerado e as correspondentes questões de ordem arquitetónica. Os edifícios resultantes podem ser criados sem qualquer conhecimento inicial e de acordo com o conjunto de regras que foram definidas. Os edifícios existentes, quer estejam bem conservados ou em ruínas, ou ainda as edificações já não existentes, mas para as quais existe informação textual (existente, por exemplo, nos livros antigos ou documentos), são modelados a partir dessa informação de modo a criar algumas regras que funcionarão como restrições no processo de geração.

Não sendo um processo fácil, a especificação destas regras implica uma análise profunda da informação contida em fontes distintas (documentos, livros antigos, pinturas, plantas, etc.) e conhecimento acerca das linguagens de gramática. Por conseguinte, para além de contribuir para a automatização de alguns estágios deste processo, procuramos desenvolver um modelo de extração de informação que de um modo automático extraia e converta em regras a informação encontrada nas descrições textuais. O processo de extração de informação é baseado numa Ontologia criada para este Domínio que permite eliminar ambiguidades e, ainda, adicionar informação semântica ao nosso modelo. Por fim, e com base na Ontologia supramencionada, são gerados os edifícios procedimentalmente tanto interiores como exteriores, de forma automática.

Através da Figura 4 é possível entender a arquitetura ERAS, sendo que esta dissertação se insere nos pontos a vermelho, ou seja, nos testes à ontologia para que haja uma afinação e na exportação da ontologia posterior à extração de informação textual no formato XML para que seja interpretada pelo módulo de geração procedimental e ainda na construção de edifícios manualmente e conseqüente aquisição de artefactos para juntar ao modelo final.

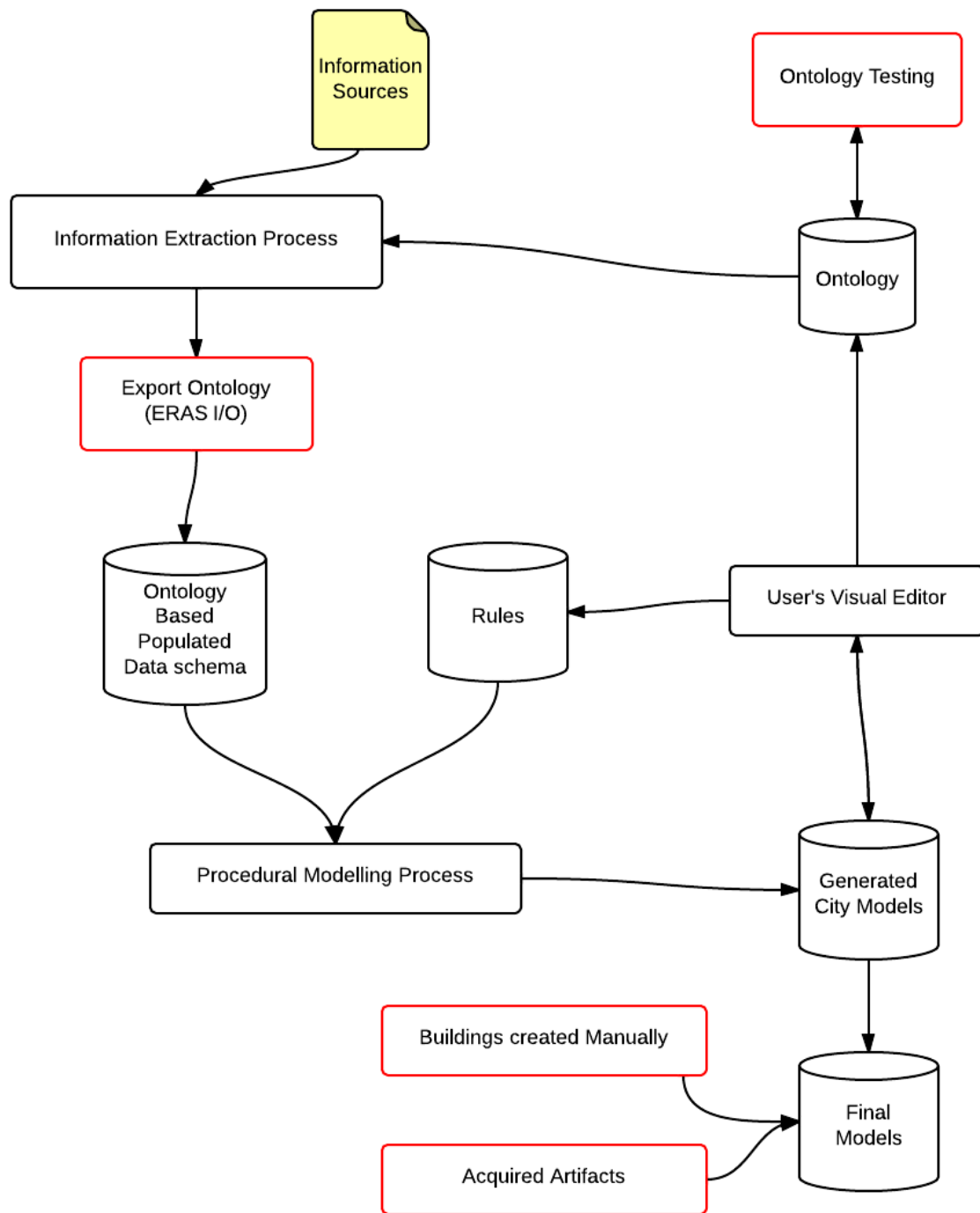


Figura 4 - Arquitetura ERAS.

4 *Desenvolvimento da Integração*

Dado que os resultados deste projeto estariam sobre constantes iterações e avaliações por parte de especialistas da área, foi necessário assumir uma postura aberta a alterações nos requisitos.

Por norma, os projetos de desenvolvimento de *software* falham devido à comunicação ambígua e imprecisa, à arquitetura fracamente definida, à complexidade subestimada e inconsistências não identificadas nos requisitos. Ao tratar estas causas, através da utilização de uma metodologia de desenvolvimento de *software*, os sintomas são eliminados e torna-se mais fácil desenvolver e manter um software de qualidade de forma previsível.

Para este efeito optámos por utilizar a metodologia *Scrum*, uma metodologia ágil de desenvolvimento de *software*, desenvolvida em 1986 (Takeuchi & Nonaka 1986) na Universidade de Harvard e que foi desenhada para auxiliar a criação de projetos baseados em requisitos que se modificam rapidamente.

4.1 Ferramentas de Apoio à Gestão

Ao longo do desenvolvimento deste projeto foi necessário recorrer à utilização de ferramentas de apoio à gestão, sendo que de todas as utilizadas merecem destaque a *trello* e a *github*.

4.1.1 Trello

A *Trello* (Fog Creek 2011), exemplificada na Figura 5, é uma ferramenta de organização pessoal e/ou colaborativa baseada na metodologia *Scrum*, que permite organizar um projeto em “cartões” (*cards*) que permitem visualizar o que está a ser feito no momento, quem está responsável por uma tarefa, e o progresso de alguma atividade que está a decorrer.

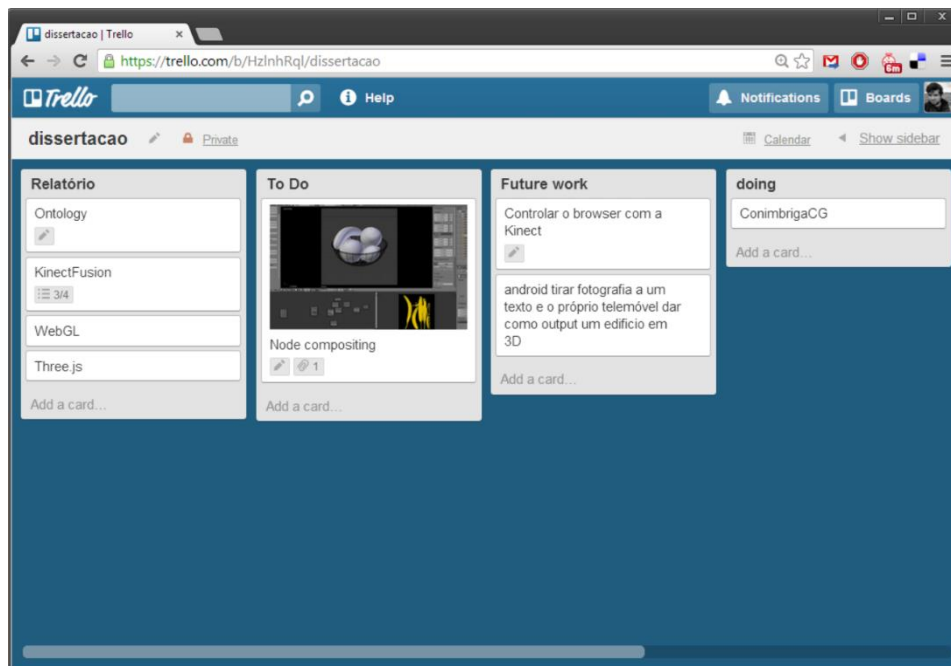


Figura 5 - Trello com as respetivas "cards" desta dissertação.

Esta ferramenta revelou-se extremamente útil na organização da lista de tarefas que, em certas alturas, consistiu num complexo fluxo de trabalho. A sua simplicidade permite que as suas possibilidades de uso sejam imensas, cabendo ao utilizador definir quais os melhores métodos para que lhe seja possível tirar o máximo partido desta.

4.1.2 Github

Saber trabalhar com *Git* hoje em dia é praticamente uma obrigação. Independentemente da dimensão do projeto, é sempre necessário fazer um controlo das versões de cada ficheiro, uma vez que assim é possível agilizar e descentralizar os processos de desenvolvimento. Esta necessidade revela-se ainda maior quando existem muitas pessoas envolvidas no mesmo projeto.

O GitHub (Github 2010), exemplificado na Figura 6, é uma rede social com serviço de *web hosting* compartilhado para projetos que usam o controlo de versões *Git*. Este tem planos comerciais e gratuitos para projetos de código aberto. Para este caso em concreto o código tinha que estar num repositório privado. No entanto, aos estudantes é facultado um plano com alguns repositórios nesses mesmos moldes, que foi o que aconteceu neste projeto.

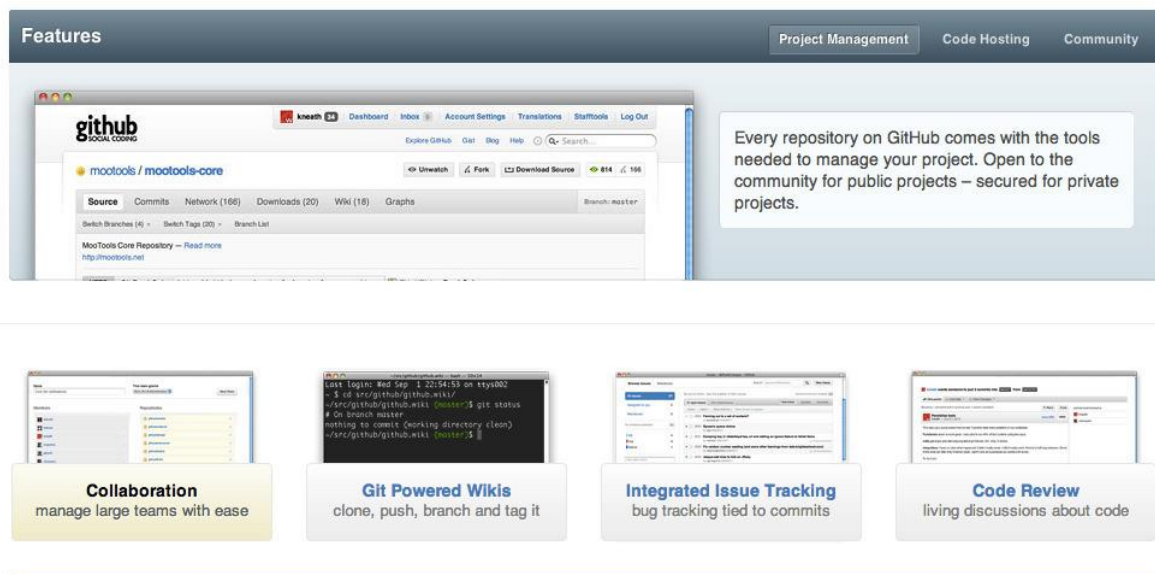


Figura 6 - Interface do Github.

4.2 Ontologia

Em computação gráfica, o desenvolvimento de uma ontologia visa a contextualização, orientação e organização do processo de produção de conteúdos tridimensionais.

Esta secção tem por objetivo apresentar a sugestão de uma ontologia para orientar o processo de geração de conteúdos no âmbito do projeto ERAS. Nesta abordagem à ontologia, incidiu-se sobre a herança cultural de sítios arqueológicos de arquitetura romana, de acordo com os requisitos de desenvolvimento do projeto ERAS. No seu estado atual este projeto é constituído por duas ontologias, uma para qualquer cidade genérica e outra para uma especialização romana antiga.

4.2.1 Ontologia Genérica

A ontologia genérica representa uma ontologia abstrata que regula a extração de dados e que define o esquema semântico de relação entre os diferentes elementos que integram um sistema urbano genérico, de forma a permitir a derivação por parte de outros estilos arquitetónicos. Para conseguir cumprir este objetivo com sucesso, foi necessário proceder ao levantamento dos

elementos que constituem uma cidade genérica, assim como os relacionamentos de agregações, composições e especializações definidos pela disposição dos elementos numa cidade. Após algum trabalho prévio (Adão et al. 2012; Baptista et al. 2012; Rodrigues et al. 2009) e várias reuniões iterativas com a equipa ERAS, resultou a ontologia geral apresentada na Figura 7.

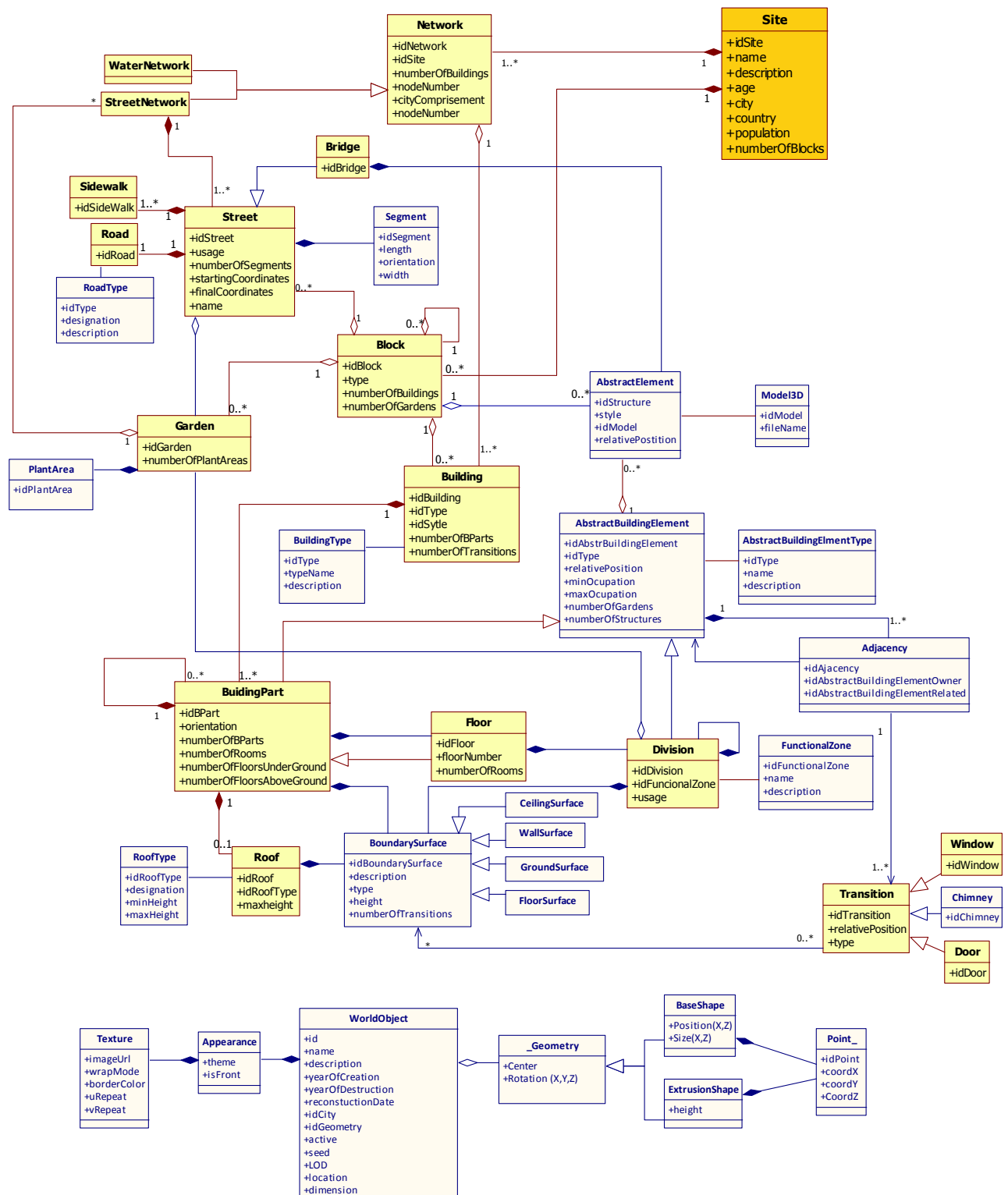


Figura 7 - Ontologia Genérica.

4.2.2 Especialização Romana

Após ter sido desenvolvida uma ontologia genérica escalável para a geração de ambientes urbanos, foi então possível focar a vertente de especialização histórico-romana sendo que para este efeito foi feito um levantamento dos elementos específicos que constituem uma cidade romana. Todas as relações entre os elementos respeitam a orientação seguida para a cidade genérica e uma atribuição semântica aos elementos conforme o estilo específico deste caso de estudo, como se pode verificar na Figura 8.

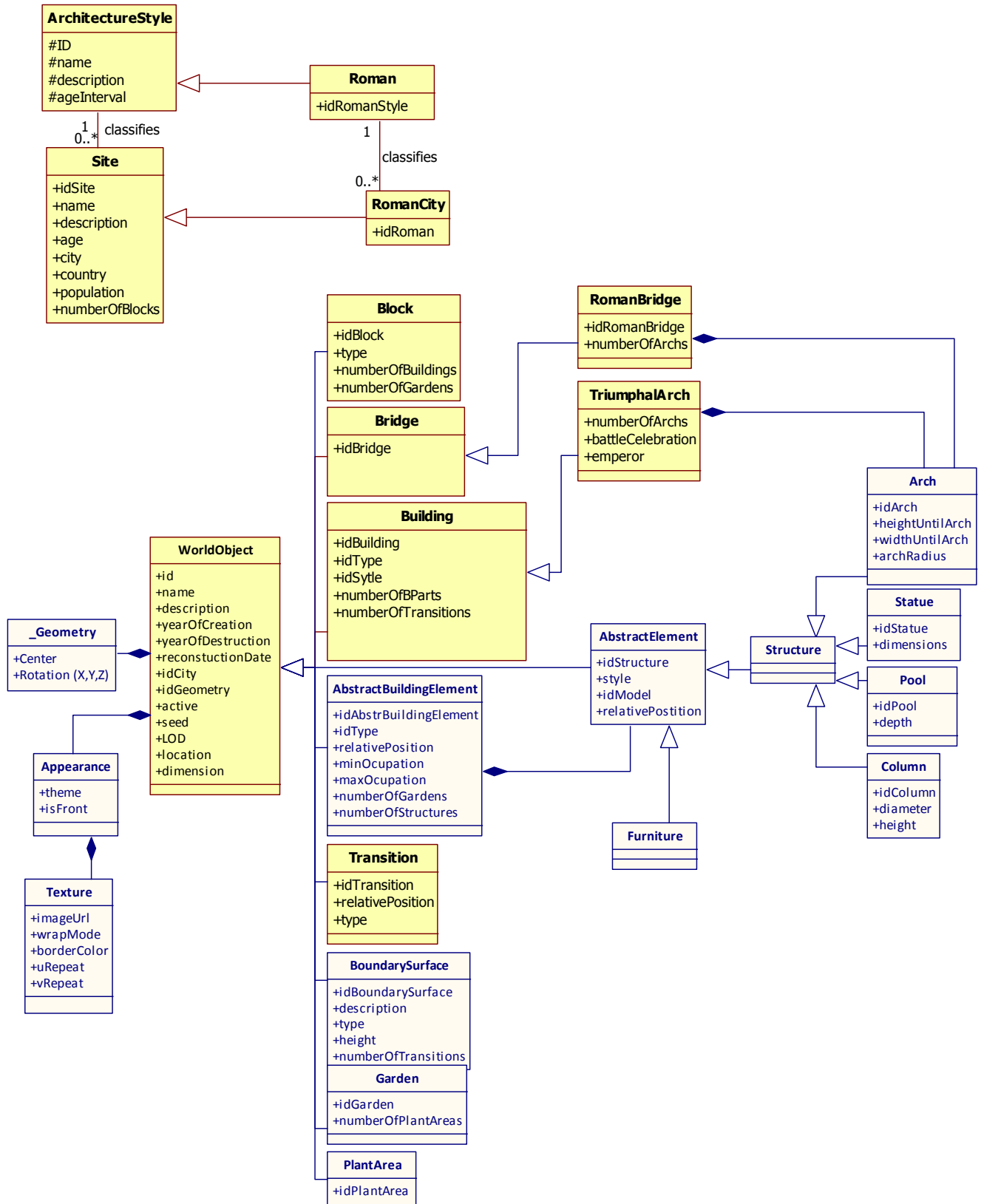


Figura 8 - Ontologia Romana.

4.3 Testes à Ontologia

Sabe-se que os testes são uma das técnicas mais importantes para a aumentar a quantidade de falhas encontradas num determinado produto de *software* e consequente melhoria na sua qualidade. Aquando da reconstrução de duas casas de Conímbriga, surgiram certos detalhes possíveis de serem notados por quem reconstrói as casas a pormenor mas não por quem vê apenas as suas ruínas.

Ao usar a ferramenta desenvolvida na secção 4.4 (ERAS I/O), ao tentar converter todos esses detalhes para objetos das classes representativas da ontologia para que pudessem ser convertidas num formato XML, concluiu-se que existiam falhas na versão preliminar.

Assim, após realizar os testes supra mencionados, estas são as alterações mais importantes propostas à primeira versão da ontologia:

- *Transition* tem agora uma *Location* na *BoundarySurface* em que está inserida de forma a sabermos onde é essa *transition*;
- As *Structure* não tinham uma localização nem eram consideradas *CityObjects*;
- Um *Floor* é uma *BuildingPart* e uma *BuildingPart* contem agora vários *Floors*;
- As *Pools* não estavam contempladas na ontologia;
- Um *Floor* tem agora várias *Divisions*;
- Uma *Division* é agora um *AbstractBuildingElement*;
- As *Divisions* podem ter *Divisions*;
- Uma *Division* pode ter várias *BoundarySurfaces*;
- Cada *BoundarySurface* pode ter várias *Transitions*;
- Uma *Transition* pode ser uma porta ou uma janela e é um *CityObject*;
- Um *CityObject* passa a ser denominado *WorldObject*;
- Um *TriumphalArch* tem vários *Archs* que são agora uma *Structure*;
- *AbstractBuildingElement* tem agora vários *AbstractElements*;
- Adicionada *Furniture* que é um *AbstractElement*;
- *Statue* é agora uma *Structure*;
- A *Structure* é um *AbstractElement*,
- Adicionadas *Adjancencies* para que possam ter várias *Transitions* (janelas, portas ou chaminés)
- Adicionada *Location* como atributo do *WorldObject*, sendo estas as coordenadas de um objeto determinada cena tridimensional;

- Adicionada *Dimension* como atributo do *WorldObject*, para haver uma noção dimensional de um objeto.

4.4 ERAS I/O

Através da Figura 4 referida anteriormente no Capítulo 3 percebe-se que uma das formas de integração desta dissertação no Projeto ERAS é a exportação da ontologia para XML.

De forma a existir uma interligação entre a extração e a modelação procedimental de edifícios romanos, tornou-se necessária a criação de uma ponte para que o primeiro e o último módulo pudessem ser independentes um do outro.

A Figura 9 apresenta um protótipo daquilo que é pretendido para este processo, conversão de POJO⁵ da Ontologia para XML interpretável pelo modelador procedimental.

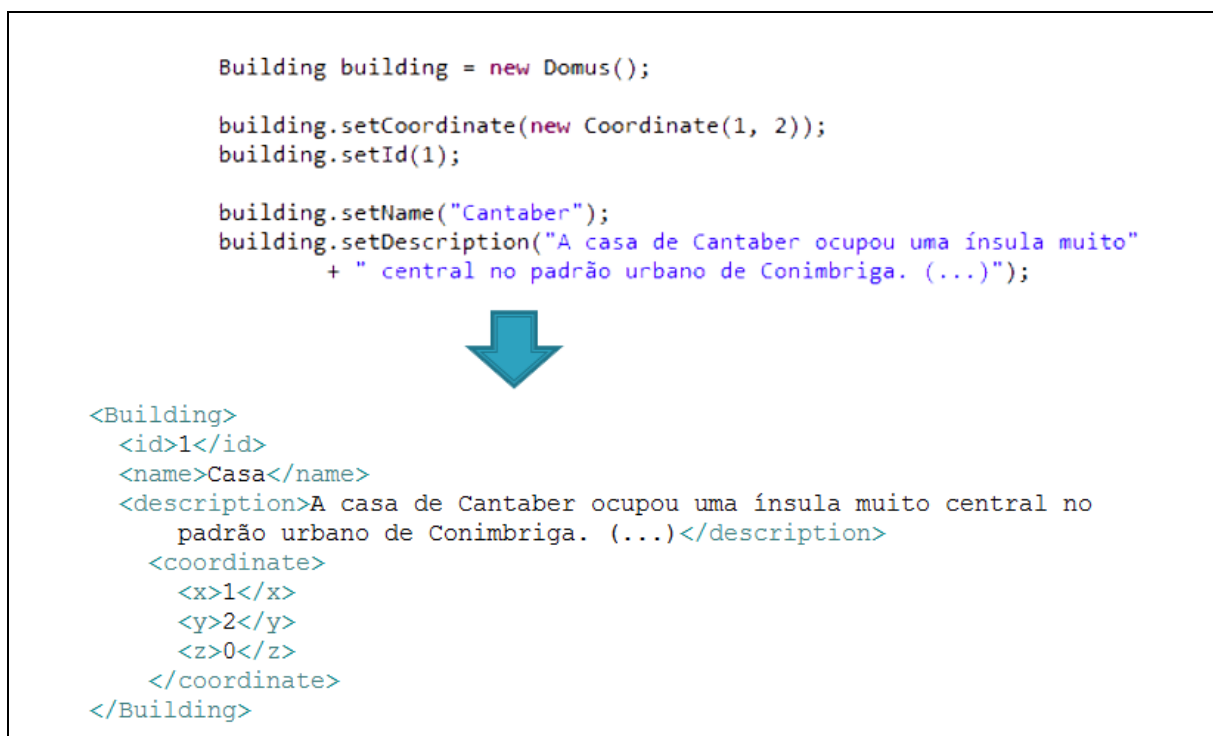


Figura 9 - Protótipo do ERAS I/O.

Visto que gerar o XML da casa baseada na informação extraída dos textos iria resultar num

⁵ Plain Old Java Object

processo extremamente demorado para o programador (a casa de cantaber por exemplo é representada num XML com ~1800 linhas), optou-se por criar uma ferramenta - *ERAS I/O* - onde estão representadas as classes da ontologia (Figura 10).

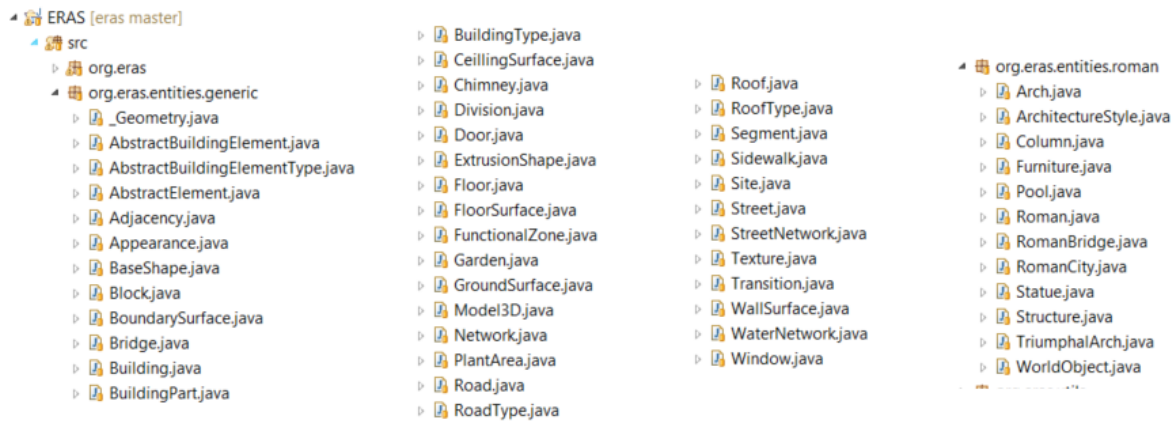


Figura 10 - Entidades de edifícios genéricas e específicas romanas.

Esta ferramenta permite que, com pouco esforço por parte do programador, se consiga gerar o XML representativo de uma casa romana, sendo apenas necessário atribuir valores a atributos comuns de objetos Java como pode ser observado na Figura 11.

```

public static void generateCantaber() {
    // Building
    Building b = new Building();
    b.name = "Casa de Cantaber";
    b.dimension = new Dimension(33, 71, 15);

    b.yearOfCreation = 480;
    b.yearOfDestruction = 780;

    // Pools
    Structure poolA = new Pool(new Location(13, 20), new Dimension(9, 10, 2));

    Structure poolB = new Pool(new Location(3, 15), new Dimension(4, 4, 2));

    Structure poolC = new Pool(new Location(28, 23), new Dimension(3, 2, 2));

    Structure poolD = new Pool(new Location(7, 35), new Dimension(7, 5, 2));

    Structure poolE = new Pool(new Location(19, 35), new Dimension(4, 4, 2));

    Structure poolF = new Pool(new Location(14, 50), new Dimension(4, 19, 2));

    // add the pools
    b.abstractElements = new LinkedList<AbstractElement>();
    b.abstractElements.add(poolA);
    b.abstractElements.add(poolB);
    b.abstractElements.add(poolC);
    b.abstractElements.add(poolD);
    b.abstractElements.add(poolE);
    b.abstractElements.add(poolF);

    // building parts
    BuildingPart bPart1 = new BuildingPart();
    Floor floor = new Floor();
    floor.floorNumber = 0;

    floor.roof = new Roof(6);
}

```

Figura 11 - Trecho de código de atribuição dos atributos da casa de Cantaber.

Visto haver necessidade de persistir os objetos para um ficheiro XML que pudesse ser posteriormente interpretado pela ferramenta desenvolvida para gerar as casas procedimentalmente, foi encontrada uma biblioteca *open-source*, que continua em desenvolvimento desde 2003, chamada XStream (XStream 2003), cujas principais características vão ao encontro daquilo que é requerido para este processo, como é possível verificar na Tabela 2.

Nenhum mapeamento necessário	A maioria dos objetos pode ser serializado, sem necessidade de especificar mapeamentos
Performance	Grande velocidade e baixo consumo de memória são uma parte crucial desta biblioteca, tornando-a adequado para sistemas com alta taxa de transferência de dados.
XML limpo	Nenhuma informação é duplicada. Isto faz com que seja gerado um XML que é mais fácil de ler para os seres humanos e mais compacto

	que a serialização nativa do Java.
Não requer modificações nos objetos	Serializa atributos internos, inclusive privados e finais. Suporta classes não-públicas. As classes não são obrigadas a ter um construtor padrão.
Mensagens de erro	Quando uma exceção ocorre devido a XML mal formado, diagnósticos detalhados são fornecidos para ajudar a isolar e corrigir o problema.
Formatos de saída alternativos	O <i>design</i> modular da biblioteca permite outros formatos de saída. Por defeito, para além de XML, também é permitido o formato JSON.

Tabela 2 - Características da biblioteca XStream.

Como a biblioteca “prometia”, o resultado é um XML fácil de ler para os humanos e claramente mais compacto que a serialização nativa do Java (Figura 12), bastando abrir o ficheiro com um qualquer editor de texto e fazer pequenas adaptações rápidas que reflitam uma necessidade de corrigir algo que será gerado proceduralmente.

```

<Building>
  <active>false</active>
  <id>1</id>
  <name>Casa de Cantaber</name>
  <seed>0</seed>
  <yearOfCreation>480</yearOfCreation>
  <yearOfDestruction>780</yearOfDestruction>
  <idStyle>0</idStyle>
  <BuildingPart>
    <active>false</active>
    <id>33</id>
    <seed>4</seed>
    <yearOfCreation>480</yearOfCreation>
    <yearOfDestruction>780</yearOfDestruction>
    <floor>
      <numberOfBParts>0</numberOfBParts>
      <idFloor>0</idFloor>
      <floorNumber>0</floorNumber>
      <numberOfRooms>0</numberOfRooms>
      <divisions>
        <Division>
          <active>false</active>
          <id>32</id>
          <seed>4</seed>
          <yearOfCreation>0</yearOfCreation>
          <yearOfDestruction>0</yearOfDestruction>
          <dimension>
            <width>7.0</width>
            <height>8.0</height>
            <depth>0.0</depth>
          </dimension>
          <location>
            <x>14</x>
            <y>8</y>
            <z>4</z>
          </location>
        </Division>
      </divisions>
    </floor>
  </BuildingPart>
</Building>

```

Figura 12 - Resultado em XML da ferramenta ERAS I/O da Casa de Cantaber.

Terminada esta fase intermediária do *pipeline*, é possível seguir para a parte de construção procedimental, agora baseada no XML que foi gerado com esta ferramenta.

4.5 ConimbrigaCG

Apelidada de *ConimbrigaCG* (*Conimbriga Computer Generated*), esta ferramenta foi criada com o intuito de poupar não só dinheiro, visto que as alternativas no mercado são extremamente caras, como também tempo. Tentar replicar um artefacto extremamente complexo através de modelação manual pode-se revelar um processo demorado até para um profissional da área. Esta ferramenta permite ainda que qualquer pessoa, sendo ou não especialista em modelação, possa fazer uma aquisição sem qualquer entrave.

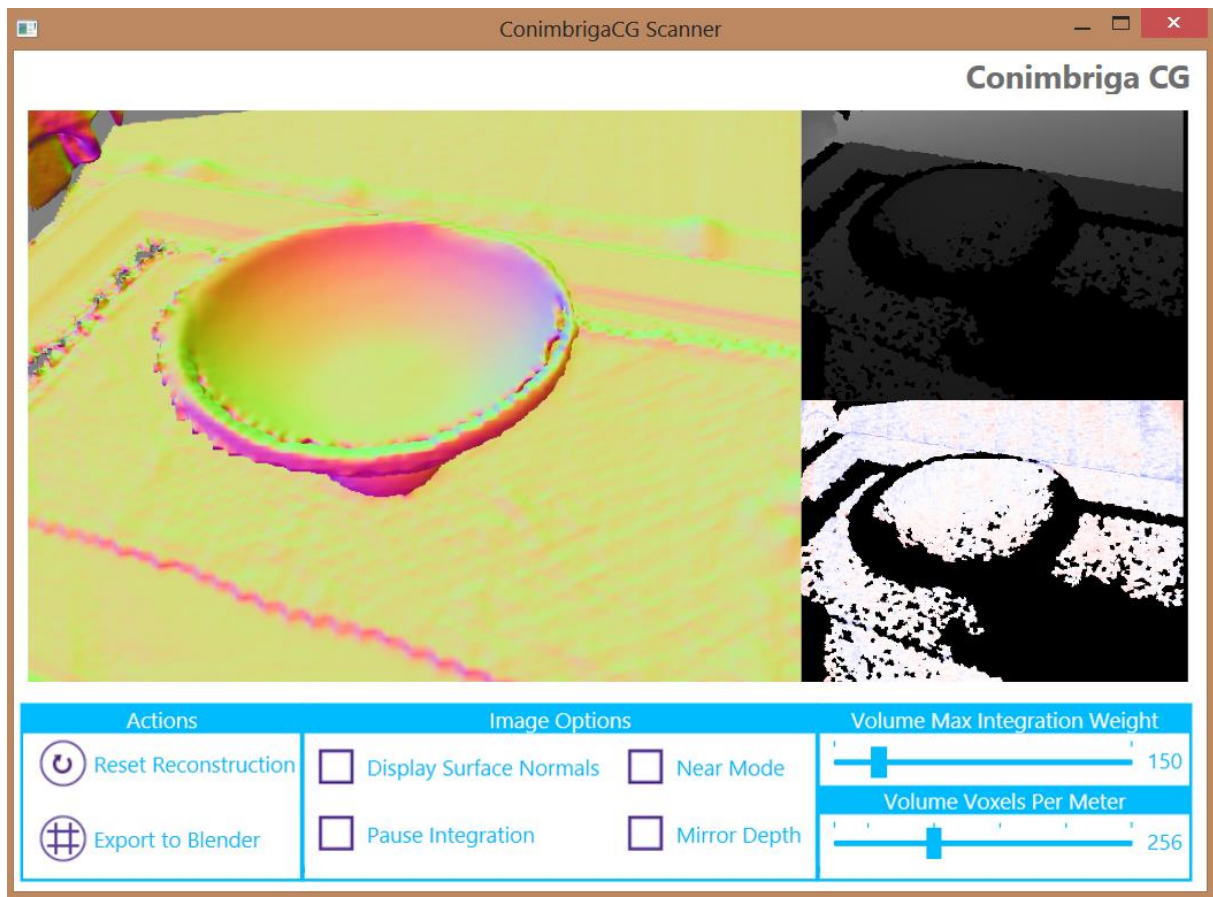


Figura 13 - ConimbrigaCG.

Devido a tratarem-se de artefactos muito antigos e alguns deles verdadeiras relíquias, foi necessária a deslocação até um laboratório no Museu Monográfico de Conímbriga para realizar a aquisição dos artefactos pertencentes à *Casa do Medianum Absidado* e à *Casa de Cantaber*. O processo consistiu em colocar os artefactos num tripé (um a um) e mover, manualmente, a Kinect em volta dos mesmos.

Após várias experiências concluiu-se que, ter o objeto parado enquanto se move o sensor ou ter o sensor parado enquanto se move o objeto são ações equivalentes. No entanto, e apesar da Kinect Fusion suportar ambas as metodologias, mover o sensor em torno de um objeto estático revelou-se uma solução mais robusta e com uma perda de dados significativamente menor dado que há uma maior liberdade para captar pormenores de artefactos que nem sempre têm formas consideradas regulares.

Dado que a Kinect produz modelos com um elevado número de polígonos (Figura 14), tal poderá inviabilizar a disponibilização de um modelo com estas características na internet, uma

vez que a complexidade geométrica dos modelos conduzirá a uma degradação significativa do desempenho aquando de uma utilização em modo interativo. Para reduzir a complexidade geométrica do modelo sem comprometer o realismo do mesmo foi utilizada uma funcionalidade da ferramenta de modelação utilizada, o *Blender*, nomeadamente, o *addon Decimate modifier*. Este tem como funcionalidade principal reduzir o número total de vértices/faces sem alterar a forma do objeto.



Figura 14 - Resultado da aquisição tridimensional de uma ânfora com 669000 faces.

Esta funcionalidade provou a sua utilidade quando com uma configuração de 95%, um modelo com 669000 faces, passou a ter 33000 sem perda visível de qualidade.

O passo final passa por corrigir as possíveis falhas no modelo. Neste caso em particular foi utilizado um *modifier* do *Blender* chamado *Remesh Modifier* de forma a alterar a topologia do modelo preenchendo eventuais buracos. O modelo final, após as modificações descritas pode ser observado na Figura 15.



Figura 15 - Modelo final com as correções necessárias.

Por fim foram aplicadas algumas texturas de forma a aumentar o realismo dos modelos. A Figura 16 mostra um prato de argila obtido por intermédio do método acima descrito, com uma textura aplicada e a Figura 17 um pote que foi reconstruído pela equipa do laboratório do Museu Monográfico de Conímbriga.

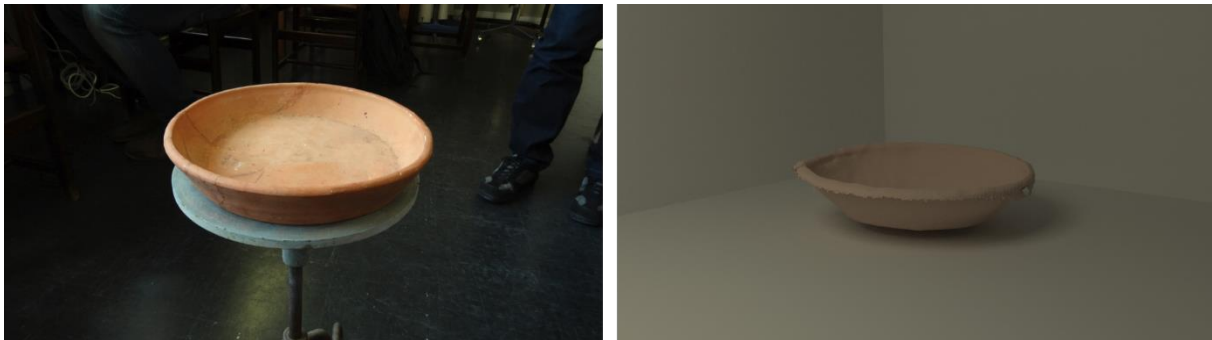


Figura 16 - Modelo obtido da aquisição tridimensional (à direita) e objeto real (à esquerda).



Figura 17 - Modelo de um Pote obtido da aquisição tridimensional (à direita) e objeto real (à esquerda).

5 Reconstrução Virtual

Dado que apenas se pode especular sobre os edifícios que atualmente se encontram completamente em ruínas e que foram outrora o esplendor de Conímbriga, tivemos que proceder à consulta de um especialista sobre esta cidade. Tal procedimento teve como objetivo o de obter uma forma de comparação entre os edifícios gerados pelos métodos procedimentais e uma modelação meticulosa e cuidada, desenvolvida iterativamente com a ajuda dos especialistas.

Para este efeito foi consultado o diretor do Museu monográfico de Conímbriga e especialista em arqueologia romana de Conímbriga, o Doutor Virgílio Hipólito Correia que sugeriu duas tipologias de estrutura: uma mais complexa, a Casa de Cantaber, e outra mais simples, a Casa do Medianum Absidado, de forma a testarmos a ontologia nos dois casos extremos.

Após consultarmos o especialista, este forneceu uma planta detalhada das casas sobre o qual foi possível fazer uma extrusão de todas as paredes, em seguida, foi-nos facultado um estudo de coberturas, assim como um documento com as alturas das paredes e as colunas de todo o complexo.

A reconstrução virtual da Casa de Cantaber e da Casa do Medianum Absidado foi cuidadosamente preparada com base em informações recolhidas no local e no conhecimento de peritos, através de um processo colaborativo entre as áreas de Arqueologia e Informática.

5.1 Método Seguido

De um panorama geral, o processo utilizado para a reconstrução virtual de qualquer edifício de herança cultural passa por quatro etapas, como se pode verificar na Figura 18.

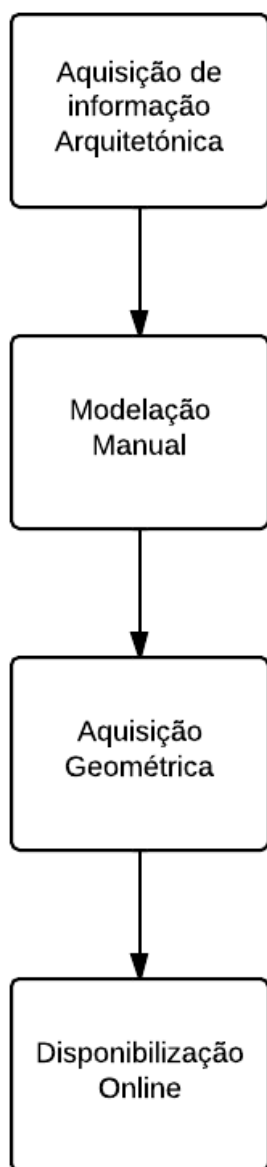


Figura 18 - Esquema do Panorama Geral.

Após a seleção do edifício a reconstruir a primeira etapa consiste em fazer uma aquisição de informação arquitetónica (estudo das coberturas, plantas do edifício, tipo de ornamentos e texturas, algum *background* histórico, entre outras informações que se mostrem relevantes) junto de um especialista da área.

De seguida, e com o auxílio de uma ferramenta de modelação manual procedemos à extrusão das paredes (com base nas plantas fornecidas) e colocação dos telhados (com base no estudo das coberturas) e ornamentos correspondentes.

Com base numa ferramenta criada para o efeito (descrita na secção 4.5) foi possível proceder à aquisição geométrica de artefactos bastante complexos num curto espaço de tempo.

Por fim, e de forma a que o modelo final possa ser acedido a partir de qualquer ponto do globo, a integração dos modelos com os artefactos adquiridos é disponibilizada online através da tecnologia *WebGL*.

5.2 Fluxo de Trabalho

O esquema do Figura 19 ilustra o fluxo de trabalho seguido para a reconstrução virtual de qualquer edifício histórico (Ferreira et al. 2013a; Ferreira et al. 2013b).

Desta forma, é necessário consultar um especialista para obter um estudo das coberturas, de seguida procede-se à modelação da estrutura da casa e é apresentado o resultado obtido ao especialista. Caso não seja o resultado esperado, é necessário proceder às correções apontadas ou a uma nova modelação da estrutura e nova avaliação por parte do especialista. Caso o resultado já seja o esperado consulta-se o especialista para saber quais os artefactos a aplicar sendo que de seguida se faz a aquisição dos mesmos através do *ConimbrigaCG*. Caso os artefactos apresentem falhas é necessário entender se estas podem ou não ser corrigidas. Se não puderem ser corrigidas, tem que se fazer uma nova aquisição das mesmas, caso contrário procede-se a uma correção manual. Se por outro lado, os artefactos não apresentem falhas, então, com a ajuda do especialista, determina-se quais as texturas a utilizar, procedendo-se à sua aplicação. Caso o resultado não seja o esperado, é necessário fazer uma nova aplicação, se o resultado adequado, então integra-se o modelo final numa página web, processo este que é explicado em pormenor na secção 5.2.1.

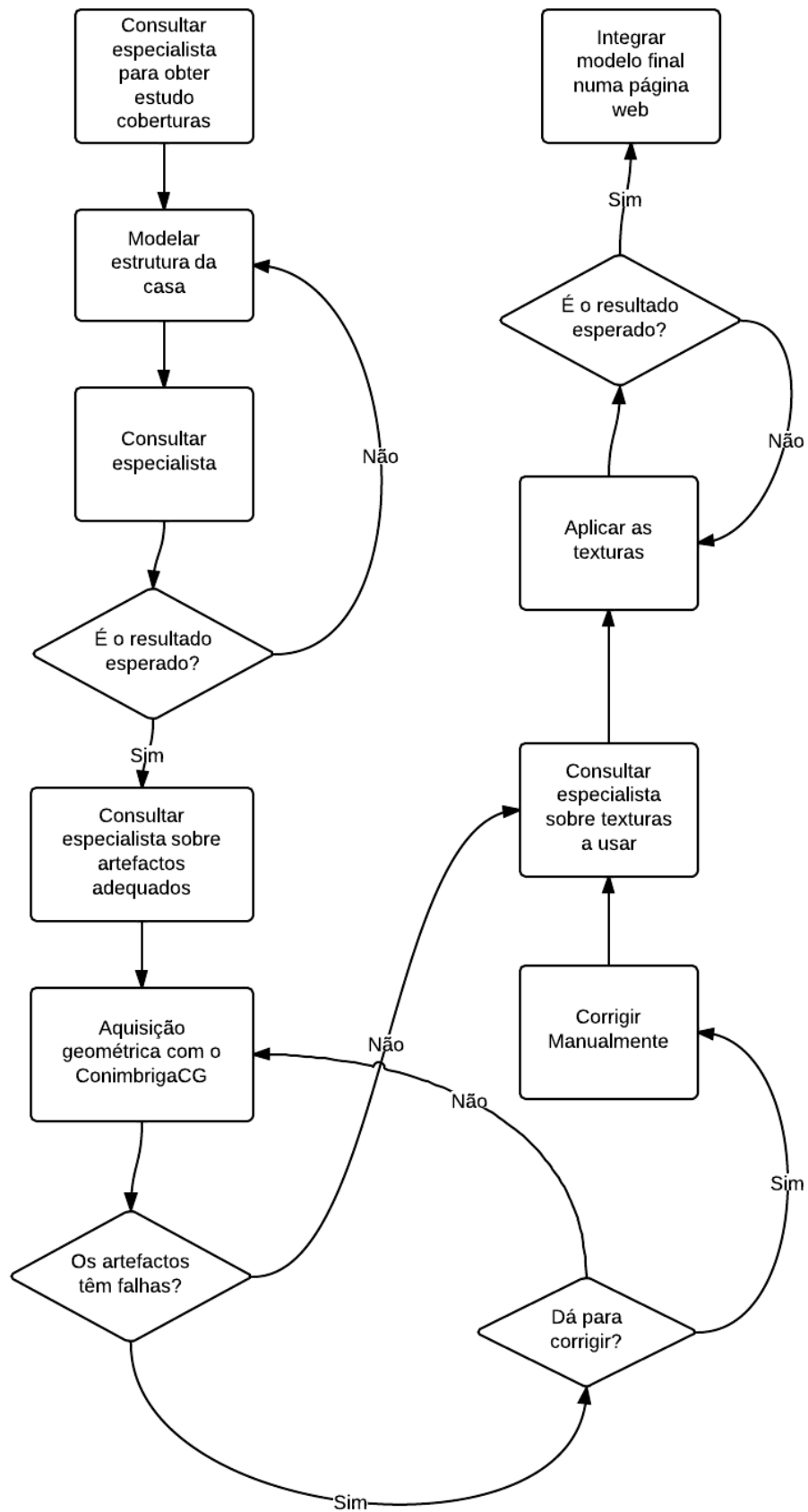


Figura 19 – Fluxo de Trabalho.

5.2.1 Acessibilidade Online

Num passado recente seria necessário usar programas de modelação tridimensional especializados (*Maya*, *3D Studio Max*, *SketchUp*, etc.) de formar a criar/visualizar modelos tridimensionais. Estas ferramentas têm acesso à Unidade de Processamento Gráfico (GPU) do computador, o que permite que este “*renderizasse*” efeitos como sombras, reflexos e distorções atmosféricas a um desempenho que, de outro modo, não seria possível. Caso se pretenda que esses modelos sejam disponibilizados na web, além de terem de ser convertidos para um formato específico, existe ainda a necessidade de instalar um *plugin* para a sua visualização (Gonçalves et al. 2005).

Devido aos avanços nas características atuais dos *browsers*, que possibilitaram a implementação do *WebGL* (KhronosGroup 2011) da Kronos Group, que é a entidade responsável pela especificação *OpenGL* (*Open Graphics Library*). Esta é uma API de baixo nível em *Javascript* que acede diretamente à capacidade gráfica da GPU em que o browser está a ser executado, o processo de visualização tridimensional em tempo real fica facilitado e, como é baseado em padrões web, não necessita de nenhum *plugin* específico para apresentar estes resultados. Tem ainda a vantagem de ser totalmente interativo, funcionar num qualquer computador pessoal e, estima-se que brevemente estará disponível em praticamente todos os dispositivos móveis proeminentes. Nessa sequência, o *Three.js* (Ricardo Cabello 2010), desenvolvido por Ricardo Cabello, é um motor tridimensional extremamente leve com um baixo nível de complexidade que permite combinar todas as tecnologias supra mencionadas e criar um modelo tridimensional interativo de uma casa romana que pode ser navegada livremente em qualquer *browser*.

Para finalizar o processo, tanto o modelo da casa como o dos artefactos nela inseridos foram exportados, utilizando um *plugin* do *Blender* que vem incluído no *Three.js*, para um formato que permite embeber os mesmos numa página web.

5.2.2 HTML5

O HTML5 é a versão mais recente da linguagem de estruturação e apresentação de conteúdo para a web. Apesar da sua especificação ainda se encontrar em fase de desenvolvimento (HTML5 2013a), muitos dos *browsers* web mais utilizados já implementam diversas das suas

funcionalidades.

Esta quinta versão do HTML contém diversas novas melhorias, como por exemplo a semântica (HTML5 2013b) e a acessibilidade. O fator de maior destaque é a inclusão de novos recursos que antes só eram possíveis com a utilização de tecnologias de terceiros, utilizando *plugins*, principalmente para *websites* que requeriam o suporte para reprodução de áudio e vídeo embebido. Dos novos recursos disponibilizados, podemos destacar a inclusão do componente *Canvas* para desenho gráfico, componentes para reprodução de áudio e vídeo, uma API para manipulação de ficheiros, armazenamento local de ficheiros, *WebSockets* para proporcionar a possibilidade de manter conexões persistentes abertas com outras aplicações e o *WebGL* para grafismo tridimensional (KhronosGroup 2011). Este conjunto de recursos possibilita a criação de *RIA*⁶, que no caso de estudo descrito permite a interação em tempo real com um edifício romano.

5.2.3 WebGL

O *WebGL* é uma API multiplataforma baseada no *OpenGL ES 2.0*, para criar gráficos tridimensionais que podem ser executados num *browser* sem a necessidade de um *plugin* (KhronosGroup 2011). Esta API faz a ligação através do *JavaScript*, pelo que não é necessário a aprendizagem de uma nova linguagem de programação para este efeito, com funções específicas do *OpenGL ES*, tornando desse modo possível a utilização de aceleração de *hardware* 3D em objetos ou cenas tridimensionais embebidas em páginas web. Este usa igualmente o elemento *Canvas* do HTML5 para desenhar o objeto tridimensionais na página, que é acedido através de Interfaces DOM (*Document Object Model*), e a gestão automática de memória é nativa da linguagem *JavaScript* (KhronosGroup 2011).

Com o *WebGL* é possível desenvolver conteúdo tridimensional complexo uma vez que esta é uma API de baixo nível. Com o aumento da popularidade desta tecnologia, diversas bibliotecas têm vindo a ser desenvolvidas para o *WebGL* com o objetivo de tornar o desenvolvimento das aplicações tridimensionais mais simples e de mais alto nível, podendo ser citadas como exemplo as bibliotecas, *SpiderGL* (SpiderGL 2013), *WebGLU* (OneGeek 2013), *GLGE* (GLGE 2013) e a *Three.js* (Ricardo Cabello 2010). Sendo esta última a mais conhecida e com uma maior comunidade (Ricardo Cabello 2010), decidiu-se aprofundar a sua API de alto nível.

⁶ Rich Internet Applications

Rica em funcionalidades (Cabello 2010) e com uma excelente documentação, a *Three.js* revelou ser de fácil aprendizagem mas após ter sido iniciado o processo de adicionar programaticamente todos os elementos das casas e de aplicar múltiplas texturas a um objeto, surgiu um entrave com o qual a comunidade *WebGL* se depara no seu dia-a-dia.

Este processo de atribuir várias texturas a um objeto único manualmente, apesar de possível, revelou-se excessivamente demorado, e, dado que as casas que foram modeladas estão repletas de pormenores com texturas que sofreram várias transformações geométricas de modo a obter o melhor resultado possível, não nos pareceu recompensador a nível de tempo.

Foi aqui que, em discussão com a comunidade do *StackOverflow* (StackOverflow 2010), o CTO de uma *startup* Canadiana entrou em contacto e deu a conhecer o *software Verold* (Verold 2013), que, segundo ele, foi criado precisamente para colmatar esse e outros obstáculos que todos os elementos da sua equipa se deparavam constantemente enquanto criavam conteúdos tridimensionais para a web.

Tendo como tecnologias base, o *HTML5*, *WebGL*, *Node.js* (Node.js 2011), *Backbone.js* (Backbone.js 2012), *Socket.io* (Socket.io 2011) e *Three.js*, esta ferramenta permite apresentar conteúdos tridimensionais na web com o seu editor colaborativo que pode ser executado em qualquer *browser*, e que os criadores possam importar ficheiros de objetos tridimensionais (especificamente OBJ, Collada ou FBX) na sua interface web e, em seguida, de forma colaborativa editar cenas tridimensionais que podem ser embebidas em qualquer página HTML (similar aos vídeos do *youtube* com a tag `<embed>`). O editor, tal como o *Google Docs* por exemplo, funciona em tempo real, mas enquanto o primeiro respeita a recursos tridimensionais bastante avançados, o segundo respeita a ficheiros mais simples. Desta forma, no editor é possível editar materiais, iluminação e outros efeitos tudo isto no *browser*, e tudo de forma colaborativa e, como já referido, em tempo real para que as alterações sejam mostradas imediatamente para todos os outros colaboradores do projeto.

Fornecendo tanto uma API como uma interface web de alto nível, optámos por tirar partido da interface web para colocar o modelo completo com as texturas associadas e utilizar a API para criar uma página web dedicada a este propósito em ecrã inteiro com controlos de navegação.

5.3 Enquadramento Histórico

Para melhor conseguir aplicar os procedimentos desenvolvidos é necessário que compreender melhor a história de cada edifício tal como é apresentado de seguida.

5.3.1 Casa de Cantaber

A casa de Cantaber ocupou uma ínsula muito central no padrão urbano de Conimbriga. Esta é a maior casa de Conimbriga (80mx40m) (Figura 20). Trata-se de uma residência típica do séc. III.

“A casa atribuída a Cantaber situa-se no interior da cidade amuralhada no baixo-império e constitui um dos mais interessantes testemunhos da arquitetura privada de Conimbriga. Objeto de algumas sondagens entre 1873 e 1899 é integralmente escavada, entre 1930 e 1934 por Virgílio Correia. A publicação do estudo (Correia 2001) da sua estrutura, associado aos resultados obtidos durante uma campanha de sondagens realizada entre 1995 e 1998 (Correia 2011), permitem agora definir três fases, bem delineadas num contexto estratigráfico e estrutural, de ocupação desta ínsula: um primeiro momento de datação pré-claudiana de morfologia difícil de caracterizar; um segundo momento flaviano no qual uma grande casa de traço palaciano, ocupa a totalidade da ínsula; um terceiro momento, em finais do séc. III DC, ou mesmo já entrado o séc. IV, no qual a *domus* sofre profundas reformas, motivadas pela obrigada reorganização dos espaços a que a construção da muralha baixo imperial obrigou. Este último momento não decorre em única empreitada. Numa primeira fase são construídas umas latrinas, corpo adossado ao antigo perímetro da casa, fase apenas possível após a privatização deste espaço, num segundo momento é edificado o denominado peristilo truncado, corpo longilíneo, que geriu o espaço que a muralha lhe ofereceu. Num último momento, alguns espaços da casa são utilizados como zonas de fundição e outros, assumem funções industriais. Regista-se também a utilização de algumas áreas da *domus* como necrópole, podendo associar-se a esta última alguns enterramentos datados por moedas de Honório.” – *Virgílio Correia*

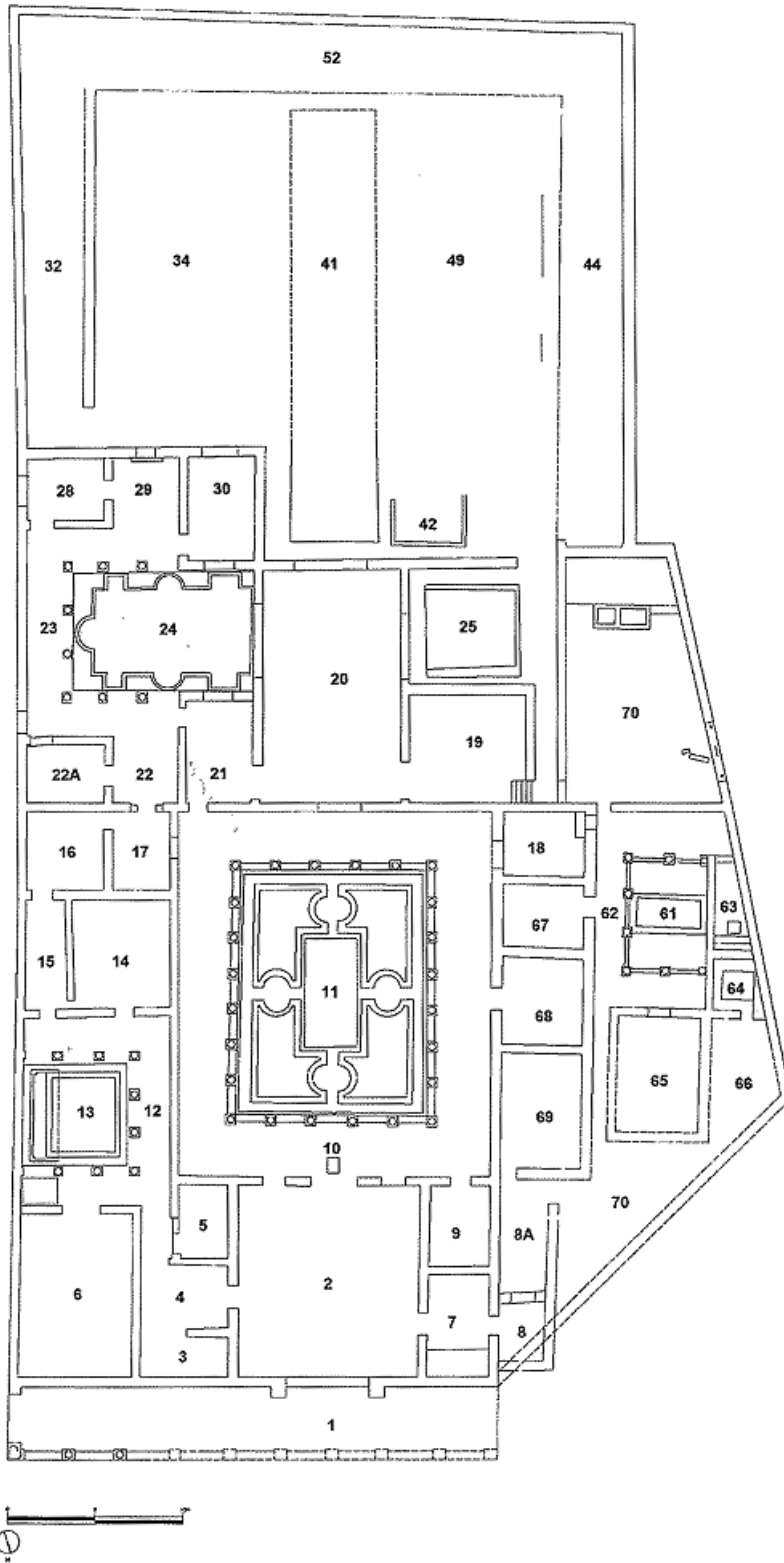


Figura 20 - Planta da Casa de Cantaber.

5.3.2 Casa do Medianum Absidado

Apesar da ínsula a que pertence a *Casa do Medianum Absidado* não se poder considerar completamente escavada, os dados disponíveis são suficientes para se descrever com algum pormenor este edifício (Figura 21).

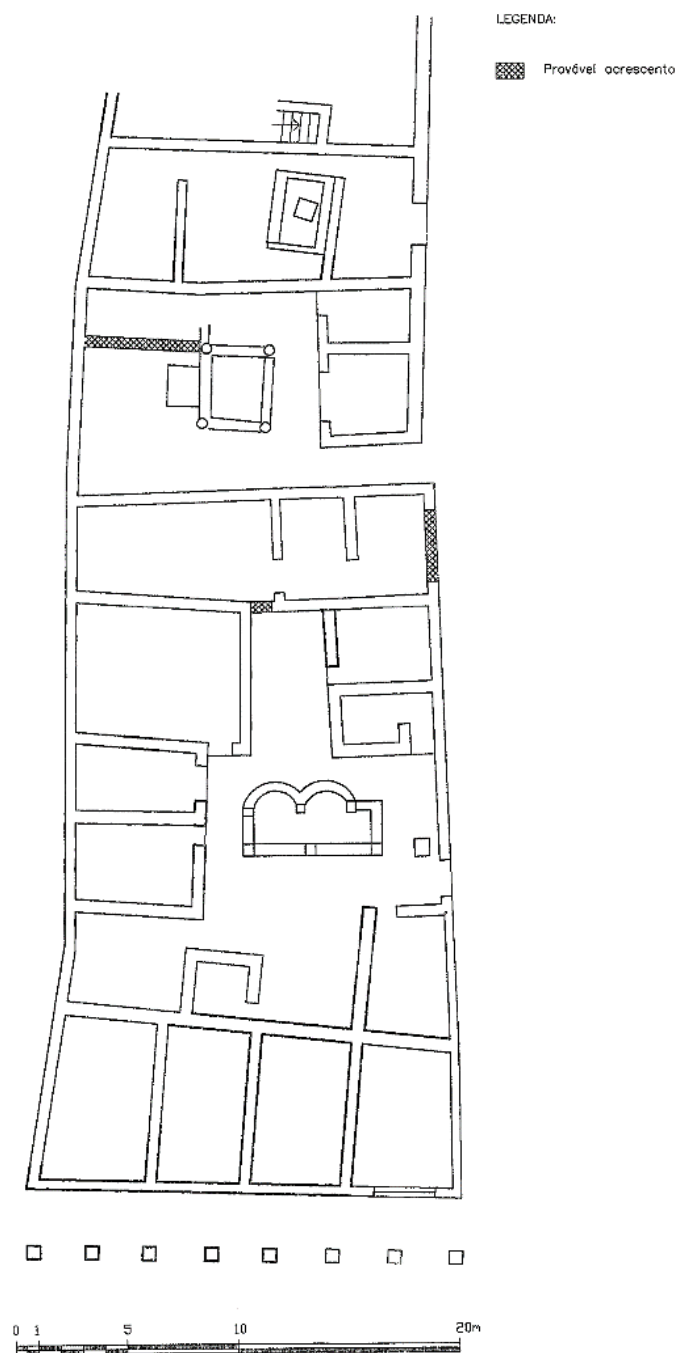


Figura 21 - Planta da Casa do Medianum Absidado.

As estruturas denominadas “*Casa do Medianum Absidado*” são parte integrante da ínsula

paralela ao Fórum, do lado poente, que inclui também a casa de *Valerius Daphinus* e ainda outras unidades a Norte (Figura 22).

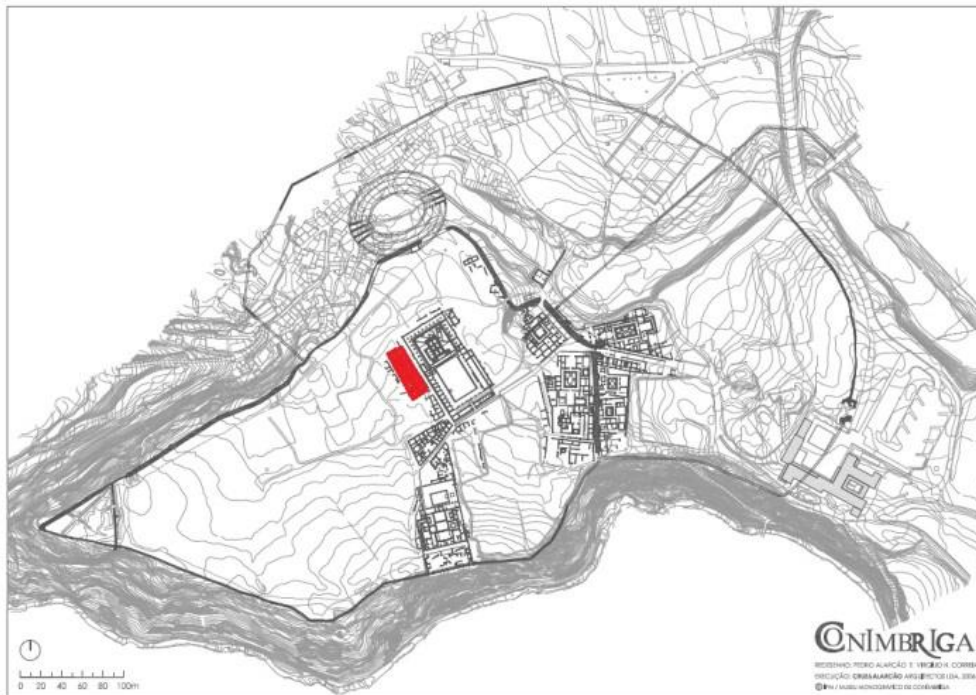


Figura 22 - Planta de Conimbriga onde é possível localizar a Casa do Medianum Absidado, assinalada com um retângulo, ao lado do Fórum.

Apesar de os primeiros blocos (em primeiro plano na Figura 23 e Figura 23) pertencerem ao edifício, estes eram completamente independentes um do outro em termos de circulação uma vez que para além de não se identificarem acessos pelo interior estes ficavam situados a uma cota ligeiramente superior. Pressupõe-se que as lojas tivessem dimensões homogéneas, o que permitiu reconstruir um total de quatro unidades, e que seriam providas de um piso superior, em mezanino, que avançaria sobre o próprio pórtico (Ruivo 2006).



Figura 23 - Zona central da casa com as bases do Medianum Absidado em primeiro plano.

“Na parte principal da casa conservam-se as bases dos pilares que suportaram um *medianum* cuja base mostra ter sido absidada, como efeito decorativo. A entrada fazia-se diretamente para este espaço “porticado” desde a rua a oeste do fórum: infelizmente perturbações posteriores destruíram este setor do muro, não sendo perfeitamente compreensível qual a sua relação com o que parece ser um emparedamento da porta. Quase todo o piso do edifício foi revestido a *opus signinum*; todavia as escavações de 2002 demonstraram (Correia 2011), pelo facto de se ter identificado o estrato de destruição ativa e queda do telhado diretamente sobre a rocha de base não trabalhada – demasiado irregular para permitir circulação – que ao menos o compartimento do canto sudeste teria tido um pavimento em soalho de madeira.” – *Virgílio Correia*

6 Resultados

Dadas as expetativas de obter modelos com o máximo de realismo e rigor possível, tornou-se necessário adotar medidas e soluções para o atingir, sendo que as texturas revelaram ser o ponto principal para a concretização do resultado esperado.

De seguida serão apresentados o processo de decisão para a escolha do motor de *render*, a aplicação de texturas, algumas imagens alusivas aos resultados relativos aos espaços de herança cultural, e por fim o acesso online aos mesmos.

6.1 Texturas

Analisando este trabalho do ponto de vista do utilizador final, as texturas representam um aspeto crucial para que os modelos tenham um grau de realismo aceitável. Como foi referido no capítulo 2.2.2 optámos pela ferramenta de modelação Blender. Este usava um motor de render chamado “*Render Internal*” que felizmente foi substituído por outro chamado “*Cycles Render*”, que é mais rápido, mais flexível e produz resultados mais realistas do que o seu antecessor como se pode ver na Figura 24. O facto de o *Blender* ter suporte para processar os seus *renders* com a GPU (Nvidia 2011) invés da CPU, permite que essa paralelização acelere significativamente o tempo de espera para previsualização de alterações feitas tanto nos modelos como nas texturas aplicadas.



Figura 24 - *Render Internal* vs *Cycles Render*.

Desenvolvido por Brecht van Lommel, contribuidor para a *Blender Foundation*, o *Cycles* oferece a possibilidade de obter resultados extremamente realistas sem precisar de utilizar motores de render externos à aplicação que normalmente são excessivamente complexos de manipular.

O sistema de materiais está muito mais moderno e fácil no *Cycles*, podendo ser utilizado com o sistema de *Node Composing* (Figura 25) ou normalmente pelo painel de materiais.

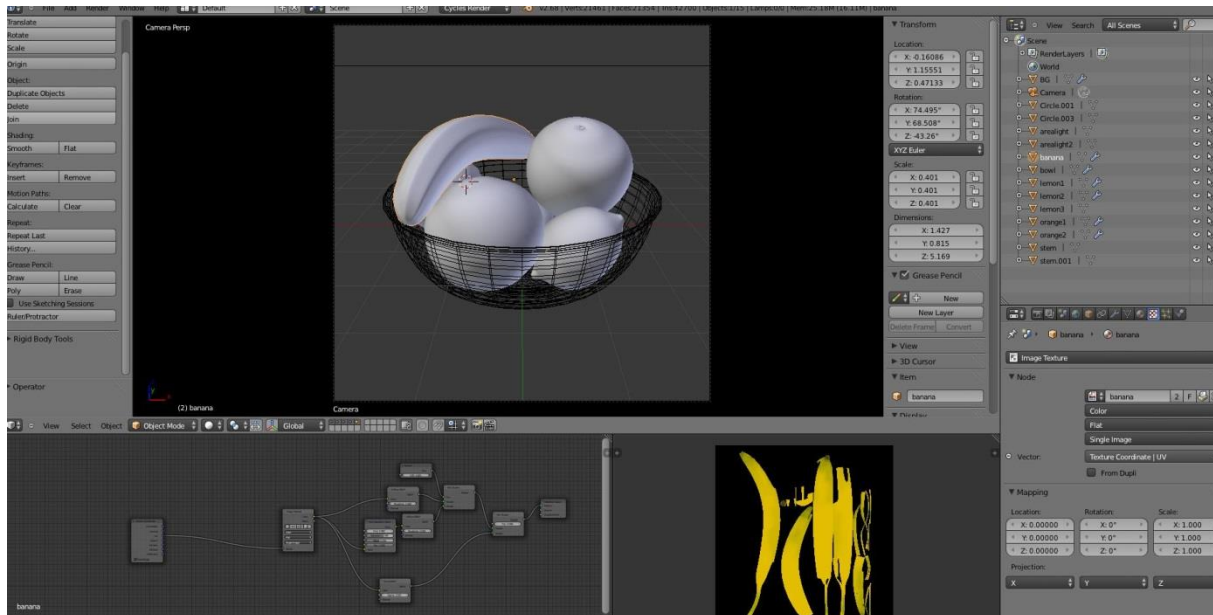


Figura 25 - Recipiente com frutos diversos com texturas aplicadas via *Node Composing*.

A iluminação é o fator principal para que um render seja realista. No que diz respeito a este ganho de realismo, podemos afirmar que a maior diferença está na maneira como a iluminação acontece dentro do *Cycles*, enquanto o *Render Internal* usa iluminação direcionada com simulação de iluminação global (através do *Ambiente Occlusion*), o *Cycles* trabalha totalmente com iluminação global, ou seja, consegue obter resultados visuais bastante realistas (Figura 26).



Figura 26 - Sala de jantar da Casa de Cantaber.

6.2 *Renders* dos espaços de herança virtual

Após todo o processo de reconstrução virtual, foram obtidos os *renders* da Casa de Cantaber e da Casa do Medianum Absidado.

Assim, tal como demonstrado pelos membros do projeto, serão apresentados *screenshots* da Casa de Cantaber (Ferreira et al. 2013a) –Figura 30, Figura 31 e Figura 32 - e da Casa do Medianum Absidado (Ferreira et al. 2013b) – Figura 27, Figura 28 e Figura 29.



Figura 27 - Medianum Absidado, vista frontal.



Figura 28 - Medianum Absidado, vista lateral



Figura 29 - Medianum Absidado, vista lateral



Figura 30 - Cantaber, vista frontal.

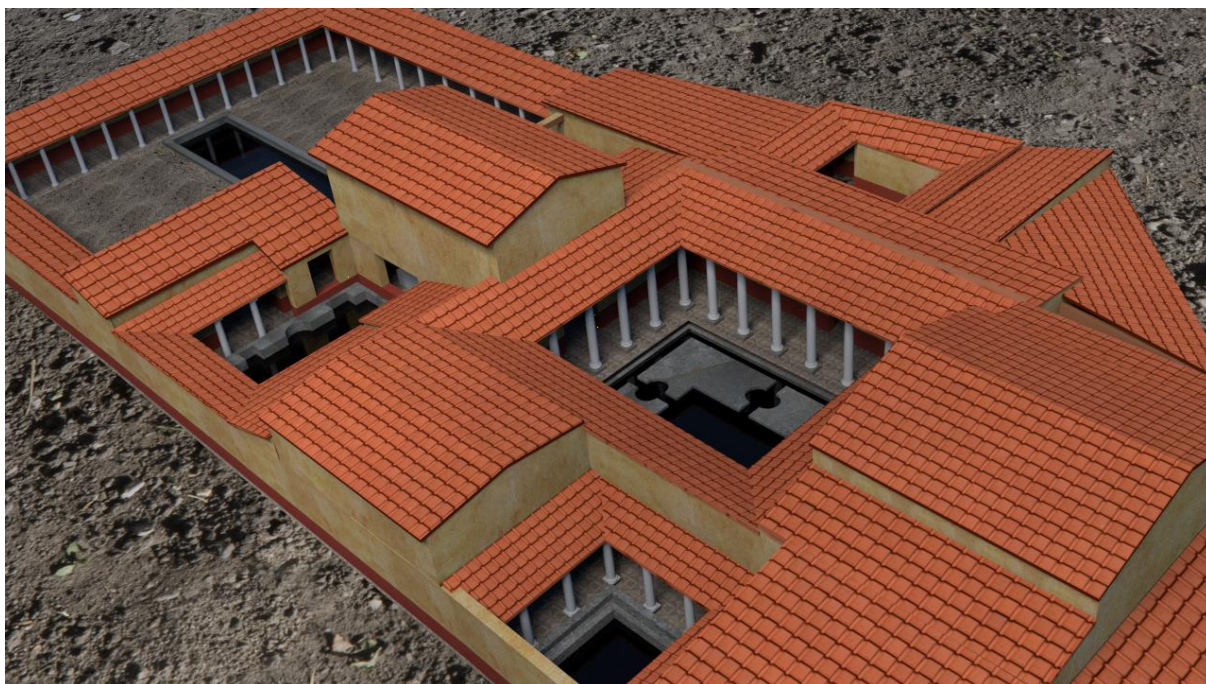


Figura 31 - Cantaber, vista aérea.



Figura 32 - Cantaber, vista para uma sala de jantar.

6.3 Montagem do cenário para o vídeo

Através das reconstruções tridimensionais geradas procedimental e manualmente foram gerados vídeos em forma de visita ao interior e exterior dos espaços de herança cultural. Desta forma os vídeos são constituídos pelas representações tridimensionais dos edifícios, dispostos no espaço de acordo com as plantas da cidade, correspondentes artefactos e pelo seu espaço

envolvente, incluindo as muralhas também elas colocadas de acordo com as plantas disponíveis.

Como já referido, alguns dos edifícios foram gerados proceduralmente e outros manualmente. A Figura 33 mostra que os espaços assinalados a verde foram gerados proceduralmente e os assinalados a vermelho manualmente, sendo que, apesar de serem todos relativos ao Projeto ERAS, estes últimos dizem respeito a esta dissertação.

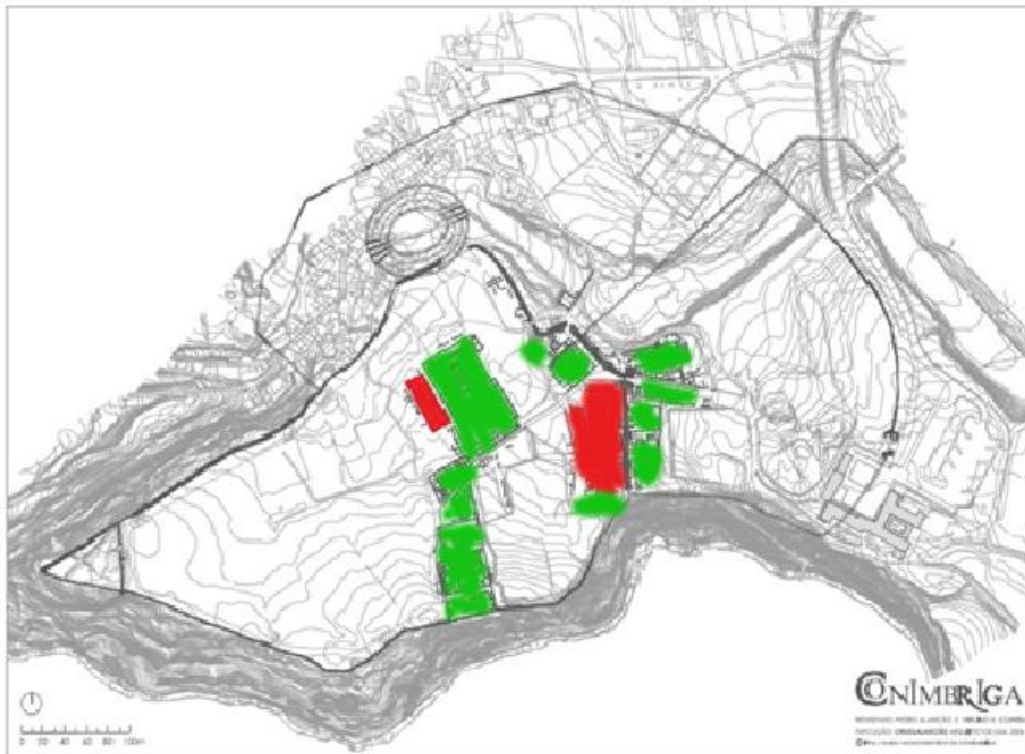


Figura 33 - Planta da Cidade de Conimbriga com a marcação dos edifícios modelados.

6.4 Acesso Online

Com recurso à API mencionada na secção 5.2.3, foi possível colocar à disposição de qualquer internauta munido de um *browser*, dois *websites* totalmente imersivos, como se pode ver na Figura 34 e na Figura 35, que permitem uma navegação livre no ambiente criado que funcionam nos mais recentes *browsers*⁷.

Ambos podem ser consultados:

- Casa de Cantaber - <http://cesarferreira.com/work/cantaber/>
- Medianum Absidado - <http://cesarferreira.com/work/medianum/>

⁷ Testado com sucesso no Opera v18, Chrome v31 e Firefox v24.

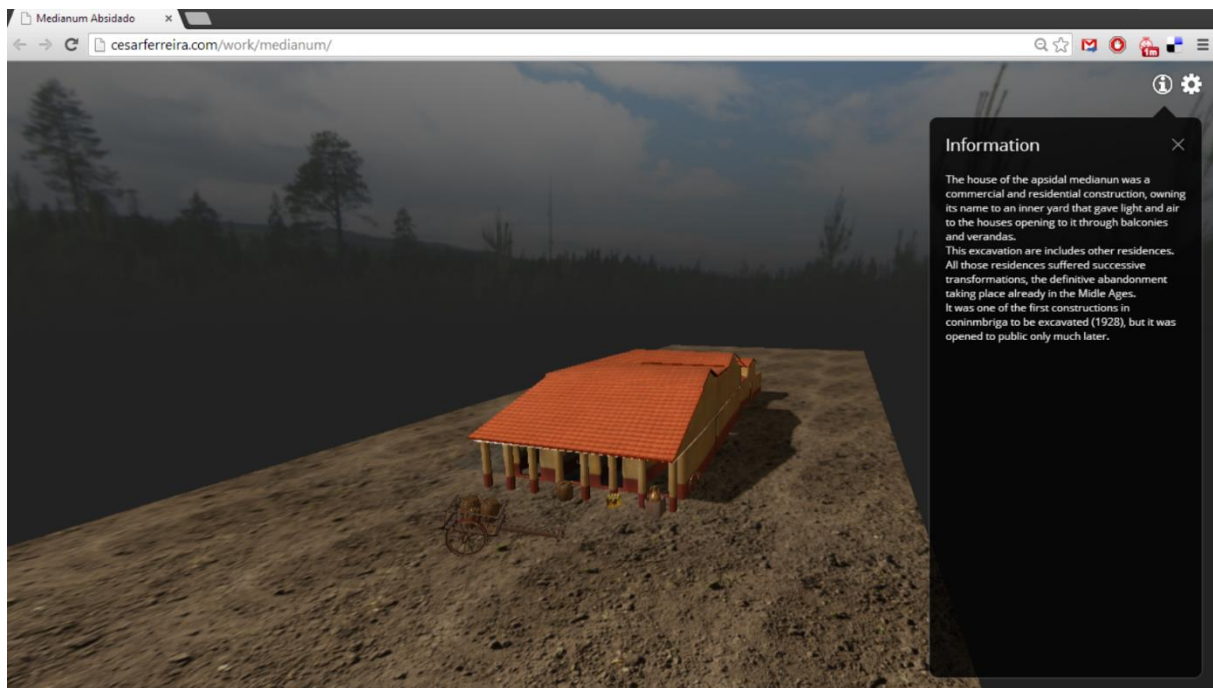


Figura 34 - Screenshot da aplicação web com a casa do *Medianum Absidado*.

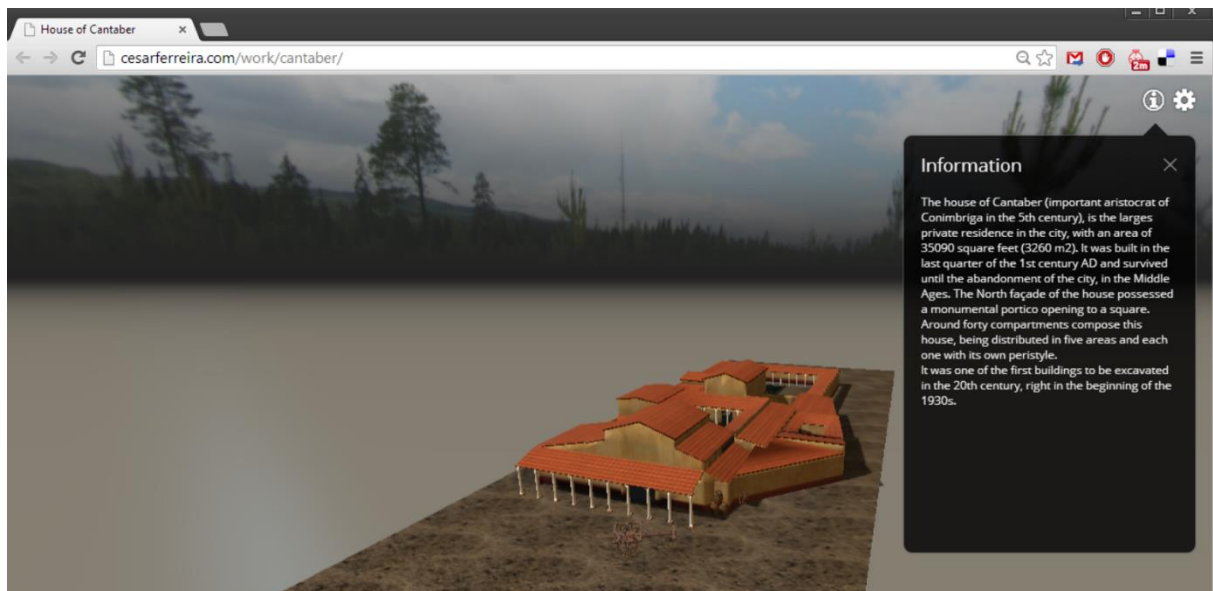


Figura 35 - Screenshot da aplicação web com a casa de *Cantaber*.

7 Conclusão

Nos últimos anos tem havido um incremento da preocupação com o legado deixado pelos nossos antepassados e, com o desenvolvimento de novas e poderosas tecnologias, é agora possível aliar ambos. Este trabalho tem como objetivo primordial a criação de um processo de reconstrução virtual híbrido em que é utilizado somente *software open-source* para construir os modelos tridimensionais das *Casas do Medianum Absidado e Cantaber*, onde são incluídas réplicas virtuais de artefactos usados na época em questão e que foram adquiridas com um software desenvolvido no âmbito deste projeto para esse efeito. Como resultado final, todo este cenário pode ser visitado *online*. Esse processo foi implementado através de modelação manual utilizando um *software* de código aberto e um sensor de profundidade móvel de baixo custo. A modelação tridimensional apresenta-se como uma alternativa real e fiável tornando-se uma mais-valia, não só para os historiadores e arqueólogos como igualmente para um utilizador comum que esteja simplesmente curioso.

Assim, surgiu o Projeto ERAS, que é um projeto que permite que através de documentação escrita sejam geradas recriações tridimensionais de edifícios de herança cultural.

Esta dissertação integra-se com o Projeto ERAS através dos testes à ontologia para que haja uma afinação e na exportação da ontologia posterior à extração de informação textual no formato XML para que seja interpretada pelo módulo de geração procedimental e ainda na construção de edifícios manualmente e consequente aquisição de artefactos para juntar ao modelo final.

Os edifícios e os artefactos, são posteriormente apresentados numa plataforma *online*. Tal é possível devido ao WebGL e ao OpenGL. Foi demonstrado que o *WebGL* se destaca quanto à qualidade gráfica e desempenho, utilizando recursos de baixo nível do *OpenGL ES 2.0* para manipular o *render* de uma cena tridimensional.

Ao invés de outras alternativas apresentadas, esta solução é agnóstica ao sistema operativo, não necessita de *plugins* adicionais para a visualização num *browser* e não apresenta custos excessivos.

A metodologia desenvolvida revelou-se uma excelente abordagem para o problema proposto, pelo que se espera que esta venha a ser útil para futuros investigadores que tenham como objetivo reconstruir edifícios expeditos.

7.1 Trabalho Futuro

O presente trabalho teve como objetivo a criação de uma nova abordagem no campo dos processos de reconstrução virtual. No entanto, é importante ressaltar que ainda há muito para ser feito no que diz respeito a esta temática.

Melhorias como a automatização de todo o processo, desde a extração da informação textual, passando pela geração procedimental até à exportação e integração dos modelos criados num sítio web prontos a ser disponibilizados *online*; permitir que a ferramenta de modelação automática (ConimbrigaCG) adquira as texturas do objeto que está a reconstruir; a utilização do microfone da Kinect para que seja possível, através das capacidades de reconhecimento de voz da mesma, fazer “*reset*” ou “*save*” sem haver a necessidade de uma deslocação até ao computador e largar o artefacto; conseguir controlar o *browser* com a Kinect fazendo *panning* e *zoom* apenas com o auxílio das mãos; permitir que a primeira fase de extração de informação seja feita a partir de uma fotografia tirada com um *smartphone* a qualquer texto histórico; e ainda a integração das partes de modelação manual, tanto casas como ornamentos, de forma automática através de geolocalização de maneira a complementar o modelo de uma cidade, vão possibilitar que seja utilizado todo o potencial deste projeto.

Brevemente, em conjunto com o *WebCL* (KhronosGroup 2012), que ainda se encontra em desenvolvimento, usar *Javascript* para tirar partido da computação paralela heterogênea permitindo que o programador utilize o processamento paralelo da GPU para melhorar ainda mais a aceleração gráfica da sua aplicação, vai tornar-se uma realidade, permitindo, desse modo, que modelos ainda mais complexos e até jogos considerados exigentes a nível computacional corram diretamente numa janela do *browser*.

O feedback recebido por parte do perito, quando lhe foram mostrados alguns dos vídeos e modelos, e por parte do público presente nas conferências nas quais existiram artigos publicados

relacionados com este projeto, foi muito positivo. No entanto, é notório que todo o cenário carece de uma avaliação com utilizadores reais para aferir analiticamente os resultados finais de todos o projeto ERAS.

Por isso, por isso este projeto é tido como o primeiro passo para o desenvolvimento de muitas outras investigações a respeito deste tema.

8 Bibliografia

- 3rdTech, I., 2000. Capturing Crime Scenes in 3D and Color. Available at: <http://www.deltasphere.com/>.
- Adão, T. et al., 2012. ERAS--An Ontology-Based Tool for the Expeditious Reconstruction of Virtual Cultural Heritage Sites.
- Backbone.js, 2012. Backbonejs. Available at: <http://backbonejs.org/>.
- Baptista, R., Reis, L. & Magalhães, L., 2012. Extração de informação de texto formal para a modelação expedita de edifícios monumentais. *paginas.fe.up.pt*. Available at: http://paginas.fe.up.pt/~niadr/PUBLICATIONS/LIACC_publications_2011_12/pdf/CN14.pdf [Accessed November 11, 2013].
- Barragán, E., 2013. Italica Romana. Available at: <http://italicaromana.blogspot.pt/>.
- Bernardes, P. et al., 2000. Virtual Tour to Bracara Augusta.
- Bernardes, P. & Martins, M., 2003. Computação gráfica e Arqueologia Urbana: o caso de Bracara Augusta. *Encontro de Computação Gráfica, Porto*.
- Cabello, R., 2010. Three.js features. Available at: <https://github.com/mrdoob/three.js/wiki/Features>.
- Coelho, A. et al., 2007. Expeditious Modelling of Virtual Urban Environments with Geospatial L-systems. *Computer Graphics Forum*, 26, pp.769–782. Available at: <http://www3.interscience.wiley.com/journal/118494430/abstract>.
- Correia, V.N.H., 2011. A arquitectura doméstica de Conimbriga e as estruturas económicas e sociais da cidade romana.
- Dylla, K. & Frischer, B., 2008. Rome reborn 2.0: A case study of virtual city reconstruction using procedural modeling techniques. *Computer Graphics ...*. Available at: http://romereborn.virginia.edu/rome_reborn_2_documents/papers/Dylla2_Frischer_Rome_Reborn.pdf [Accessed November 23, 2013].
- Ferreira, C. et al., 2013a. Reconstructing Conimbriga - Digital Cantaber. *IVAPP2014*.
- Ferreira, C. et al., 2013b. Reconstruindo Conimbriga - Medianum Absidado Digital. *Interação2013*.
- Fog Creek, 2011. Trello. Available at: <http://trello.com>.
- Frischer, B., Abernathy, D. & Guidi, G., 2008. Rome reborn. *ACM SIGGRAPH 2008 ...*. Available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1401649> [Accessed November 23, 2013].

- Github, 2010. Github. Available at: <http://github.com>.
- GLGE, 2013. GLGE. Available at: <http://www.glge.org/>.
- Gomes, M. et al., 2006. Acesso Interoperável a Informação Geográfica para Disponibilização de Modelos Urbanos 3D em Dispositivos Móveis. *XATA*. Available at: <http://xata.fe.up.pt/2006/papers/37.pdf> [Accessed October 22, 2013].
- Gonçalves, A.J.M., Silva, F. & Mendes, A.J., 2005. An approach to (virtually) recreate historical findings.
- Greuter, S. et al., 2003. Real-time procedural generation of 'pseudo infinite' cities. *Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia GRAPHITE 03*, pp.87–95. Available at: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=604471.604490>.
- Guidi, G. et al., 2005. Virtualizing ancient rome: 3d acquisition and modeling of a large plaster-of-paris model of imperial rome. In *Electronic Imaging 2005*. pp. 119–133.
- Haegler, S. et al., 2006. Procedural modeling of buildings. *ACM Transactions on Graphics*, 25, p.614.
- Henry, P. et al., 2010. RGB-D mapping: Using depth cameras for dense 3D modeling of indoor environments. In *the 12th International Symposium on Experimental Robotics (ISER)*. pp. 22–25.
- HTML5, 2013a. HTML5. Available at: <http://dev.w3.org/html5/decision-policy/html5-2014-plan.html>.
- HTML5, 2013b. HTML5. Available at: http://www.w3schools.com/html/html5_semantic_elements.asp.
- KhronosGroup, 2012. WebCL, Heterogeneous parallel computing in HTML5 web browsers. Available at: <http://www.khronos.org/webcl/>.
- KhronosGroup, 2011. WebGL, OpenGL ES 2.0 for the Web. Available at: <http://www.khronos.org/webgl/>.
- Lindenmayer, A., 1968. Mathematical Models for Cellular Interactions in Development I. Filaments with One-Sided Inputs. *Journal of Theoretical Biology*, 18, pp.280–299. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5659071>.
- Liu, Y.L.Y. et al., 2008. The Smart Architect: Scalable Ontology-Based Modeling of Ancient Chinese Architectures. *IEEE Intelligent Systems*, 23. Available at: <http://lps.csd.auth.gr/mtpx/sw/material/IEEE-IS/IS-23-1-b.pdf>.
- Martin, J., 2005. Algorithmic beauty of buildings methods for procedural building generation. *Computer Science Honors Theses*, p.4.

- Merrell, P., Schkufza, E. & Koltun, V., 2010. Computer-generated residential building layouts. *ACM Transactions on Graphics*, 29, p.1. Available at: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1882261.1866203>.
- Microsoft, 2011. Kinect for Windows. Available at: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>.
- Müller, P. et al., 2005. Automatic reconstruction of Roman housing architecture. In *Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage*. pp. 287–298. Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Automatic+reconstruction+of+Roman+housing+architecture#0>.
- Müller, P. et al., 2006. Procedural 3D Reconstruction of Puuc Buildings in Xkipché. In *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST) 2006*. pp. 139–146.
- NextEngine, 2001. 3D Scanner HD. Available at: <http://www.nextengine.com/>.
- Node.js, 2011. Node.js. Available at: <http://nodejs.org/>.
- Nvidia, 2011. Cuda. Available at: http://www.nvidia.com/object/cuda_home_new.html.
- OneGeek, 2013. WebGLU. Available at: <https://github.com/OneGeek/WebGLU>.
- Parish, Y.I.H. & Müller, P., 2001. Procedural modeling of cities. *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH 01*, 01pages, pp.301–308. Available at: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=383259.383292>.
- Pheatt, C. & McMullen, J., 2012. Programming for the Xbox Kinect™ sensor: tutorial presentation. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 27(5), pp.140–141.
- Pottmann, H. et al., 2007. Geometry of multi-layer freeform structures for architecture. *ACM Transactions on Graphics*, 26, p.65. Available at: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1276377.1276458>.
- PrimeSense, 2013. No Title. Available at: <http://www.primesense.com/>.
- Ricardo Cabello, 2010. JavaScript 3D library using WebGL. Available at: <https://github.com/mrdoob/three.js/>.
- Rodrigues, N., Magalhães, L., et al., 2008. Automatic Reconstruction of Virtual Heritage Sites. *Sites The Journal Of 20Th Century Contemporary French Studies*, pp.39–46. Available at: <http://www.eg.org/EG/DL/WS/VAST/VAST08/039-046.pdf>.
- Rodrigues, N., Dionísio, M., et al., 2008. Incorporating legal rules on procedural house generation. In *Proceedings of the 24th Spring Conference on Computer Graphics*. pp. 59–66.
- Rodrigues, R., Coelho, A. & Reis, L., 2009. Modelação Expedita de Edifícios Monumentais a Partir de Descrições Textuais. *it.ubi.pt*. Available at:

- http://www.it.ubi.pt/17epcg/Actas/artigos/17epcg_submission_36.pdf [Accessed November 11, 2013].
- Ruivo, J., 2006. Conjunto Monetário Tardo-Romano da Casa do Mediano Absidado (Coninbriga). *Conimbriga: revista do Instituto de Arqueologia*, (45), pp.301–310.
- Santos, D. et al., 2010. On the Expeditious Modelling of Buildings. In *Proceedings of the 2010 Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, pp. 60–67. Available at: <http://dx.doi.org/10.1109/VIS-GAMES.2010.23>.
- Socket.io, 2011. Socket.io. Available at: <http://socket.io/>.
- Sony, 2013. Wii. Available at: <http://wii.com>.
- SpiderGL, 2013. SpiderGL. Available at: <http://spidergl.org>.
- StackOverflow, 2010. StackOverflow. Available at: <http://stackoverflow.com/>.
- Takeuchi, H. & Nonaka, I., 1986. The new new product development game. *Harvard business review*. Available at: [http://mis.postech.ac.kr/class/MEIE780_AdvMIS/paper/part3/32_The new product development game.pdf](http://mis.postech.ac.kr/class/MEIE780_AdvMIS/paper/part3/32_The%20new%20product%20development%20game.pdf) [Accessed December 3, 2013].
- Verold, 2013. Verold. Available at: <http://verold.com/>.
- Williams, R. & BECK, I., 1999. All in Good Timecode. *Adobe Magazine*. Available at: [http://www.sjpc.org/mppcclub/contents02/Premiere/Adobe Primers/Timecode Primer.pdf](http://www.sjpc.org/mppcclub/contents02/Premiere/Adobe%20Primers/Timecode%20Primer.pdf) [Accessed November 14, 2013].
- XStream, 2003. XStream. Available at: <http://xstream.codehaus.org/>.
- Zhu, J. et al., 2007. Fast omnidirectional 3D scene acquisition with an array of stereo cameras. In *3-D Digital Imaging and Modeling, 2007. 3DIM'07. Sixth International Conference on*. pp. 217–224.