

DESENVOLVIMENTO DE INTERFACES TRIDIMENSIONAIS PARA APLICAÇÕES MÓVEIS A PARTIR DA TECNOLOGIA BIM

MIGUEL ANTÓNIO MATOS DE BARBOSA MONTEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

Coorientador: Professor Doutor João Filipe Meneses Espinheira Rio

JULHO DE 2013

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais

*Depois de termos conseguido subir a uma grande montanha, só descobrimos que existem
ainda mais grandes montanhas para subir.*

Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível devido à colaboração de algumas pessoas que, através do seu apoio, tanto técnico como moral, possibilitaram o seu desenvolvimento de uma forma saudável. Assim, não poderia deixar uma palavra de agradecimento às seguintes pessoas.

Ao meu orientador, João Pedro Poças Martins, pela disponibilidade demonstrada, pela forma como guiou o trabalho e pela sensibilidade em lidar com alguém muito pouco familiarizado com o tema.

Ao meu coorientador, João Filipe Rio, pelas boas sugestões na realização do trabalho, pela disponibilidade e atenção em ouvir as minhas dúvidas e pela motivação transmitida.

Aos Serviços Técnicos e de Manutenção da FEUP pelo fornecimento das plantas do edifício G, permitindo a realização do caso de estudo.

Aos funcionários da bimTEC que me deram uma grande ajuda na modelação do edifício do caso de estudo e que me receberam bastante bem no seu local de trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso, que ao longo destes anos sempre foram uma fonte de bem-estar e de motivação e que estiveram sempre presentes e disponíveis tanto para desabafos pessoais como para sugestões bastante valiosas em todos os trabalhos que realizei incluindo a presente dissertação. Um grande obrigado pelas grandes alegrias e grandes momentos que passamos juntos.

À minha família que me ajudou a crescer num ambiente de fraternidade e de união, que teve a maior influência no homem que sou hoje.

Aos meus irmãos pela preocupação demonstrada durante a realização da dissertação e por estarem sempre prontos para me apoiarem em qualquer situação.

Por último, um agradecimento muito especial aos meus pais por me darem a oportunidade de seguir os meus sonhos e por acreditarem sempre em mim como pessoa, filho, estudante e, brevemente, como engenheiro.

RESUMO

As tecnologias da informação (TI) evoluíram de uma forma bastante significativa ao longo dos últimos anos, tendo o seu impacto atingido também a indústria de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). Os programas modeladores de *Building Information Modeling* (BIM) apresentam-se como o próximo passo na cooperação e na colaboração entre os vários intervenientes na obra e entre as diversas especialidades. No entanto, ainda há barreiras a serem ultrapassadas para a sua plena adoção em projeto e em obra devido, tanto à sua complexidade como ao facto da sua utilização ser feita em computadores, logo, em ambientes de trabalho fixos. Existe então, uma necessidade de trazer estes modelos para estações de trabalho móveis através de interfaces simples e acessíveis que podem ser geradas em motores de jogo.

A presente dissertação realizou um estudo empírico com o objetivo de encontrar um fluxo de trabalho (*workflow*) entre *software* BIM e motores de jogo, que salvaguardasse a maior quantidade de informação possível. Depois de se ter encontrado um fluxo que apresente bons resultados, procedeu-se ao aprofundamento desse mesmo processo explorando algumas potencialidades do motor de jogo que podem ser aplicadas no interface. De seguida, construiu-se o interface propriamente dito, através de uma página *web*.

Por fim, fez-se uma aplicação prática desta metodologia num edifício real, explorando de que modo a reunião de modelos BIM com motores de jogo pode contribuir positivamente para situações que envolvam ensino e segurança em obra.

PALAVRAS-CHAVE: interface, tecnologia da informação, BIM, motor de jogo, realidade aumentada.

ABSTRACT

Information technologies (IT) evolved in a fairly significant way over the last few years, having its impact also reached the AEC industry (Architecture, Engineering and Construction). The modeling programs of Building Information Modeling (BIM) are presented as the next step in the cooperation and collaboration between the various actors in the construction site and between several specialties. However, there are still barriers to be exceeded to its complete adoption in project and in work because, not only of its complexity, but also due to fact that its usage is in personal computers so, in a fixed workstations. There is a necessity of bringing these models to portable workstations through simple and easy interfaces that can be generated in game engines.

The present dissertation conducted an empirical study with the goal of finding a workflow between BIM software and game engines that would preserve the greatest possible amount of information. After finding a workflow that presented good results, it was proceeded to deepen this process, by exploring some of the potential of the game engine which can be applied to the interface. After this, the interface was built through a webpage.

At last, it was made a practical application of this methodology in a real building, exploring how the reunion of BIM models with game engines can contribute in a positive way to situations that involve teaching and safety in work.

KEYWORDS: interface, information technology, BIM, game engine, augmented reality.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. ÂMBITOS E OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO (TI)	5
2.1.1. ASPETOS GERAIS	5
2.1.2. TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E ENGENHARIA CIVIL	6
2.2. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)	6
2.3. INTERFACE	8
2.3.1. INPUT/OUTPUT (I/O)	8
2.3.2. REALIDADE AUMENTADA (RA)	9
2.4. MATERIAIS E TEXTURAS	13
2.4.1. MATERIAL	13
2.4.2. TEXTURA	13
3. MODELO E INTERFACE	15
3.1. ENQUADRAMENTO GERAL	15
3.2. IMAGEM	16
3.3. ESCALA	16
3.4. MATERIAIS E TEXTURAS	17
3.5. GLOBAL UNIQUE IDENTIFIER (GUID)	17
3.6. INTERAÇÃO COM O MODELO	17
3.7. APLICAÇÕES PRÁTICAS DE BIM ASSOCIADAS A INTERFACES TRIDIMENSIONAIS	18
3.7.1. SEGURANÇA	18
3.7.2. ENSINO	22

4. ESTUDO EMPÍRICO	27
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	27
4.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS	27
4.2.1. BIM	27
4.2.2. TRATAMENTO GRÁFICO	28
4.2.3. MOTORES DE JOGO.....	30
4.2.4. VISUALIZAÇÃO	31
4.3. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA ADOTADA	32
4.3.1. FLUXOS DE TRABALHO	32
4.3.2. APROFUNDAMENTO DE UM DOS PROCESSOS	43
5. CASO DE ESTUDO	51
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	51
5.2. METODOLOGIA	52
5.2.1. EXPORTAÇÃO DO PROJETO EM 2D PARA O REVIT	52
5.2.2. CRIAÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROJETO	53
5.2.3. MODELAÇÃO DE OBJETOS	58
5.2.4. EXPORTAÇÃO PARA O MOTOR DE JOGO.....	63
5.2.5. ADAPTAÇÃO DO PROJETO PARA INTERFACES TRIDIMENSIONAIS	64
5.2.6. APLICAÇÃO DO JOGO PARA ENSINO.....	66
5.2.7. APLICAÇÃO DO JOGO PARA SEGURANÇA	67
6. CONCLUSÕES	69
6.1. CONCLUSÕES FINAIS	69
6.2. PERSPETIVAS FUTURAS	70
BIBLIOGRAFIA	71
ANEXOS	75
ANEXO I.....	77
ANEXO II.....	81
ANEXO III.....	87

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1 - Adoção de tecnologia BIM na América do Norte, adaptado de (Construction, 2012)	2
Figura 2.1 - Exemplos de Tecnologias da Informação, adaptado de (TechVario, 2013).....	5
Figura 2.2 - Metodologia BIM	7
Figura 2.3 - Interação homem-máquina, adaptado de (Technology, P.A.).....	8
Figura 2.4 - Realidade Aumentada adaptado de (Izkara, J.L. [et al.], 2007)	10
Figura 2.5 - Simulação da colocação de um projeto 3D num espaço real pela AR4BC, através de RA. Adaptado de (VTT, 2010).....	12
Figura 2.6 - BIM e Realidade Aumentada	13
Figura 2.7 - Textura do <i>software</i> Revit 2013	14
Figura 3.1 - Caminho desde o modelo BIM até ao Interface	15
Figura 3.2 - Número de acidentes mortais por setor de atividade (adaptado de ACT).....	19
Figura 3.3 - Número de acidentes mortais por causa em 2010 (adaptado de ACT)	19
Figura 3.4 - Aplicação de um modelo BIM em prol da segurança	21
Figura 3.5 - Pormenor da amarração das armaduras transversais de um pilar recorrendo à Autodesk Revit 2013 em vista 3D	23
Figura 3.6 - Pormenor da amarração das armaduras transversais de um pilar recorrendo à Autodesk Revit 2013 em planta	23
Figura 4.1 - Distribuição de downloads de aplicações de <i>software</i> BIM na <i>National BIM Library</i> (Code, C., 2013)	27
Figura 4.2 - Renderização do novo World Trade Center pelo 3ds Max.....	29
Figura 4.3 - <i>Web Players</i> do Unity instalados em milhões, cumulativo, fonte (Unity3D).	31
Figura 4.4 - Garagem testada em Revit e ArchiCAD.....	32
Figura 4.5 - Fluxos de trabalho partindo do Autodesk Revit 2013.....	33
Figura 4.6 - Fluxos de trabalho partindo do ArchiCAD 16.....	34
Figura 4.7 - Parede <i>Basic Wall CW 102-85-100p</i> do Autodek Revit 2013	39
Figura 4.8 - Materiais da parede <i>Basic Wall CW 102-85-100p</i> depois de exportada para o Unity.....	40
Figura 4.9 - Garagem vista através do programa Clockstone FBX Viewer	41
Figura 4.10 - Garagem com os materiais pré-definidos eliminados no Unity	42
Figura 4.11 - Materiais criados automaticamente com a eliminação dos materiais recomendados no 3ds Max.....	42
Figura 4.12 - Medição do comprimento da laje de cobertura em unidades Unity através da <i>Distance Tool</i>	43
Figura 4.13 - Aplicação de um terreno na garagem	43
Figura 4.14 - Visualização do modelo no motor de jogo	45
Figura 4.15 - Comparação entre a parede no Revit (à esquerda) e a parede do Unity (à direita).....	45
Figura 4.16 - Garagem com identificação de uma parede	46
Figura 4.17 - Garagem com informação do facto de se encontrar no interior desta.....	47
Figura 4.18 - Interface do jogo numa página <i>web</i>	48
Figura 5.1 - Edifício G da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto	51
Figura 5.2 - Fluxo de trabalho utilizado no caso de estudo	52
Figura 5.3 - Sobreposição das plantas com dimensão altura associada.....	53
Figura 5.4 - Cadeira Aeron retirada da biblioteca Revit City	54
Figura 5.5 - Textura do Material Acabamento Exterior.....	55
Figura 5.6 - Textura do Material Granito	55
Figura 5.7 - Textura do Material Gravelha.....	56
Figura 5.8 - Textura do Material Paralelos	56

Figura 5.9 - Edifício G modelado em Revit.....	58
Figura 5.10 - Porta a modular.....	59
Figura 5.11 - <i>Template Metric Door</i> para a modelação de portas	59
Figura 5.12 - Planos de referência do projeto da porta	60
Figura 5.13 - Pormenor do puxador e da fechadura da porta.....	61
Figura 5.14 - Parâmetro que controla a distância entre o puxador e a parede.....	62
Figura 5.15 - Porta modulada.....	63
Figura 5.16 - Edifício G inserido no motor de jogo	64
Figura 5.17 - Visualização do edifício G através de um <i>website</i>	65
Figura 5.18 - Armaduras de um pilar com pormenor da amarração e informação do diâmetro da armação	66
Figura 5.19 - Elementos de segurança aplicados na sala G147 do modelo do edifício G.....	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Números de acidentes de trabalho de 2000 a 2010 em Portugal (fonte: GEP).....	20
Tabela 4.1 - <i>Workflows</i>	37
Tabela 5.1 - Principais famílias, tipos, materiais, texturas e cores utilizados no modelo	57

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- ACT – Autoridade para as Condições de Trabalho
- AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção
- ASE – *Adobe Swatch Exchange*
- BIM – *Building Information Modeling*
- DEC – Departamento de Engenharia Civil
- DWG – *Drawing*
- DXF – *Drawing Exchange Format*
- EDP – *Electronic Data Processing*
- ERP – *Enterprise Resource Planning*
- FBX – Filmbox
- FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- FPC – *First Person Controller*
- GEP – Gabinete de Estratégia e Planeamento
- GUID – *Global Unique Identifier*
- HMD – *Head-Mounted Display*
- HTML – *HyperText Markup Language*
- I/O – *Input/Output*
- MB – *Maya Binary*
- MEP – *Mechanical, Electrical and Plumbing*
- OBJ – *Object Files*
- RA – Realidade Aumentada
- RV – Realidade Virtual
- TI – Tecnologia da Informação
- TPC – *Third Person Controller*
- UDK – *Unreal Development Kit*

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

A indústria da construção sempre envolveu uma enorme troca de informação entre todos os intervenientes da obra. Tradicionalmente, tal troca é realizada através de desenhos em papel, texto e por via oral, o que se tem mostrado ser insuficiente para a grandeza e complexidade do processo construtivo. Muita informação é perdida ou esquecida ao longo deste fluxo, o que torna a má comunicação entre o pessoal uma das maiores razões para o aparecimento de defeitos nas construções e para a ocorrência de acidentes em obras, (Haslam, R. [et al.], 2005).

Os modelos *Building Information Models* (BIM) apresentam-se como um processo de geração, armazenamento e comunicação de informação durante todo o ciclo de vida de uma construção permitindo a criação de modelos semânticos tridimensionais que contêm informações relevantes para todas as fases do processo construtivo. No entanto, considera-se que as valências oferecidas por estas ferramentas não são adequadas para a sua utilização em algumas tarefas, em particular as que ocorrem após a conclusão do projeto. As empresas responsáveis pelo desenvolvimento dos mais populares *software* deste tipo oferecem já interfaces em plataformas móveis onde é possível observar e percorrer os modelos desenvolvidos no computador. No entanto, tais aplicações não permitem a realização de pesquisas no modelo “à medida” nem de alterar ou acrescentar as informações nele contidas sendo então, aplicações simplesmente visualizadores, não oferecendo flexibilidade necessária para o desenvolvimento de programas profissionais fora da norma. Neste panorama, existe a necessidade de se recorrer a motores de jogo de modo a personalizar tais aplicações. Estes motores de jogo funcionam como *frameworks* e possibilitam o desenvolvimento de programas com interfaces tridimensionais compatíveis com diversas plataformas *web*, incluindo as móveis. Com o crescente desenvolvimento das tecnologias da informação, estes *frameworks* popularizaram-se existindo assim uma vasta gama de soluções por onde escolher e, algumas delas sem custos monetários para o utilizador.

A importação de modelos BIM para estes *software* é possível, e estes incluem controlos que possibilitam a navegação e interação dos modelos com o utilizador. No entanto existem várias falhas de interoperabilidade entre os programas, havendo perdas de informação durante o seu processamento. O nível de detalhe e o sucesso destas operações dependerá do tratamento do modelo antes de este chegar ao motor de jogo, incluindo a passagem ou não por programas de tratamento gráfico de objetos e imagens. Através do recurso de linguagens de programação é possível expandir as funcionalidades do jogo e aumentar a interação homem-máquina para os níveis desejados.

Pretende-se com a presente tese, descrever o processo de desenvolvimento de interfaces tridimensionais para aplicações móveis a partir de aplicações BIM usando *frameworks* de desenvolvimento com motores de jogo. Vai-se comparar algumas tecnologias atualmente disponíveis de BIM, tratamento

gráfico e motores de jogo para a realização destes fluxos de trabalho. Finalmente, pretende-se apresentar um exemplo da aplicação deste estudo num edifício real introduzindo nele alguma informação relevante sob a forma de texto e imagens.

1.2. ÂMBITOS E OBJETIVOS

Os modelos BIM têm-se popularizado cada vez mais. Segundo um estudo da *McGraw Hill Construction* a adoção desta tecnologia na América do Norte cresceu de 28% para 71% durante os anos de 2007 a 2012, (Construction, M.-H., 2012).

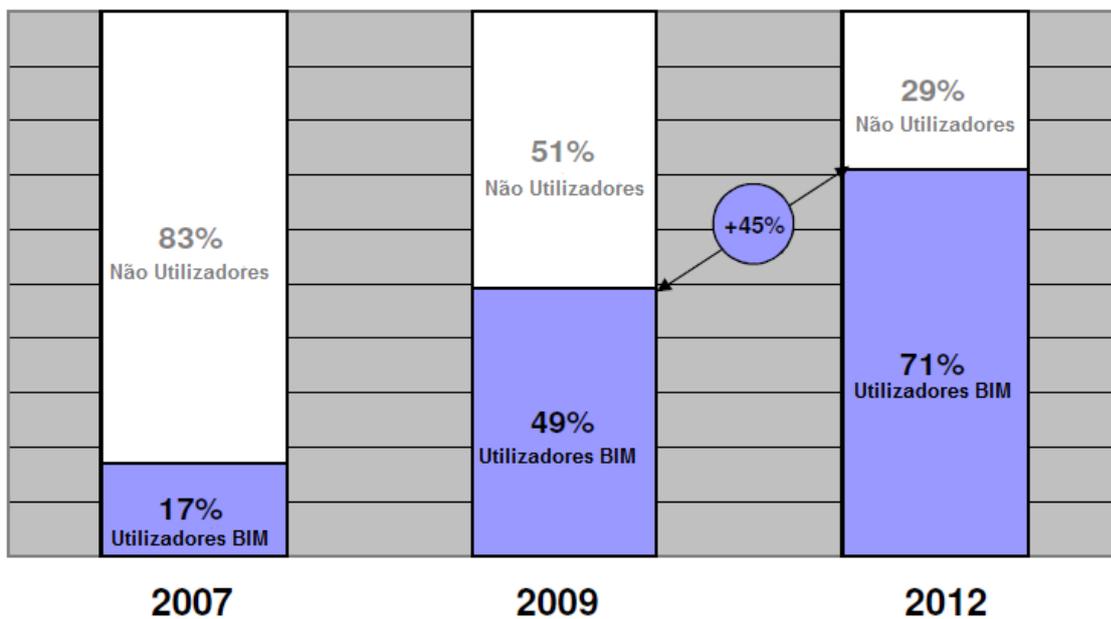


Figura 1.1 - Adoção de tecnologia BIM na América do Norte, adaptado de (Construction, M.-H., 2012)

Apesar deste crescimento, existem ainda faltas de comunicação da informação do modelo entre elementos do projeto, empreiteiros e donos de obra. A fraca comunicação resulta do facto de esta tecnologia ser nova e inovadora e existir um grande número de pessoas ligadas ao projeto que nunca tiveram qualquer tipo de contacto com este tipo de programas, (Gu, N. and London, K., 2010). É necessário tornar tal contacto mais eficaz e natural criando interfaces simples e acessíveis a qualquer interveniente sem ser necessário uma formação muito extensiva.

Neste trabalho vai-se explorar diversos caminhos de transmissão de modelos BIM de modo a conseguir colocá-las numa plataforma leve e de simples utilização (internet e aplicações para dispositivos móveis) tentando preservar o maior número de informações relativas ao projeto inicial.

Os modelos BIM contêm um grande número de propriedades associadas a cada elemento desde materiais, preços ou coeficientes de transmissão térmica. Nesta tese, dar-se-á uma maior ênfase às características visuais dos objetos, fazendo esforços para preservar materiais, texturas e escalas do projeto modulado, de modo a fornecer visualizações destes em jogos “passo a passo” (*walktroughs*) ou em realidade aumentada.

O método de trabalho utilizado foi um método de experimentação empírico realizando exportações entre os vários programas e registando os resultados de cada fluxo de trabalho (*workflow*) de modo a chegar ao melhor caminho a adotar entre os vários percorridos. Numa fase inicial, decidiu-se realizar este trabalho recorrendo a uma construção bastante simples com poucos elementos e poucos materiais para depois se passar a um edifício real.

As potencialidades das aplicações práticas destes estudos são inúmeras pois os motores de jogos são programas complexos com uma capacidade enorme de programação. Nesta dissertação, vai-se explorar dois temas específicos que poderão ser afetados com a utilização de interfaces tridimensionais a partir de modelos BIM, sendo eles a segurança e o ensino. A segurança é uma das grandes preocupações da engenharia atual. Apesar dos números de acidentes em trabalho terem diminuído nos últimos anos, estes possuem ainda valores bastante altos e deve-se continuar a tomar medidas para que tais números decresçam rapidamente. Tais medidas devem passar por todo o processo construtivo desde o projeto de execução até à sua manutenção. A utilização destas tecnologias para o ensino poderá ter resultados interessantes na medida em que possibilita ao aprendiz explorar pormenores das construções através de uma perspetiva mais detalhada e a possibilidade de aceder a tais modelos de uma forma rápida e instantânea se houver a necessidade de se sobrecarregar de programas informáticos muito pesados e, frequentemente, dispendiosos. O objetivo desta fase será de dar exemplos de aplicações práticas destas tecnologias nestes dois temas e mostrar as mais-valias que esta cooperação poderá trazer.

Para a realização do caso de estudo, partiu-se de plantas e cortes em 2D, tendo que haver então, um trabalho de modelação BIM do edifício e, só depois de modulado, é que foi possível aplicá-lo no âmbito do tema da dissertação.

Este trabalho surge como uma primeira aproximação de modelos BIM, motores de jogo e realidade aumentada sendo esta uma área pouco explorada e com muito potencial de desenvolvimento. Espera-se que a sua contribuição possa abrir horizontes para estudos futuros e que seja um primeiro pequeno passo na criação de interfaces fáceis e acessíveis entre edifícios e o ser humano contemplando preocupações atuais da indústria da construção.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação divide-se em 6 capítulos, sendo que o primeiro é a introdução, onde se faz um enquadramento geral dos temas que vão ser abordados ao longo do trabalho e se traçam os objetivos que foram inicialmente propostos.

O segundo capítulo contempla o estado de arte, onde se fará uma contextualização de alguns conceitos chave, explorando já algumas relações que estes possam ter. Vai-se apresentar explicações de tópicos, tanto de um ponto de vista geral, assim como de um ponto de vista mais técnico relacionado com o tema em questão, fazendo sempre referências à evolução destes ao longo dos últimos anos. Realiza-se assim uma descrição das tecnologias da informação utilizadas e dos tipos de interface que se espera obter com o desenvolvimento do trabalho. Também se descreve o significado de materiais e texturas pois estes obtêm, nesta dissertação, significados diferentes dos habituais.

No terceiro capítulo, vai-se definir a metodologia a aplicar para a transferibilidade de informação entre modelos BIM e motores de jogo. Faz-se ainda alusões às propriedades destes modelos que se desejam preservar ao longo dos fluxos de trabalho, assim como de que forma se pode realizar as interações entre estes e o utilizador. No fim do capítulo explora-se aplicações práticas da junção destas duas tecnologias segundo o ponto de vista da segurança e do ensino.

Depois de se ter definido a metodologia, realizou-se um estudo empírico documentado no capítulo 4. A introdução a este capítulo é formada pela apresentação das ferramentas a utilizar nos processos de exportação/importação, fazendo uma pequena perspectiva histórica que contribui também para perceber a evolução dos conceitos chave da tese. No estudo empírico faz-se uma análise dos diversos processos, apontando que características do modelo “sobrevivem” às exportações. De seguida, escolheu-se um fluxo de trabalho com bom potencial de desenvolvimento e aprofundou-se esse processo.

O quinto capítulo enquadra o caso de estudo em que se vai modular de raiz um edifício real num programa BIM e de seguida, vai-se utilizar o *workflow* aprofundado no capítulo 4 para levar o modelo para uma plataforma *web*. Durante esta fase do trabalho, vai-se também adaptar o projeto para ter relevância em termos de ensino e segurança.

Por fim, no capítulo 6 realiza-se uma conclusão geral em que se fará uma revisão e síntese do trabalho desenvolvido. Também se irá explorar quais os desenvolvimentos futuros que o projeto aqui apresentado pode esperar.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO (TI)

2.1.1. ASPETOS GERAIS

Segundo a *International Foundation For Information Technology*, a tecnologia da informação (TI) pode ser definida como a tecnologia usada para o estudo, compreensão, planeamento, *design*, construção, ensaio, suporte e operações de *software* que existem com o objetivo de processar dados, informações e conhecimentos. Também se pode referir a este conceito como a indústria ou organização que utiliza gestão e processamento de estudos, ciências e soluções relacionados com dados, informações e conhecimentos, (Technology, I.F.f.I., 2008).

Por outras palavras, a TI pode ser definido como o uso de programas e máquinas eletrónicas para processamento, armazenamento, transferência e apresentação de informação.

Antigamente, o uso desta ciência era muito direcionado para o processamento de dados eletrónicos (Electronic Data Processing, EDP), mas, nos últimos anos, esta tecnologia evoluiu e não se confina a um grande número de computadores ligados na mesma sala entre si, mas sim a aspetos do dia a dia como por exemplo o telefone ou a internet, (Björk, B.-C., 1999).

A tecnologia da informação tem tido um grande impacte no processo de entrega e troca de serviços ao criar novas cadeias comunicativas entre estas e outras oportunidades de negócio atuando como um intermediário criativo, (Fitzsimmons, J.A. and Fitzsimmons, M.J., 2008).



Figura 2.1 - Exemplos de Tecnologias da Informação, adaptado de (TechVario, 2013)

Nos dias de hoje, e cada vez mais, a informação e a tecnologia estão de mãos dadas. A evolução tecnológica é a grande responsável pela facilidade e rapidez da distribuição de informação em todos os setores da atividade do ser humano. Este conceito está presente em todas as indústrias e em todas as atividades, incluindo a indústria da engenharia civil. As potencialidades e o abrangimento desta tecnologia são enormes, o que faz com que o seu grau de adoção em diferentes empresas varie, sendo as formas mais simples e comuns, os aparelhos de comunicações móveis ou a internet.

2.1.2. TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E ENGENHARIA CIVIL

Nos dias de hoje, a transmissão de informações na indústria de engenharia civil continua a ser feita maioritariamente por via oral através da fala. Este processo é, obviamente, rápido, eficaz e universal mas tem muitas limitações porque, muitas vezes palavras não são suficientes para descrever situações de obra mais delicadas ou técnicas, não há qualquer registo do que foi dito e, é tão natural para o ser humano falar que a fala não chama tanto à atenção dos ouvintes como chamaria um método diferente. Com o crescimento da complexidade e do tamanho de projetos de engenharia, a necessidade de existir uma maior colaboração entre os diversos intervenientes de uma construção é cada mais crítica mas mais difícil de atingir e, tal colaboração, será uma consequência da implementação e utilização de melhores sistemas de transferência de informação, (Xie, L., 2010).

O estudo das aplicações da tecnologia da informação na construção é um campo de investigação recente ainda a lutar por um lugar de maior destaque nos estudos académicos, assim sendo, existe uma falta de metodologia sólida e eficaz para a propagar, (Björk, B.-C., 1999). Para além disto, existe uma certa aversão à implementação de sistemas informáticos na engenharia civil, mais particularmente, nos trabalhos de campo e no estaleiro. A falta de formação e de interesse de diversos intervenientes no processo construtivo apresenta-se como o maior obstáculo ao recurso das TI.

Quando se associa as tecnologias da informação à indústria AEC (arquitetura, engenharia e construção), virá logo à mente os sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) e a tecnologia BIM (Building Information Modeling). Atualmente estão implementados sistemas fiáveis de ERP, com sucesso, na generalidade das empresas de construção de alguma dimensão e, pode-se dizer que os sistemas BIM começam agora a conhecer as suas primeiras aplicações práticas, (Martins, J.P.d.S.P., 2009). O objetivo de reunir a tecnologia da construção a esta indústria será sempre de aumentar a qualidade e a produtividade de todo um projeto, desde a sua conceção até à sua manutenção. A tecnologia, se for corretamente aplicada, faz uma integração mais rápida e eficaz da informação que vem de diferentes partes do mesmo projeto, criando maior organização e conformidade de todos os elementos de uma determinada atividade. Pesquisas mostram que cerca de 85% dos problemas comuns associados à construção estão relacionados com mau processamento de informação. Estes números explicam a crescente consciencialização do valor que as tecnologias da informação podem ter para juntar as diferentes partes do processo construtivo e para partilhar informações com o resto desta indústria, (Smit, D.K. [et al.], 2005).

2.2. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Segundo o *National Building Information Model Standard Project Committee*, o BIM pode ser definido como uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação, ou seja, é um recurso de informação de conhecimentos partilhados sobre um elemento tendo em vista a criação de uma base de dados confiável para auxiliar as decisões a serem tomadas durante todo o tempo de vida desse elemento, desde a sua construção até à sua demolição (Committee, T.N.B.I.M.S.P., 2012).

A *Associated General Contractors of America* (AGC), que tem o primeiro e único programa certificado de aprendizagem BIM de aplicação prática para empresas comerciais de construção, define *Building Information Modeling* como o desenvolvimento e uso de um *software* de modelação para simular a construção e funcionamento de uma instalação e *Building Information Model* como uma representação digital baseada em dados, orientada a objetos, inteligente e paramétrica dessa instalação, em que o seu conteúdo pode ser extraído e analisado de forma a criar informações que podem ser usadas para tomar decisões e melhorar o processo de entrega do produto. (Guide, A.G.C., 2006).

Nos últimos anos tem-se verificado uma grande adesão ao BIM por parte da indústria de AEC, abondando cada vez mais os tradicionais programas de desenho 2D. De notar que, esta mudança não é só uma mudança de tecnologia mas também uma mudança processual. Ao permitir que um edifício seja representado por objetos inteligentes que carregam consigo informação detalhada sobre eles mesmos e que compreendem as relações entre si, o BIM não só altera a forma como as vistas e os desenhos dos edifícios são criados, mas também altera, dramaticamente, todos os processos chave envolvidos na construção deste, como acertar exigências do dono de obra na fase inicial do projeto ou encontrar alternativas para soluções relacionadas com energia, estruturas, configuração de espaços, custos e construtibilidade. Também a colaboração de diferentes equipas no mesmo projeto, a criação de imagens contendo o aspeto futuro da construção ou instruções como a manutenção do edifício deve ser efetuado irão ser influenciados por esta tecnologia. (Eastman, C.M., 2008).

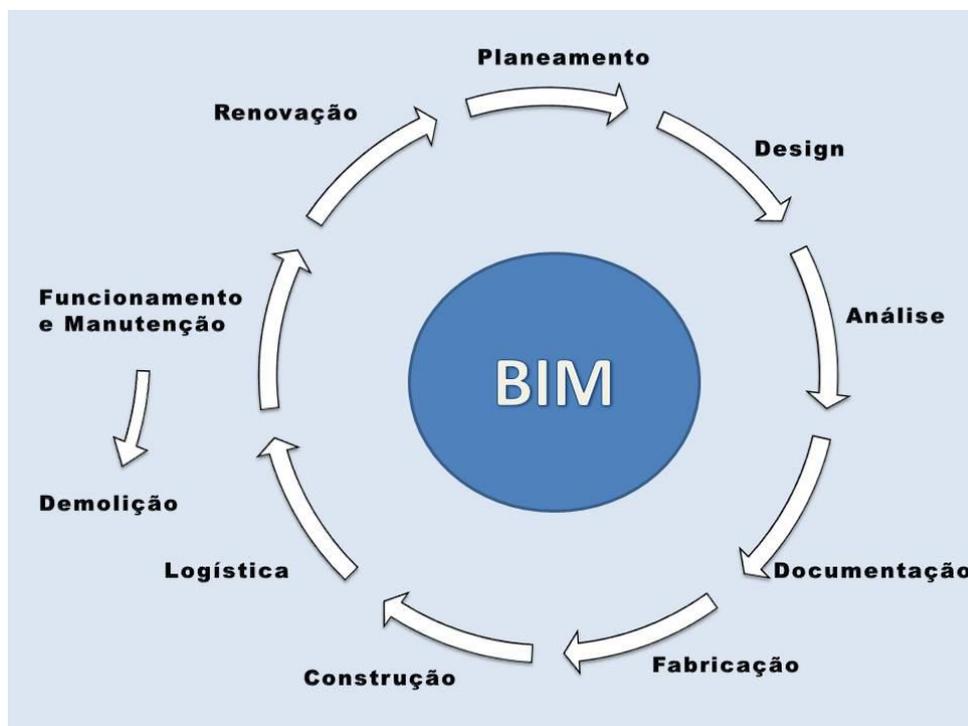


Figura 2.2 - Metodologia BIM

O facto dos modelos BIM serem em 3D e, logo, muito mais parecidos com a realidade do mundo exterior em relação a desenhos 2D, estes facilitam a comunicação entre os intervenientes num projeto: donos de obra, arquitetos, projetistas, engenheiros, empreiteiros, consultores e, potencialmente, os operadores, (Eastman, C.M., 2008).

Por outras palavras, um projeto BIM é um modelo de representação tridimensional, associado a mais uma ou duas dimensões, como o tempo ou os custos, em que cada elemento pertencente a esse projeto

está associado a um conjunto de propriedades (material, textura, custo, etc.) e, através da colaboração entre estes parâmetros e as exigências construtivas do projeto, pode-se obter diversas informações desde planos de orçamento até mapas de planeamento. Permitir que estudos e simulações em nD ($n > 3$) sejam geradas e visualizadas num ambiente de trabalho colaborativo entre os vários intervenientes da obra vai ajudar a que haja um processo de construção cooperativo aumentando a produtividade e qualidade de todo um projeto.

2.3. INTERFACE

Os atributos dos objetos, definidos pela empresa ou pelos utilizadores destes, necessitam de se conectarem entre si e de se integrarem em estudos e análises com diversos fins como por exemplo, estimativas económicas, para no fim chegarem ao seu destinatário sob a forma de informação. Tal conexão será feita através de interfaces, (Eastman, C.M., 2008). Podemos então definir como interface o método que liga o mundo exterior a um sistema operativo. Por exemplo, num ensaio à tração de um provete de betão, a interface entre as forças nele aplicadas e o resultado que o computador nos dá (diagramas de esforços ou gráfico de tensões/extensões) são os sensores nele instalados.

Uma interface homem-máquina utiliza processamento distribuído e incorpora um grande nível de linguagem gráfica. Este tipo de linguagem facilita a implementação de visualização gráfica em tempo real através do uso de variáveis dinâmicas e estáticas, (Allen, B.S. [et al.], 1986).

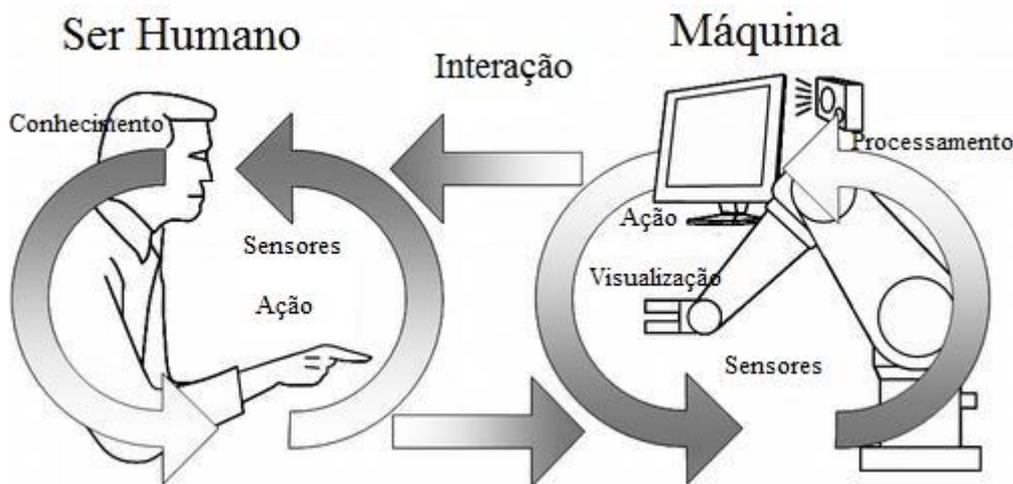


Figura 2.3 - Interação homem-máquina, adaptado de (Technology, P.A.)

Os processos BIM são compostos por diversos componentes e atividades que funcionam de uma forma independente. No entanto, para um projeto estar completo e bem executado, as diferentes atividades precisam de se comunicar entre si pois, num trabalho deste tipo não se pode prescindir de uma área em particular e, por vezes, existem mesmo aspetos comuns entre as tarefas (como o orçamento disponível da obra). Esta comunicação será feita através de interfaces que devem juntar informações processadas de maneiras diferentes para um resultado final conciliador.

2.3.1. INPUT/OUTPUT (I/O)

Uma operação *Input/Output* é uma operação de movimento para ou de um espaço de um dispositivo I/O (Blaauw, G.A. and Frederick P. Brooks, J., 1997). Entende-se por uma operação de movimento uma troca de informação entre uma fonte e um destino. Por outras palavras, podemos considerar como

o *Input* a informação que um sistema informático recebe e *Output* como a informação que este emite a partir daquela que foi recebida. Um exemplo desta aplicação é a simples anotação de fissuras num modelo 3D num projeto de reabilitação. Os nossos olhos serão o *Input* e o monitor ou a versão impressa do modelo, já com a nova informação, será o *Output*.

Os dispositivos I/O são muito variados mas, podemos organizá-los através das três seguintes características:

- **Comportamento:** *Input* (de leitura), *Output* (de escrita, não podem ser lidos), ou armazenamento (podem ser relidos e, normalmente, reescritos)
- **Parceria:** ou um ser humano ou uma máquina estão no final do processo I/O um do outro, ou então estão dados de alimentação no *Input* e dados de leitura no *Output*.
- **Avaliação de dados:** É útil conhecer o máximo desempenho a que uma série de dados podem ser transferidos entre o aparelho I/O e a memória principal ou processador.

(Patterson, D.A. and Hennessy, J.L., 2012)

Nas tecnologias a estudar na presente dissertação, a interação entre o ser humano e a máquina será feita através de ações deste tipo. Haverá uma ação do utilizador que, através de uma interface, chegará ao computador, fazendo-o produzir algum tipo de informação.

2.3.2. REALIDADE AUMENTADA (RA)

A realidade aumentada é um conceito que, apesar de parecer novo e inovador, tem já vários anos de pesquisa e estudo. A sua primeira definição surgiu por Ivan Sutherland no final da década de 60 e continua a adequar-se perfeitamente aos dias de hoje. A ideia fundamental por de trás das exposições em três dimensões é apresentar ao utilizador uma nova perspectiva de imagem que muda enquanto este se move e, tal imagem deve mudar exatamente da mesma forma que a imagem de um objeto real mudaria para movimentos similares em relação à cabeça do utilizador, (Sutherland, I.E., 1968). Por outras palavras, a realidade aumentada é uma tecnologia que tem as seguintes três características:

- Combina o mundo real e o virtual;
- É interativo em tempo real;
- É registado em três dimensões.

(Azuma, R.T., 1997)

O conceito de Realidade Aumentada refere-se, de uma forma geral, há sobreposição de objetos virtuais criados em computador com objetos e cenas reais, produzindo um mundo misto. Neste mundo, os utilizadores conseguem adquirir diversas informações do mundo real, através da renderização da conjugação dos dois mundos em dispositivos como monitores de mão ou óculos com realidade aumentada. A Realidade Aumentada surgiu da Realidade Virtual (RV) e proporciona interação em tempo real (ou no tempo certo) entre os dois diferentes mundos através de imagens e texto, sendo assim uma tecnologia muito promissora para indústrias como turismo, construção e entretenimento. (Jiao, Y. [et al.]

A RA cria um ambiente onde a informação digital é inserida numa visão predominantemente do mundo real, sendo que a sua origem surgiu a partir de ferramentas de rastreamentos baseados em marcações (ARToolKit ou ARTag) que são usados para determinar monitoramento, registro (onde colocar os conteúdos digitais) e conteúdos media (que conteúdos digitais mostrar). Durante a última década tem existido avanços significativos desta tecnologia e tem-se assistido à sua migração de programas baseados em marcadores para independentes de marcações (D' Fusion da T-Immersion) e, mais recen-

temente, para programas completamente móveis (Layar, Junaio e Wikitube) que pode trazer a realidade aumentada para *smartphones* ou outras ferramentas de campo, (Wang, X. [et al.], 2013).

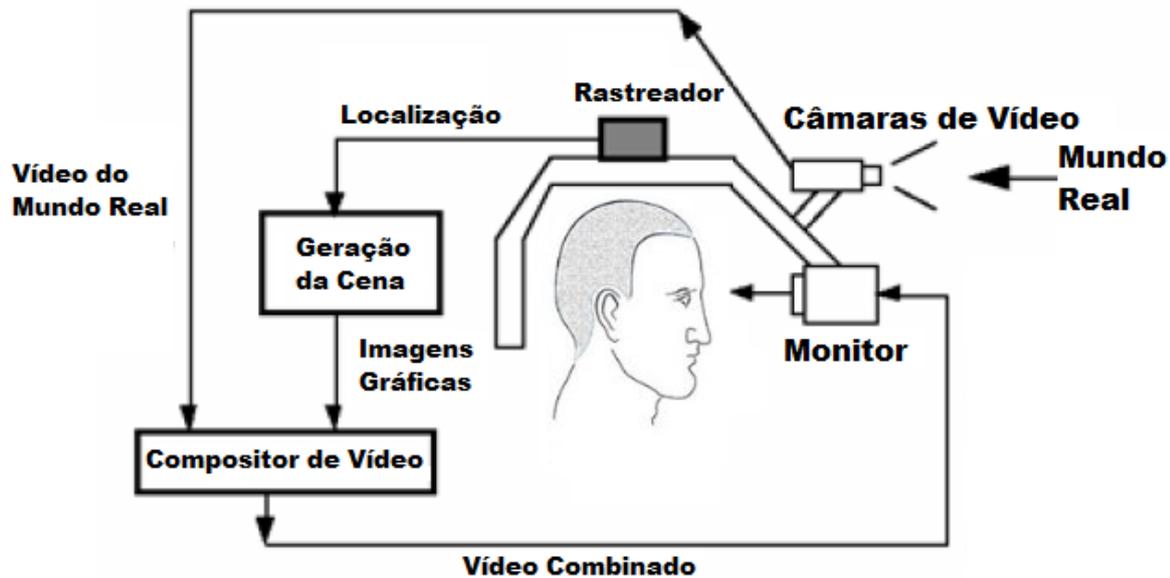


Figura 2.4 - Realidade Aumentada adaptado de (Izkara, J.L. [et al.], 2007)

A RA está a criar um impacto enorme na indústria das comunicações móveis ao fornecer uma mudança radical na interação homem-computador que tem sido aplicada mais na área de entretenimento, turismo, publicidade e comunicação social.

Durante a última década, a realidade aumentada recebeu uma grande quantidade de atenção de investigadores da indústria de arquitetura, engenharia e construção. Esta pode ser aplicada para tratar de uma grande variedade de problemas que possam aparecer ao longo do ciclo de vida de um projeto de construção como nas fases de planeamento, no *design*, na segurança ou no treino de operadores de guindaste. No entanto, antes da RA ser aplicada na construção, é preciso obter uma compreensão profunda e significativa do problema que temos em mãos e de como as capacidades das novas tecnologias podem mudar comportamentos, processos e tarefas. (Wang, X. [et al.], 2013)

Como o especialista em realidade aumentada e “futurista” Robert Rice referiu, de 2010 a 2020 será a década da ubiquidade pois a realidade aumentada vai-se tornar em visão aumentada, pondo de lado os tradicionais monitores e outros tipos de interfaces para dar lugar a novos interfaces mais cómodos e práticos como um simples óculos. Tal acontecimento gerará um impacto tão grande ou mesmo maior que o gerado pela internet há uns anos atrás e afetará não só as indústrias e o entretenimento, mas também o dia a dia, a profissão ou a cultura de toda uma sociedade. (Rice, R., 2009)

Inspirado neste conceito, a visão futurística de um estaleiro de obra poderá ser um local onde os objetos físicos lá presentes e o próprio local passarão a ser o display e interface para interagir com a informação. Qualquer instalação ou componente, como equipamentos, ferramentas ou pessoal, serão marcados, rotulados, interpretados, monitorizados, rastreados e conectados e irão interagir entre si em tempo real, criando um autêntico ciberespaço. (Wang, X. [et al.], 2013).

2.3.2.1. Realidade Aumentada e BIM

Com a crescente divulgação e comercialização de *smartphones* e *tablets*, o acesso à realidade aumentada hoje em dia é mais fácil e generalizado. Assim sendo, a associação entre a RA e BIM poderá ter um grande potencial. O BIM passa a ser um processo bastante mais intuitivo e interativo em que, o uso de interfaces avançadas alarga a utilização deste processo a agentes que não tenham conhecimentos informáticos avançados, ou seja, qualquer interveniente na construção pode inserir no sistema novos dados referentes à sua especialidade, diretamente através do seu próprio aparelho em tempo real, sem grandes dificuldades e sem necessitar de compreender todos os processos que compõem uma rede de BIM.

Para além disso, a possibilidade destes dispositivos fornecerem propriedades intrínsecas de alguns componentes da obra é algo a explorar. Seria interessante que um certo *software* mostrasse, por exemplo, o posicionamento exato de uma futura parede, as forças aplicadas num pilar ou o aspeto futuro de uma divisão. Assim, com a colaboração dos intervenientes da obra, muitos erros de construção poderiam ser evitados. Para além disso, poder fornecer ao dono de obra imagens no local do futuro aspeto de um certo compartimento e possibilidade de este alterar e visualizar tais alterações na hora seria importante e iria satisfazer todas as partes envolvidas na construção clarificando dúvidas e faltas de comunicação.

Um dos maiores obstáculos de levar o BIM para a RA será o problema resultante da grande quantidade de dados que os programas utilizam. Com esta enorme quantidade de dados, informações e conhecimentos digitais, que têm diferentes formatos, será difícil proporcionar a Realidade Aumentada de uma forma adequada e simples para os utilizadores. (Wang, X. [et al.], 2013).

A combinação entre estas duas tecnologias pode facilitar comparações entre a situação atual da construção e o aspeto planeado do edifício num dado momento. Esta informação aumentada e móvel, quando disponível no estaleiro de obra, terá várias aplicações para o planeamento, verificação, instrução e segurança da construção assim como para comunicações e marketing após a realização do trabalho. As técnicas de rastreamento desenvolvidas pela RA possibilitam a simulação de cenários atuais e futuros pois, ao saber onde o utilizador aponta a sua câmara, torna possível recolher informações para os programas BIM baseadas em visualizações reais do próprio. (Hakkarainen, M. [et al.], 2009)

Atualmente, existe já um *software* bastante capaz desenvolvido na Finlândia pelo centro de investigação VTT, o AR4BC (*Augmented Reality For Building and Construction*) em que o usuário tem acesso em campo a informações relativas ao projeto CAD em 3D e ao projeto BIM em 4D. Assim, este pode visualizar imagens realistas em realidade aumentada dos planos arquitetónicos e ter acesso a dados relativos ao edifício durante e depois da construção, (Hakkarainen, M. [et al.], 2009). Um bom resultado deste projeto é visível na seguinte imagem em que o edifício no centro do círculo vermelho ainda não é físico, apenas um projeto 3D aplicado a um dispositivo móvel com capacidade de realidade aumentada.



Figura 2.5 - Simulação da colocação de um projeto 3D num espaço real pela AR4BC, através de RA. Adaptado de (VTT, 2010)

2.3.2.2. Interação com dados de serviço

A interação do BIM com os seus utilizadores pode sofrer algumas modificações com a criação de interfaces tridimensionais para aplicações móveis. Usualmente, para a implementação do BIM, tem de haver uma estação de trabalho fixa, onde os programas informáticos estão concentrados e onde deverá ser feita a introdução de dados. Isto leva a um trabalho mais complexo, menos intuitivo e menos acessível. Assim, se o *software* se encontrar à distância de um *smartphone* ou *tablet* podemos passar a falar de estações de trabalho móveis em vez de fixas (Messner, J. [et al.], 2012). Tal atitude pode tornar cada processo individual mais direto, mais produtivo e mais independente. A título de exemplo, poderá não interessar ao técnico responsável pelo orçamento da obra o facto de o arquiteto ter decidido alterar a posição de uma janela 10 cm para o lado direito. Um trabalho mais independente e direto será uma motivação para os trabalhadores pois cada interveniente foca-se apenas na sua especialidade, não perdendo tempo com outras situações fora da sua ação de trabalho. Isto não vai em contra com um dos princípios base do BIM: esta ferramenta é, e continua a ser um instrumento de trabalho colaborativo entre várias especialidades. Toda a informação que for gerada a partir das estações de trabalho móveis irá para o mesmo projeto, logo, no final irá existir uma colaboração entre todas estações de trabalho para criar um projeto de engenharia completo.



Figura 2.6 - BIM e Realidade Aumentada

Para resumir esta parte da dissertação, em que se explorou a cooperação de modelos BIM com a Realidade Aumentada, pode-se dizer que as vantagens desta associação são:

- Salvar informações de cada componente do projeto (preserva propriedade);
- Maior acessibilidade da ferramenta BIM a todos os intervenientes da obra incluindo o dono de obra;
- O trabalho de cada secção e especialidade torna-se mais independente;
- Utilização de ferramentas mais simples e intuitivas;
- Menores custos para a implementação do BIM;
- Maior interação entre trabalhador e obra.

2.4. MATERIAIS E TEXTURAS

2.4.1. MATERIAL

Recorrendo ao dicionário da língua portuguesa, um material é algo formado de matéria, sendo matéria aquilo de que os corpos são feitos, que ocupa espaço e que pode impressionar os sentidos (Editora, P., 2009). Assim, dentro do tema da engenharia civil tem-se diversos materiais como betão, metal, alumínio ou madeira. Neste trabalho, este conceito terá de ser visto sob um ponto de vista mais informático do que físico. Um material será assim uma propriedade associada a uma forma geométrica que representa um elemento construtivo ou seja, sempre que se cria uma parede, uma laje ou outra parte do projeto este terá um material associado que terá diferentes características como condutividade térmica, porosidade ou densidade. Nos programas BIM existe uma variedade grande de materiais pré-definidos mas estes são normalmente editáveis, sendo possível alterar os valores dos coeficientes e espessuras para aqueles desejados. Numa fase posterior deste trabalho, vai-se estudar a forma como os materiais são exportados de programas BIM para motores de jogo.

2.4.2. TEXTURA

Numa definição mais comum de textura, esta é definida como aparência, tecido, forma, arranjo e distribuição das partes de um todo, (Editora, P., 2009). Assim, a textura é uma propriedade visual e tátil

de um elemento que os permite distinguir uns dos outros. A cor e a sensação de rugosidade ao seu toque fazem com que cada textura seja uma característica muito particular de cada objeto. Na presente dissertação, este conceito irá ser um pouco alterado. Em BIM, textura não passa de uma imagem ou de uma cor associada a um elemento do projeto. Cada elemento é constituído por um ou mais materiais e cada material possui uma textura. As texturas já estão pré-associadas automaticamente a cada material mas é possível alterá-las como quase todas as propriedades de cada elemento num programa BIM.

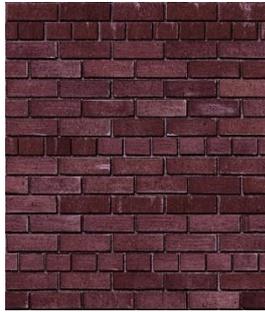


Figura 2.7 - Textura do *software* Revit 2013

Um dos objetivos deste trabalho é o de fornecer a um futuro destinatário um modelo digital interativo com a forma mais próxima possível que um determinado edifício irá ter. Como as texturas advêm de gostos pessoais e estéticos, importa então que esta propriedade seja preservada durante os diferentes fluxos de trabalho que mais à frente se irão realizar.

3

MODELO E INTERFACE

3.1. ENQUADRAMENTO GERAL

O objetivo da presente dissertação será explorar o desenvolvimento de interfaces interativas entre o ser humano e a máquina aplicadas ao processo construtivo. Tal interação terá como ponto de partida modelos BIM e como destino motores de jogo. Importa analisar os resultados e dificuldades da importação e exportação destes modelos, de modo a conseguir-se encontrar um método ou caminho que salvguarde a maior quantidade de informação. Assim sendo, estes processos dependem do:

- Programa BIM utilizado;
- Recurso ou não de programas intermédios (programas de tratamento gráfico);
- Programa de motor 3D onde se efetua a importação;
- Tipos de ficheiros utilizados na transferência dos modelos.

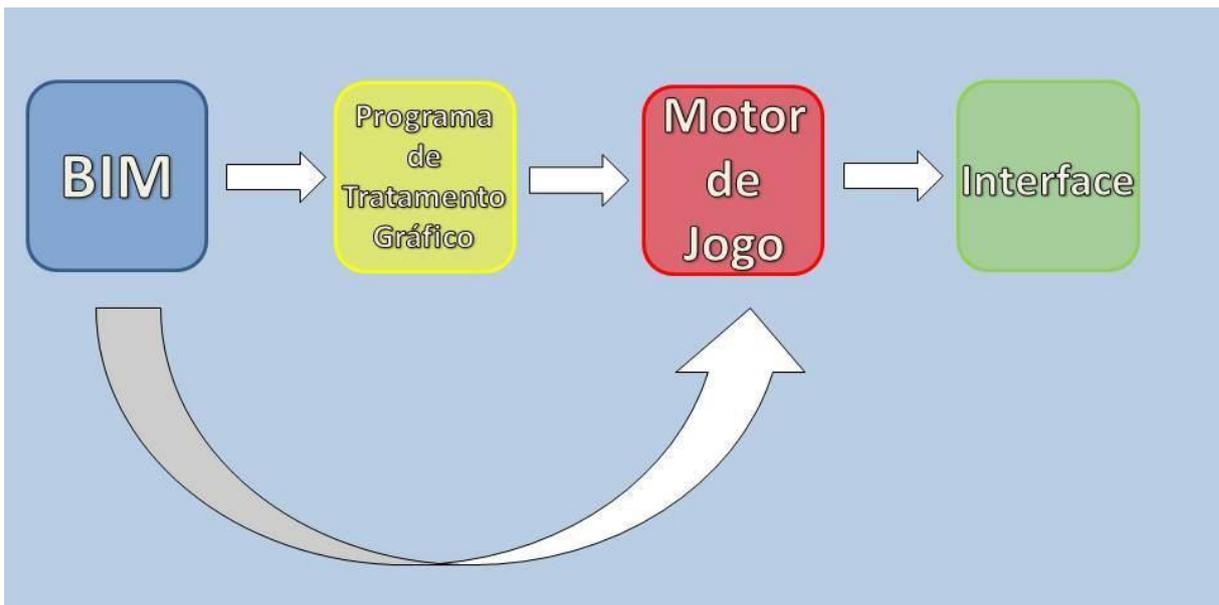


Figura 3.1 - Caminho desde o modelo BIM até ao Interface

Os resultados obtidos podem variar quanto:

- À possibilidade ou não de existir exportação (obtenção de imagem do modelo no motor de jogo);

- À escala;
- Aos materiais e texturas;
- À preservação e respeito do GUID (*Global Unique Identifier*).

Foi efetuado um estudo empírico destas variáveis documentado no capítulo 4 da presente dissertação.

Verifica-se a existência de alguns problemas associados à interoperabilidade entre as ferramentas utilizadas tendo em conta as variáveis identificadas.

3.2. IMAGEM

Para uma exportação deste tipo ter sucesso, é imprescindível que haja uma imagem associada ao modelo. Definiu-se então que um processo será bem-sucedido se for possível obter uma imagem em 3D do projeto BIM na plataforma de motores de jogo. Tal imagem servirá de base para verificar se as outras propriedades, como a escala ou as texturas, serão corretamente exportadas. Como se vai verificar no estudo empírico, as transferências podem ser realizadas através de vários tipos de ficheiros e, regra geral, a imagem será exportada com sucesso, havendo coerência em termos de posicionamento dos vários elementos que a compõem (vigas, pilares, lajes, paredes e fundações).

3.3. ESCALA

A preservação da escala será muito importante para o projeto pois, se não existir informação sobre esta, qualquer medição que se esteja a fazer no interface não terá grande significado. Vai-se verificar que a conservação ou conversão da escala dependerá do tipo de ficheiro em que as exportações são realizadas e da decisão de efetuar ou não transformações nesta, quando se passa pelos programas intermédios.

Durante todo o processo podemos falar de escalas em vários contextos:

- **Escala de trabalho na aplicação BIM (unidades):** escala em que se trabalha no programa BIM. Ela será definida nas propriedades do projeto, escolhendo quais as unidades com que se deseja trabalhar (metros, centímetros, polegadas, etc.);
- **Escala de visualização na aplicação BIM:** escala em que se visualiza o modelo na plataforma BIM na vista 3D;
- **Escala de exportação:** escala com que se exporta o ficheiro através da plataforma BIM para o programa de tratamento gráfico ou diretamente para o motor de jogo. Dependerá do tipo de ficheiro em que a exportação se irá efetuar;
- **Escala de importação do programa intermédio:** escala em que se importa o ficheiro da plataforma BIM para o programa de tratamento gráfico. Aquando a receção do modelo neste programa, pode-se fazer a conversão da escala e unidades do projeto para aquelas desejadas;
- **Escala de exportação do programa intermédio:** escala em que se exporta o ficheiro através do programa de tratamento gráfico para o motor de jogo. Na altura da exportação é possível fazer a conversão da escala ou mantê-la a mesma com a qual se realizou a importação;
- **Escala de medição no motor de jogo:** escala em que os elementos e as distâncias são medidos no motor de jogo e durante o próprio jogo;

Na realização do estudo empírico chegou-se a algumas conclusões sobre este parâmetro. Cada tipo de ficheiro (FBX, DWG, etc.) retirado do programa BIM tem uma escala própria, no entanto é possível convertê-la para a escala pretendida através dos programas de tratamento gráfico. O objetivo foi que, sempre que possível, a escala de trabalho na aplicação BIM coincidissem com a escala de medição do motor de jogo (neste trabalho em particular, escala em metros). Para tal recorreu-se a várias experimentações durante o estudo empírico de forma a tornar tal equivalência possível. A escala é quase sempre compreendida mas nem sempre respeitada, havendo caminhos em que esta é convertida de metros para milímetros, centímetros ou polegadas.

3.4. MATERIAIS E TEXTURAS

Um dos objetivos do desenvolvimento de plataformas tridimensionais para aplicações BIM será o de prever o aspeto futuro de uma construção e torná-lo disponível para consulta ou para modificação pelas diferentes partes interessadas no projeto, como por exemplo, o dono de obra. Então, será importante que o aspeto do edifício se mantenha igual ao longo de todo o processo que faz o modelo BIM chegar à interface e, conseqüentemente, ao destinatário. Tal aspeto visual do modelo será definido através de texturas que são imagens associadas a materiais que tentam representar a aparência real dos elementos construtivos. É de total interesse que a exportação destas propriedades seja feita automaticamente e que as texturas se assemelhem às escolhidas no programa BIM. No entanto, nem sempre isto acontece, sendo que o êxito deste processo depende do caminho escolhido para a transferência de informações e de alguns ajustes manuais. Consta-se então, que os resultados variam em função da utilização de programas intermédios e dos tipos de ficheiros utilizados. Em alguns casos a exportação de texturas não é feita automaticamente mas, é criada uma pasta no computador contendo as imagens destas e, assim, pode-se adicioná-las manualmente ao respetivo material o que seria um trabalho escusado se houvesse melhor interoperabilidade entre programas.

Os materiais são propriedades de um determinado elemento construtivo que contém informações técnicas e físicas deste. No âmbito deste trabalho, será importante que o nome do material seja preservado e que esteja associado ao respetivo objeto de forma a se conseguir adicionar a correspondente textura sempre que necessário, fornecendo-lhe assim um aspeto estético correto. A exportação dos materiais irá ser feita através de ficheiros do tipo MAT.

3.5. GLOBAL UNIQUE IDENTIFIER (GUID)

O *Global Unique Identifier* (GUID) é um número único, normalmente de 128-bits, que serve para identificar um componente ou elemento de um *software*, (Microsoft). O modelo de dados IFC (*Industry Foundation Classes*), entre outros, utiliza este tipo de identificações sendo então importante que tal referência seja exportada juntamente com o modelo para o modelador de jogos. Na presente tese não se explorará as funcionalidades que este número possa ter mas, basicamente, ele serviria para “chamar” um único e determinado elemento para alguma aplicação decorrente no motor de jogo, como por exemplo, adicionar um objeto a uma base de dados. Por outras palavras, a preservação do GUID é condição necessária para o desenvolvimento de aplicações nD ($n > 3$).

3.6. INTERAÇÃO COM O MODELO

Depois de o modelo e respetivas características estarem exportadas para o motor de jogo com sucesso há que criar um meio de interação entre este e o utilizador. Para tal, é preciso um “representante” do

jogador dentro do jogo ou seja, uma personagem que responda aos comandos efetuados exteriormente no modelo. A personagem ou agente que estará inserido no jogo poderá ser um *First Person Controller* (FPC) ou um *Third Person Controller* (TPC). A única diferença entre os dois será que o FPC mostra o modelo sob a perspectiva dos olhos do ser humano e o TPC mostra o modelo percorrido por uma figura na terceira pessoa, sendo possível visualizar simultaneamente o corpo e o modelo. Neste trabalho faz mais sentido optar pelo FPC uma vez que se quer tornar a interação entre o jogador e o jogo o mais próximo possível da realidade. Os controles que fazem mover o jogador dependerão do tipo de interface que se estará a utilizar. Se a interface for uma simples página de navegação da internet, os controles serão o teclado e o próprio computador mas, se o jogo estiver associado a realidade aumentada, o interface terá de ter sistemas de posicionamento para determinar a localização e a orientação do utilizador em cada momento. (Izkara, J.L. [et al.], 2007)

3.7. APLICAÇÕES PRÁTICAS DE BIM ASSOCIADAS A INTERFACES TRIDIMENSIONAIS

Depois de se terem indicado os parâmetros que importam preservar durante a execução de uma interface, valerá a pena explorar algumas aplicações práticas que a reunião de BIM com motores de jogo para a obtenção de interfaces acessíveis poderá trazer. Assim decidiu-se relatar os benefícios que estas tecnologias podem ter para a segurança e para o ensino.

3.7.1. SEGURANÇA

As maiores causas de conflitos na dinâmica de uma empreitada estão relacionadas com deficiências e incongruências de projeto, prazos de execução e o respetivo planeamento da empreitada, subjetividade de mapas de trabalho, divergências em critérios de medição e segurança, (Oliveira, M.A.P.d., 2008).

Tradicionalmente, os programas BIM são vistos como elementos de apoio a aspetos mais relacionados com gestão e coordenação de equipas mas, estes podem também ter um papel importante na segurança na medida que dão a possibilidade de juntar aos seus modelos mensagens e objetos de proteção e de sinalização de segurança. Estes modelos são possíveis de serem transportados para o local de trabalho a partir de simples dispositivos móveis. No entanto, a utilização destes aparelhos em obras, locais propícios à ocorrência de acidentes, deve ser feita de forma muito cuidadosa pois novos riscos irão surgir com a sua implementação.

3.7.1.1. Estado Atual da Segurança

Segundo a Autoridade para as Condições de Trabalho (ACT), o setor de atividade em que existiu mais acidentes de trabalho mortais objetos de ação inspetiva tanto em 2011 como em 2012 foi a construção com uma percentagem de ocorrência de 29,81% e 28,86% correspondentemente. O ano de 2013 parece não fugir à regra, havendo registo até dia 14 de Maio de onze mortes (23,4%) na indústria da construção, tantos quanto na indústria transformadora. A mesma fonte refere, naturalmente, que os locais onde mais se deram acidentes de trabalho foram em estaleiros, construções, pedreira e minas a céu aberto.

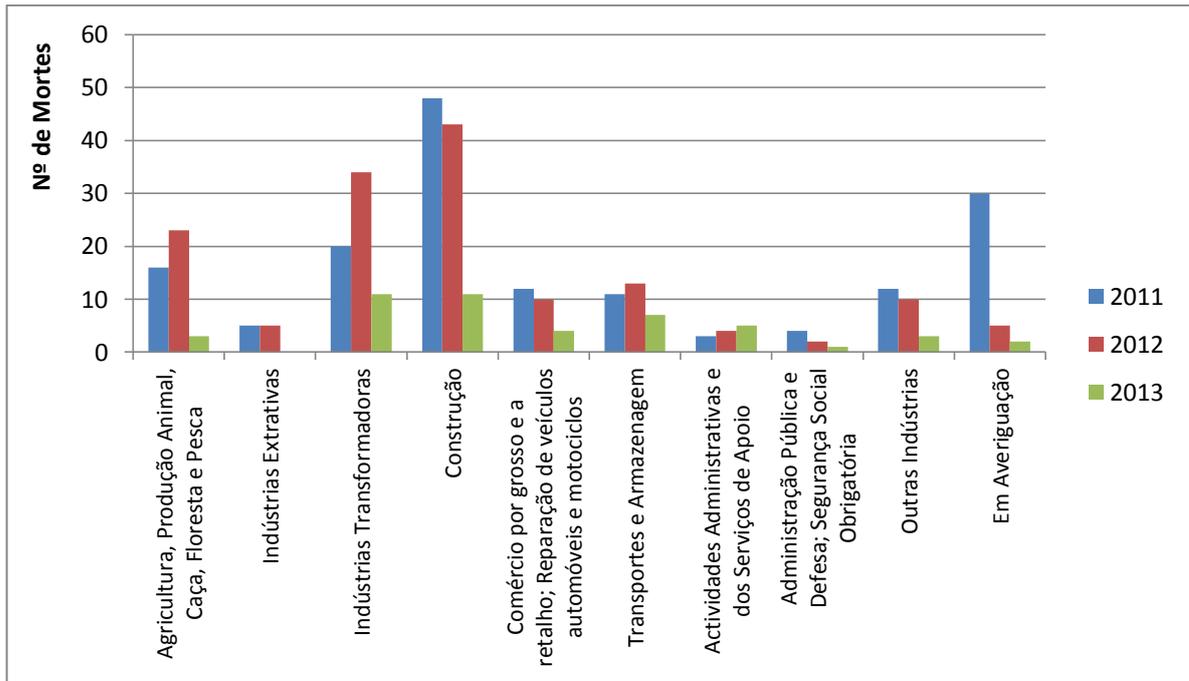


Figura 3.2 - Número de acidentes mortais por setor de atividade (adaptado de ACT)

Também é possível observar que as maiores causas destas sinistralidades estão relacionadas com quedas em alturas, choque com objetos e desastres com máquinas. (ACT, 2013)

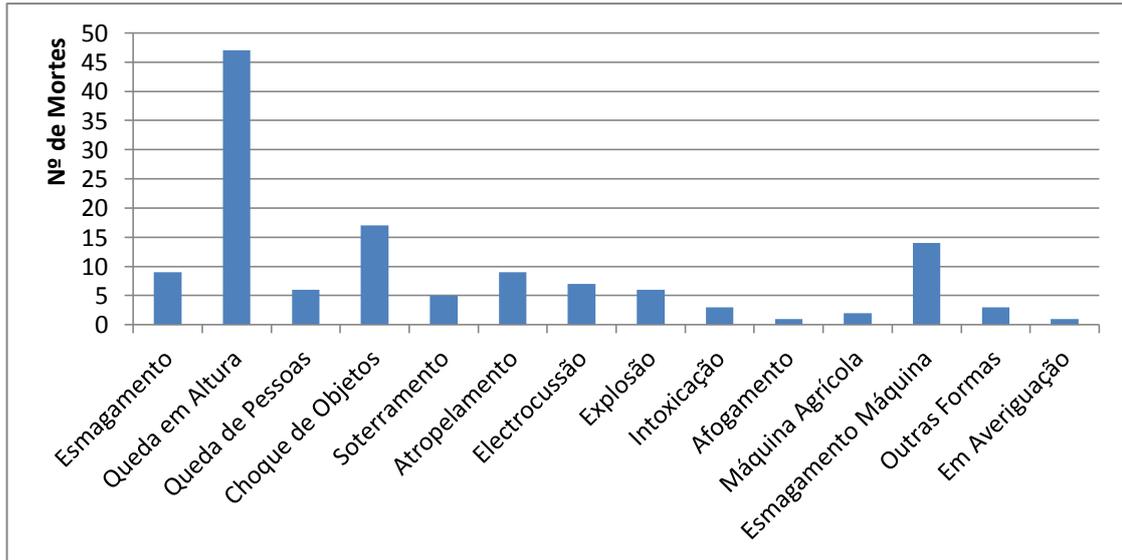


Figura 3.3 - Número de acidentes mortais por causa em 2010 (adaptado de ACT)

O Gabinete de Estratégia e Planeamento (GEP) fornece outros dados interessantes relativos à primeira década deste milénio. É de notar que os números dos acidentes têm diminuído de uma forma significativa ao longo destes dez anos, no entanto continuam muito elevados, (GEP, 2010).

Tabela 3.1 - Números de acidentes de trabalho de 2000 a 2010 em Portugal (fonte: GEP)

Ano	Total de Acidentes de Trabalho	Acidentes de Trabalho Mortais
2000	234192	368
2001	244936	365
2002	248097	357
2003	237222	312
2004	234109	306
2005	228884	300
2006	237392	253
2007	237409	276
2008	240018	231
2009	217393	217
2010	215632	208
Total	2575284	3193

O planeamento da segurança na construção é uma tarefa complicada devido tanto à natureza dinâmica que esta atividade apresenta como ao elevado número de intervenientes que cada obra abrange. O carácter único e não repetitivo que cada edifício tem, torna mais difícil a sistematização de projetos de segurança, sendo necessário a realização de um novo plano para cada construção, (Melzner, J. [et al.], 2013).

O estado atual do planeamento da segurança em obra pode ser resumido nos três seguintes pontos:

- O plano é baseado em observações manuais e é, conseqüentemente trabalhoso, demorado e muito ineficiente;
- Os regulamentos de segurança não são suficientes para tornar a obra segura, sendo preciso conhecimentos e atitudes relacionadas com experiência profissional e bom senso;
- A responsabilidade da segurança recai, geralmente, toda sobre o empreiteiro, não apelando à sensibilidade dos projetistas para estas questões.

(Zhang, S. [et al.], 2013).

Usualmente a troca de informação entre intervenientes do projeto é feita através de desenhos de duas dimensões impressos em papel ou por comunicação verbal, o que leva a que a equipa de projeto não esteja em boa posição para tomar decisões corretas e rápidas devido à falta ou insuficiência de informação. (Cheng, T. and Teizer, J., 2012)

O aspeto mais importante do planeamento da segurança de uma obra será identificar potenciais riscos que possam aparecer no decorrer desta. Depois de identificados, irá ser efetuado um projeto de segurança que, geralmente é realizado de forma independente do projeto de execução e por diferentes intervenientes. Tal separação e falta de comunicação criam obstáculos para os engenheiros responsáveis pela segurança, pois dificulta a compreensão de como e quando atuar em algumas situações (Zhang, S. [et al.], 2013).

3.7.1.2. Segurança e BIM

Regras de segurança, guias de boas práticas e listas de verificações já existem e estão disponíveis em diversas plataformas como nos *websites* da Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho ou da Autoridade para as Condições de Trabalho. Tais recomendações podem ser associadas a plataformas BIM para formular listas de verificação automáticas em função do perigo associado. Há medida que a construção evolui, vão aparecendo novas situações que podem envolver perigo e que devem ser identificadas antes da fase respetiva da obra. Deve-se então localizar tais perigos no projeto BIM e, interactivamente ou automaticamente, apresentar soluções e visualizações dos sistemas de proteção a colocar para diminuir os riscos de acidentes. Assim, existe uma antecipação ao perigo e uma melhor comunicação na empreitada pois, se a informação chegar sob a forma de modelos representativos da realidade, que incluem as posições corretas onde colocar cada elemento, tais modelos serão mais re-ceptíveis e intrínsecos. (Zhang, S. [et al.], 2013)

Resumidamente, as vantagens do BIM para a segurança podem ser agrupadas em quatro pontos:

- **Educação e formação** – aprendizagem em ambientes de trabalho interativos tendo projetos BIM como modelo central;
- **Monitorização** – usar tecnologias de realidade aumentada ou outros interfaces para obter informações do trabalho em tempo real e poder compará-los com o que foi planeado;
- **Comunicação e colaboração** – os modelos BIM facilitam comunicações relacionadas com segurança;
- **Análise e antecipação de situações inseguras** – são possível realizar simulações para prever possíveis riscos que possam acontecer e até estudar perigos que possam acontecer resultantes das dinâmicas de diferentes operações.

(Sulankivi, K. [et al.], 2010).

Na seguinte figura é possível observar um projeto BIM de um edifício em que uma parede será reconstruída. O modelo pode e deve fornecer elementos de segurança e colocá-los em três dimensões no projeto. Este tipo de informação será bastante útil e bastante fácil de interpretar pela parte de qualquer interveniente na construção sendo um apoio para não existir esquecimento de colocação de medidas de segurança como as barreiras para-corpos ou os andaimes. Também é possível associar ao modelo um texto com avisos ou listas de tarefas a realizar num trabalho.



Figura 3.4 - Aplicação de um modelo BIM em prol da segurança

3.7.1.3. Realidade Aumentada e Segurança

A realidade aumentada funcionará como um meio de aceder à informação bastante cómodo e intuitivo. Numa aplicação personalizada e que funcione com sucesso, bastará direcionar o aparelho para o local pretendido e este nos dará informações tanto sobre os objetos presentes como de futuros projetos a existir no local. Atualmente os aparelhos mais utilizados são transportados por mão (telemóveis, *tablets*) no entanto há já aplicações desta tecnologia em HMD (*head-mounted display*) sendo os mais populares os Google Glass que deverão estar disponíveis para venda brevemente.

Uma forma de identificar potenciais riscos e perigos passa pela utilização de modelos “passo a passo”. Estes modelos baseiam-se na possibilidade de percorrer um projeto em 3D da mesma forma que um ser humano o percorreria. Este pode estar ou não associado à realidade virtual. Se não estiver, o projeto funciona como um jogo em que o utilizador percorre o edifício com recurso a uma interface entre si e um jogador virtual que responde a comandos. Se estiver associado à RV, a interface acompanha os movimentos do utilizador e interage através de sensores de movimento e câmaras com o mundo real criando uma visualização sobreposta dos dois mundos diferentes. O facto de esta tecnologia fornecer ao utilizador sensações únicas de espaço e escala, como se eles estivessem a observar o mundo real, faz com que a sua implementação esteja, cada vez mais, a crescer, (Cheng, T. and Teizer, J., 2012).

Estes *software* associados a BIM poderão fornecer as vantagens já enumeradas anteriormente mas, se não foram utilizados com os devidos cuidados podem contribuir para o agravamento dos acidentes relacionados com quedas em altura. A visão e a atenção do utilizador estão focadas no dispositivo de realidade aumentada que, supostamente mostrará com exatidão a combinação do mundo real com o virtual. No entanto, como em qualquer outra tecnologia, poderão surgir vários erros. Aqui os erros mais comuns serão erros de rastreamento, de processamento de imagens ou, o mais perigoso, o de sincronização defeituosa entre o mundo real e o mundo virtual em termos de posicionamento de imagens e de inclusão de algumas instâncias. Bastará, por exemplo, existir um buraco no pavimento cuja informação não esteja inserida no modelo virtual, para que este passe despercebido ao utilizador do aparelho de RA provocando uma queda. Em trabalhos de elevada altura o perigo será ainda maior. Se a construção de um piso não estiver devidamente equipada com barreiras para-corpos e a interface fornecer limites errados da laje onde o utilizador esteja apoiado, como a atenção deste está totalmente focalizada na imagem do aparelho, o risco de queda será grande e mortal.

3.7.2. ENSINO

Atualmente, o BIM tem duas vertentes bastante interessantes relacionadas com o ensino: ensinar através de BIM e saber BIM de forma a valorizar o currículo.

3.7.2.1. Ensinar Utilizando BIM

Como já foi referido anteriormente, o BIM é um modelo 3D de uma construção associado a outros fatores como materiais, custos ou tempo. Uma realidade que hoje em dia se tem que lidar é a substituição dos desenhos técnicos tradicionais realizados numa sala de aula por programas informáticos de desenho. Há que questionar se o número significativo de horas gastas pelos alunos a produzir tais elementos à mão não poderá ser melhor aproveitada recorrendo a novas tecnologias. Os programas CAD poderiam ser vistos como solução para tal problema mas, através da utilização de BIM, é possível associar as capacidades geométricas desses programas à modelação de elementos construtivos e arquitetónicos, (de Menezes, A.M. [et al.], 2010).

Também, como os programas BIM estão preparados para criar e modular projetos de estruturas, arquitetura e MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*), há alguns pormenores criados automaticamente pelos programas informáticos que podem ser bastante úteis para servirem de exemplificação para os alunos. Como exemplo disso temos os casos das armaduras das estruturas de betão armado. O programa Autodesk Revit 2013, cria automaticamente as amarrações das armaduras de forma correta, após a introdução de alguns parâmetros básicos como o número e diâmetro de varões desejados ou como será a forma da terminação dos estribos (amarrar a um ou dois varões, por exemplo). A seguinte imagem foi criada nesse mesmo programa, com recurso a uma extensão da própria Autodesk que facilita a construção destes elementos.

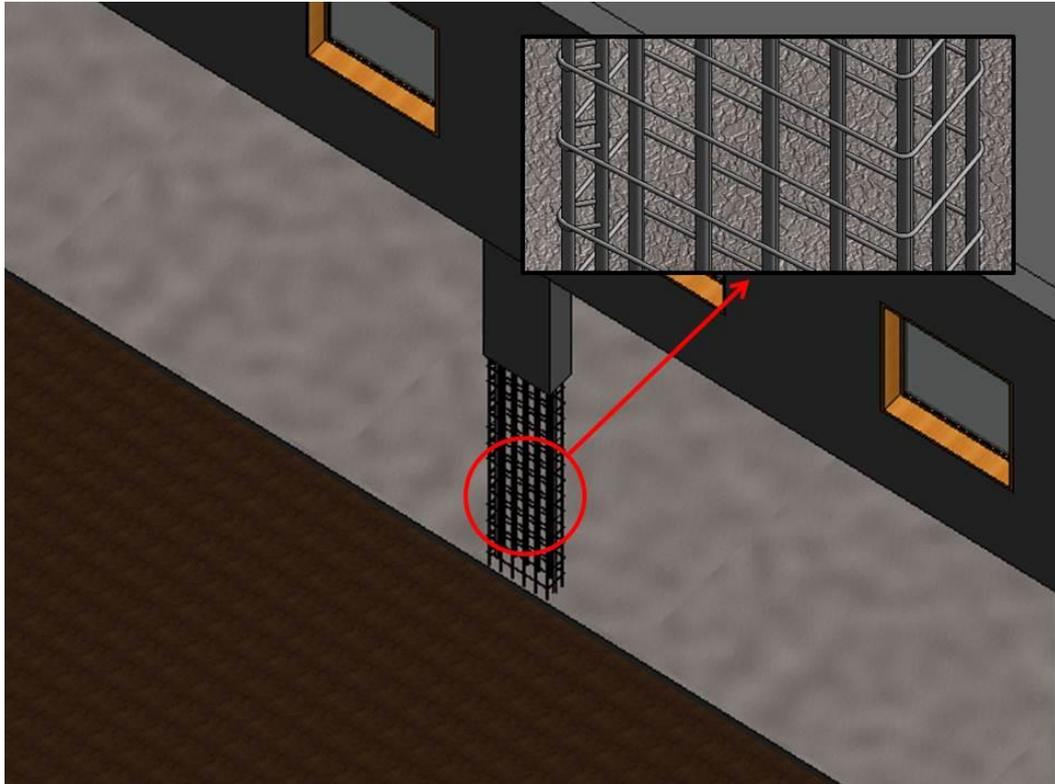


Figura 3.5 - Pormenor da amarração das armaduras transversais de um pilar recorrendo à Autodesk Revit 2013 em vista 3D

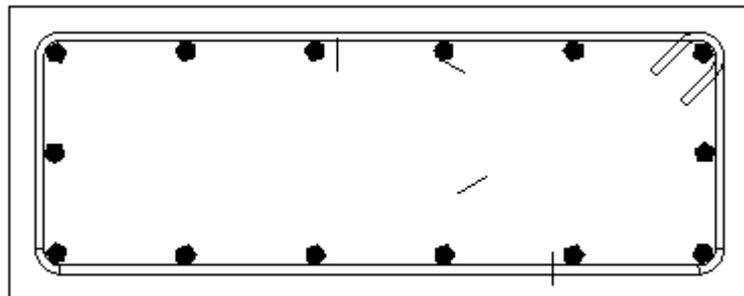


Figura 3.6 - Pormenor da amarração das armaduras transversais de um pilar recorrendo à Autodesk Revit 2013 em planta

Para além da vertente de representação gráfica, o apoio do BIM ao ensino da gestão de projetos também terá que ser lembrado. As pessoas ligadas ao ensino da engenharia civil concordam que conhecimentos sobre regras práticas de ferramentas e métodos de gestão na construção são de difícil aprendizagem. Isto acontece porque esta indústria não é repetitiva e, em cada obra, surge um problema único e diferente, sendo que a aplicação destas ferramentas terá de ser feita de uma forma muito adaptável que requer experiência e necessidade de muita informação do projeto. O ensinamento desta matéria é feita geralmente com recurso a uma grande variedade de “histórias”, ou seja, exemplos reais que estas ou outras pessoas tiveram que enfrentar e resolver mas, tal é insuficiente não só porque estes processos são muito complexos fazendo com que nestas palestras faltem sempre pequenas detalhes importantes e únicos do contexto de cada situação, mas também porque os alunos não têm ainda a sensibilidade de compreender estes processos e relacionamentos pois falta-lhes um fator muito importante que é a experiência profissional. A realização de um projeto, como já se referiu, é de enorme complexidade e não haveria nem tempo nem recursos para presentear os alunos com um projeto que coincidissem com uma situação real. Os estudantes precisam de compreender os desenhos e especificações do projeto, mapas de quantidades e relações entre custos e produtividade, de modo a serem capazes de realizar uma estimativa de custos da obra e um calendário. As plataformas correntes de BIM fornecem a possibilidade aos utilizadores de fazerem tais simulações e estão preparadas para realizar operações de medições e de geração de preços, diminuindo o tempo que o estudante precisa para fazer este tipo de trabalho de cálculo. Um estudo realizado por Forest Peterson mostra que a integração da modelação BIM no ensino possibilitou aos educadores a realização de projetos académicos sobre gestão na construção mais próximos da realidade, o que levou aos estudantes perceberem melhor como diferentes especialidades integram-se entre si, obtendo então uma melhor preparação para o que estes vão enfrentar nos anos seguintes. (Peterson, F. [et al.], 2011).

3.7.2.2. Interfaces Tridimensionais Com Aplicações BIM

Os programas BIM são programas pesados, complexos e pagos. Normalmente, os estudantes e entidades relacionadas com o ensino têm acesso a versões gratuitas destes mas, estes ainda não estão suficientemente divulgados para que seja normal um estudante ter o programa instalado no computador e estar familiarizado com a sua utilização. Associar o BIM com interfaces tridimensionais facilita muito o acesso a modelos através de plataformas bastante leves e comuns como páginas internet ou aplicações para dispositivos móveis. Portanto, assim como a disponibilização de um modelo BIM em plataformas tridimensionais interativas de fácil acesso facilita a comunicação entre um projetista e um dono de obra, tal processo pode também melhorar a comunicação entre professores e estudantes para efeitos de transmissão de conhecimentos que envolvam situações mais detalhadas dos projetos. Assim, o professor pode disponibilizar modelos e informações tanto nas aulas através do seu próprio computador ou fornecer meios (interfaces) aos alunos para que estes os visualizem em qualquer localização fora do tempo de aulas.

3.7.2.3. BIM e Curriculum Vitae

A situação de crise empresarial em que o mundo hoje se encontra é bastante séria, principalmente na indústria AEC, o que faz com que qualquer atributo que se possa acrescentar no *curriculum vitae* seja sempre uma vantagem e algo que possa fazer a diferença num processo criterioso de seleção.

Os empregadores que utilizam BIM procuram estudantes capazes e confortáveis com processos deste âmbito, mas, normalmente, não requerem peritos nestes *software*. A inclusão de conhecimento BIM

num currículo de engenharia civil será essencial na preparação de futuros empregados nesta indústria, (Young, N. [et al.], 2009).

O valor de ter ou não ter formação BIM no *curriculum* é um processo longo mas a emergir. Quantas mais empresas utilizarem BIM mais valor terá tal situação no *curriculum* e, logo, mais interesse terão os estudantes em possuir tais atributos. As entidades formadoras em BIM, especialmente as faculdades, veem o ensinamento desta matéria como uma forma de transmitir conhecimentos técnicos e práticos de uma maneira eficaz e inovadora, sendo benéfico para a credibilidade e prestígio dessa instituição. Antigamente, eram mais valorizados nos currículos o domínio de programas de carácter arquitectónico mas, hoje, as componentes estruturais e de MEP começam a ser cada vez mais valorizadas, (Clevenger, C.M. [et al.], 2010).

4

ESTUDO EMPÍRICO

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Depois de se ter traçado, os objetivos da criação de um interface interativo, assim como os parâmetros que importa preservar, vai-se proceder agora à realização de um estudo empírico para relatar e descobrir as melhores formas de fazer o projeto BIM chegar ao destinatário através de um motor de jogo. Vai-se então proceder à criação de um projeto bastante simples utilizando diferentes programas de modelação BIM, exportá-lo para dois diferentes motores de jogo, utilizando ou não programas de tratamento gráfico. Depois de se realizar a quantidade suficiente destas operações para se poder chegar a uma conclusão, vai-se escolher o caminho que apresentou melhores resultados e desenvolvê-lo para plataformas acessíveis a terceiros.

Assim, pretende-se que o método utilizado neste pequeno projeto possa servir de base para qualquer tipo de modelo BIM, partindo das mesmas ferramentas.

4.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS

4.2.1. BIM

Atualmente existem já diversas ferramentas BIM no mercado. Analisando uns dados referentes ao número e programa destino de objetos BIM (como portas, paredes, etc.) descarregados da plataforma *web National BIM Library* podemos ter uma ideia de quais são os programas mais utilizados.

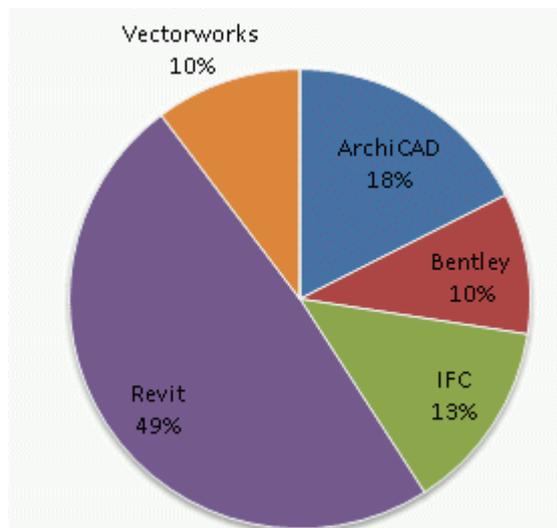


Figura 4.1 - Distribuição de downloads de aplicações de software BIM na *National BIM Library* (Code, C., 2013)

Como se pode observar, a Autodesk Revit tem o maior número de descarregamento e, provavelmente, é hoje a ferramenta BIM mais utilizada. De seguida, surge o Graphisoft ArchiCAD sendo este um programa também bastante utilizado. Como a quantidade de programas existentes é imensa, é irreal testar exportações para um motor de jogo 3D recorrendo a todos os produtos BIM e, então, vai-se efetuar um método empírico recorrendo apenas a estas duas plataformas.

4.2.1.1. Autodesk Revit 2013

O Autodesk Revit é um programa criado especificamente para BIM que apoia projetos profissionais de edifícios em termos de design, construção e manutenção tendo sempre em vista melhorar qualidade e eficiência energética das construções, (Autodesk.com). Este programa revolucionou o mundo BIM ao proporcionar uma plataforma de programação em ambiente visual para a criação de famílias paramétricas e também por poder adicionar a dimensão tempo ao modelo do edifício. Isto permite aos empreiteiros criar calendários de trabalho baseados em sistemas BIM e simular o desenvolvimento da construção, (Archdaily.com). O programa é uma plataforma 3D (ou 4D se se realizar uma calendarização) em que se pode usar diversas vistas 2D para desenhar os elementos em planta ou corte. Uma das grandes vantagens do Revit e que o faz um típico programa BIM é a existência de *worksharing*. Este conceito consiste no facto de todos os usuários terem a possibilidade de aceder simultaneamente a um modelo partilhado numa estação central que é atualizado à medida que cada interveniente realiza a sua parte, por exemplo, se o arquiteto decide mudar a posição de uma varanda, basta alterá-la no Revit e sincronizá-lo com a estação central, alertando o resto da equipa para tal facto desde que estejam também sincronizados, (Autodesk, 2005).

Tradicionalmente o Revit apareceu dividido em 3 programas diferentes:

- Revit Architecture (Arquitetónico);
- Revit Structure (Estrutural);
- Revit Mechanical, Electrical and Plumbing MEP (Mecânico, Elétrico e Hidráulico).

No entanto, a sua versão mais recente (Revit 2013) inclui todas plataformas numa só, podendo o utilizador trabalhar em qualquer um dos projetos usando o mesmo programa.

4.2.1.2. Graphisoft ArchiCAD 16

O ArchiCAD foi o primeiro programa BIM disponível no mercado. Ele é essencialmente um programa BIM em 2D e 3D que é bastante útil e eficaz em criar desenhos e modelos de edifícios. Também é fácil fazer previsões daquilo em que o nosso projeto se vai tornar e alterar pequenos pormenores para procurar soluções alternativas, (Bergin, M.S., 2012). Nos últimos anos a Graphisoft desenvolveu também a plataforma BIMx que é uma ferramenta interativa que permite percorrer o edifício visualizando não só o aspeto real que este poderá vir a ter, mas também as propriedades e materiais dos elementos construtivos. Tal aplicação sofreu um novo desenvolvimento na sua última versão, ficando disponível para aplicações em dispositivos móveis através de Android e iOS.

4.2.2. TRATAMENTO GRÁFICO

Os programas de tratamento gráfico têm a função de modular, renderizar e criar animações em imagens geradas por computador para diversos fins como simuladores, arte, jogos de vídeo ou filmes.

Modelos 3D são descrições matemáticas da geometria de um objeto. Tal descrição inclui pontos, linhas, curvas e superfícies e são usualmente representadas no ecrã por um modelo *wireframe*. Os modelos podem variar entre simples primitivas até malhas muito complexas. (Park, J.E., 2005).

Aqui importa que as texturas saídas do *software* BIM cheguem com a melhor qualidade possível ao motor de jogo. No entanto, como se vai ver mais adiante, alguns programas BIM não são capazes de exportar as texturas e materiais sem recorrerem a este tipo de programas e assim sendo, o objetivo inicial destes será ajudar a exportação de informações referentes às propriedades dos elementos do modelo BIM para os programas destino e não de realizar tratamento de imagem.

Apesar de haver um número bastante grande de *software* deste tipo, foram escolhidos dois programas para se utilizarem nos fluxos de trabalho dos processos: o Autodesk 3ds Max 2013 e o Autodesk Maya 2013. A escolha deveu-se em grande parte pela sua popularidade, pelos seus potenciais (que não serão muito aprofundados neste trabalho) e por trabalharem com ficheiros em formato *Filmbox* (FBX) que será usado bastantes vezes daqui para a frente. O Blender, Google Sketchup ou o Lightwave 3D são exemplos de outros programas que podem ser utilizados também.

4.2.2.1. Autodesk 3ds Max 2013

O programa informático Autodesk 3ds Max proporciona uma completa modelagem, animação e renderização 3D para soluções de jogos, filmes e artistas gráficos, (Autodesk, 2013).

A origem deste programa remonta para 1988 quando o The Yost Group aceitou uma parceria com a Autodesk depois de ter feito sucesso na Atari. Assim, a primeira edição do programa saiu em 1990 com o nome 3D Studio. Várias atualizações e novas versões foram surgindo mudando o nome do programa para 3D Studio Max e posteriormente 3ds Max. Este programa orgulha-se de ter participado em grandes produções gráficas como o novo projeto do World Trade Center ou os jogos de computador Tomb Raider ou World of Warcraft, (Autodesk).



Figura 4.2 - Renderização do novo World Trade Center pelo 3ds Max

4.2.2.2. Autodesk Maya 2013

O *software* de animação 3D Autodesk Maya oferece um completo conjunto de recursos criativos para modelação, animação, simulação, renderização e composição em 3D numa plataforma de produção altamente extensiva. Este programa tem agora uma tecnologia de próxima geração de visualização, *workflows* de modelagem mais rápidos e novas ferramentas para manipulação de dados complexos, (Autodesk).

A sua origem remonta para 1998 quando a primeira edição foi lançada numa cooperação entre a Alias e a Wavefront. Mais tarde, em 2005, foi adquirida pela Autodesk, não só devido ao sucesso deste programa mas também pela vontade da Autodesk em controlar toda esta área, (CGSociety, 2005). O Maya foi usado nos mais diversos filmes e vídeo jogos destacando-se os “*best-sellers*” Lord Of The Rings ou Star Wars.

4.2.3. MOTORES DE JOGO

Hoje em dia, nos jogos construídos modelarmente, os motores de jogo referem-se à coleção de módulos de códigos de simulação que não especificam diretamente o comportamento (lógica) ou ambiente (nível de dados) do jogo. O motor inclui módulos de manipulação *input* e *output* (renderização 3D, desenho 2D, som) e elementos genéricos físicos e dinâmicos para mundos virtuais, (Lewis, M. and Jacobson, J., 2002).

Um motor de jogo contém os algoritmos essenciais para controlar um jogo. Este lê controlos de *input* pelo usuário, leva jogadores através de níveis de jogo, constrói comportamentos, gera sons em tempos específicos e cria visualizações em tempo real, (Herwig, A. and Paar, P., 2002).

De uma forma mais geral, um motor de jogo é uma plataforma digital com o objetivo de criar um espaço virtual onde o usuário pode interagir respeitando um conjunto de regras previamente definidas.

Existe um grande número de motores de jogo. Entre eles escolheu-se utilizar o Unity 4 e o Unreal Development Kit pois encontram-se entre os 5 programas deste género mais populares (ModDB) e por terem já sido alvos de uns estudos pela Pennsylvania State University, (Wiki, P.S.B.).

4.2.3.1. Unity 4

O Unity é uma das plataformas de desenvolvimento de jogos mais usadas e estimadas e é utilizado por uma grande variedade de entidades, desde pessoas singulares para divertimento próprio até grandes estúdios para a criação de jogos e experiências interativas para a *web*, ambientes de trabalho, telemóveis e consolas, (Goldstone, W., 2011).

Uma das características únicas do Unity é de conseguir fornecer conteúdos de jogos 3D através de navegadores *web* pelo Unity Player *plug-in*, que funciona com Internet Explorer, Firefox, Safari, Chrome, Opera, Mozilla, Netscape e Camino. O Flash Web Player da Adobe também coopera com este motor de jogo, havendo trocas de dados entre eles. Este programa tem estado no topo da indústria de motores de jogo tanto pela sua habilidade de chegar a tantos e diferentes usuários em diferentes plataformas como pela sua capacidade e facilidade de desenvolvimento. Ao contrário de outros motores de jogo, que são construídos como ferramentas esotéricas, caras e específicas para estúdio sendo posteriormente lançadas para o público, o Unity é fácil de usar e financeiramente acessível. Esta combinação entre flexibilidade e economia permitiu a este programa ser dos favoritos tanto em pequenos estúdios independentes como em grandes companhias de jogos, (Totten, C., 2012).

O Unity está disponível em duas versões: a versão básica que é gratuita e a versão Pro que acarreta custos monetários. Uma das grandes vantagens do Unity Pro é que este contém interfaces que servem para exportar os jogos para plataformas Android, iOS, Nitendo Wii, Playstation 3 e Xbox 360. Também contém renderizações melhoradas e outras opções gráficas para se obter um jogo mais pormenorizado.

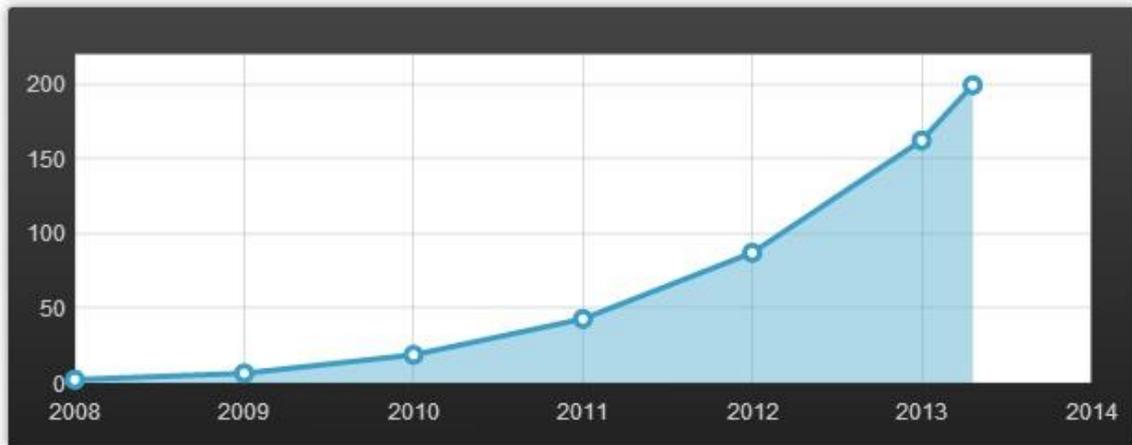


Figura 4.3 - Web Players do Unity instalados em milhões, cumulativo, fonte (Unity3D).

4.2.3.2. Unreal Development Kit (UDK)

O Unreal Development Kit (UDK) é uma versão gratuita da Unreal Engine 3, um motor de jogo desenvolvido pela Epic Games, (UnrealEngine).

Desenvolvido pela primeira vez em 1998 para criar o jogo “Unreal”, o seu crescimento tem sido notável e, não só se tornou a espinha dorsal da sua casa, Epic Games, como também foi licenciado com muito sucesso para companhias terceiras. Este programa não é só usado na indústria de jogos mas também em quaisquer tipos de trabalhos que exijam gráficos computacionais em tempo real, (Doran, J.P. and Gatzidis, C., 2012).

Otimizações contínuas deste produto são lançadas para as ferramentas de desenvolvimento de jogo deste programa com o objetivo de acelerar a produtividade dos seus usuários ao trabalhar com conteúdos muito complexos e de próxima geração, (UnrealEngine).

4.2.4. VISUALIZAÇÃO

No decorrer do trabalho foi necessário recorrer a programas visualizadores para se poder explorar mais a fundo quando e onde a informação, ou seja, as propriedades dos elementos do projeto BIM, foram ou não perdidos ao longo da sua transferência até aos motores de jogo. Como se verá mais adiante, os ficheiros FBX ganharão uma certa importância e será necessário encontrar um programa que abra os ficheiros fora dos programas BIM, dos programas de tratamento gráfico e dos motores de jogo.

4.2.4.1. Clockstone FBX Viewer

O FBX Viewer é uma ferramenta de visualização de imagens e de modelos 3D que lê ficheiros usualmente usados pelos programas anteriormente falados na presente dissertação. Apesar de ser um programa bastante básico e de ser impossível editar os modelos carregados por ele, o *software* apresenta algumas hipóteses de efeitos e de animações de modo a obter uma melhor renderização, (Clockstone, 2011). Uma boa funcionalidade do FBX Viewer, que será usada no próximo capítulo, é que este dá acesso à “informação de cena” dos ficheiros de modelos 3D, sendo essencial para compreender os fluxos de trabalho a serem realizados no estudo empírico.

4.3. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA ADOTADA

Foi realizado um estudo empírico com o objetivo de observar as perdas de informação que acontecem quando se exporta os modelos BIM para os motores de jogo.

Utilizou-se um projeto bastante simples de uma garagem constituído por sapatas, pilares, vigas, lajes e paredes. As exportações foram realizadas sem haver nenhuma alteração das propriedades do modelo BIM, ou seja, em todos os fluxos de trabalho utilizou-se a mesma garagem. No entanto, como se verá mais adiante, por vezes é necessário fazer algumas conversões de unidades de medida pois, foi preferível trabalhar em metros sempre que possível.

4.3.1. FLUXOS DE TRABALHO

Não foi encontrado nenhum caminho que salvaguardasse toda a informação do projeto original mas, alguns destes processos apresentam melhores resultados do que outros.

Os programas de BIM testados foram o Autodesk Revit 2013 e o Graphisoft ArchiCAD 16. A garagem foi realizada originalmente em Revit e exportada de seguida para o ArchiCAD via IFC (*Industry Foundation Classes*). Assim sendo, os modelos BIM são idênticos em termos estruturais e geométricos nos dois programas, diferindo apenas nos materiais e texturas utilizados, pois, decidiu-se escolher tais características de acordo com as bibliotecas próprias de cada *software* para se ter a certeza que não houve nenhuma perda de informação na transferência da garagem do Revit para o ArchiCAD. As medidas em ambos os programas estão em metros.

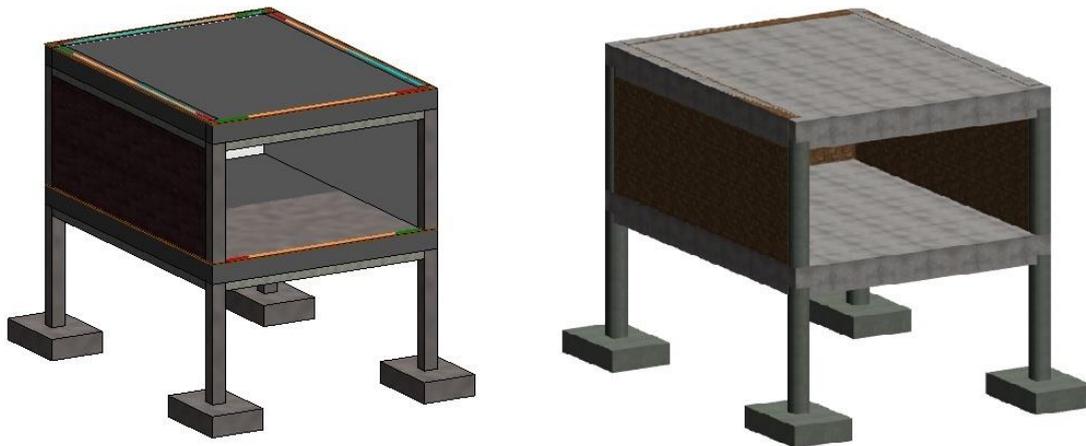


Figura 4.4 - Garagem testada em Revit e ArchiCAD

Os motores de jogo para onde ambos os modelos foram exportados foram o Unity 4 e o Unreal Development Kit (UDK). O Unity apresenta uma configuração bastante mais acessível e intuitiva. O modelo é importado como um ativo (*asset*) e é bastante fácil e rápido de ver quais as propriedades preservadas. Este programa reconhece vários tipos de ficheiros como os *Filmbox* (FBX), os MAX, os 3DS, os *Drawing Exchange Format* (DXF), os *Object Files* (OBJ) ou os *Maya Binary* (MB). Importa notar que, em alguns casos, após a exportação de um ficheiro para o Unity, este assume automaticamente um fator de escala diferente de 1 (normalmente 0,01) e, deve-se então corrigir o fator de escala no separador *Inspector* para o valor 1.

O UDK faz a importação também como um ativo (“*StaticMesh*”). Para a exportação acontecer tem que se colocar o ficheiro correspondente numa pasta do diretório do UDK como por exemplo na pasta *Contents*, caso contrário, não será possível realizar qualquer processo. A plataforma deste programa é mais complexa, sendo mais difícil de programar e de ver as propriedades da garagem depois de esta já estar disponível no *Content Browser* após a importação. Dos ficheiros testados, o UDK reconhece do tipo FBX e *Adobe Swatch Exchange* (ASE).

Por vezes é aconselhável existir um passo intermédio, ou seja, fazer o modelo passar por um programa de tratamento gráfico como o Autodesk 3ds Max ou o Autodesk Maya com o objetivo de se conseguir preservar mais propriedades do projeto durante os fluxos de trabalho. Tal ação permite alterar a extensão dos ficheiros do modelo original, de forma a se encontrar outros caminhos para que este chegue ao programa de destino. Também é possível fazer algumas alterações que podem ser convenientes dependendo do objetivo final como apagar câmaras ou materiais pré-definidos no Revit ou no ArchiCAD ou, ainda, juntar elementos comuns do projeto (como por exemplo, criar um grupo para as vigas de forma a fazer alterações similares em todos estes objetos).

Os dois seguintes diagramas mostram os diferentes fluxos de trabalho testados no presente trabalho.

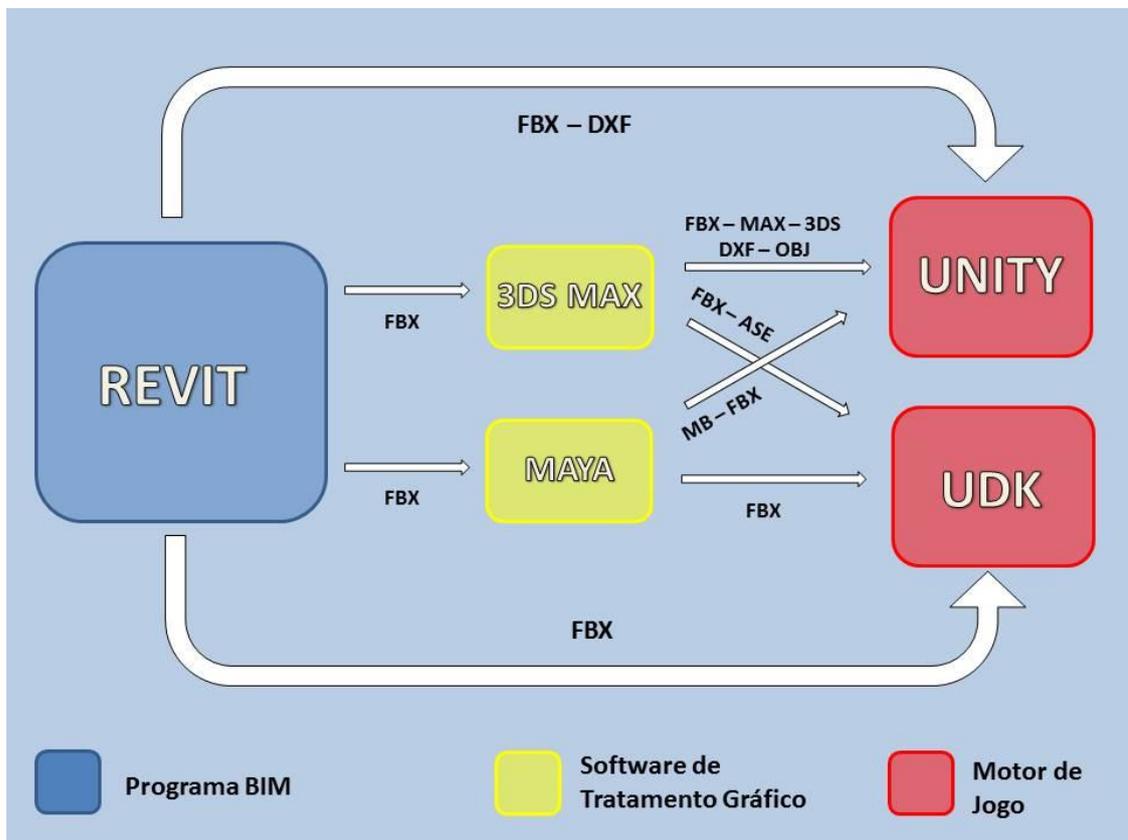


Figura 4.5 - Fluxos de trabalho partindo do Autodesk Revit 2013

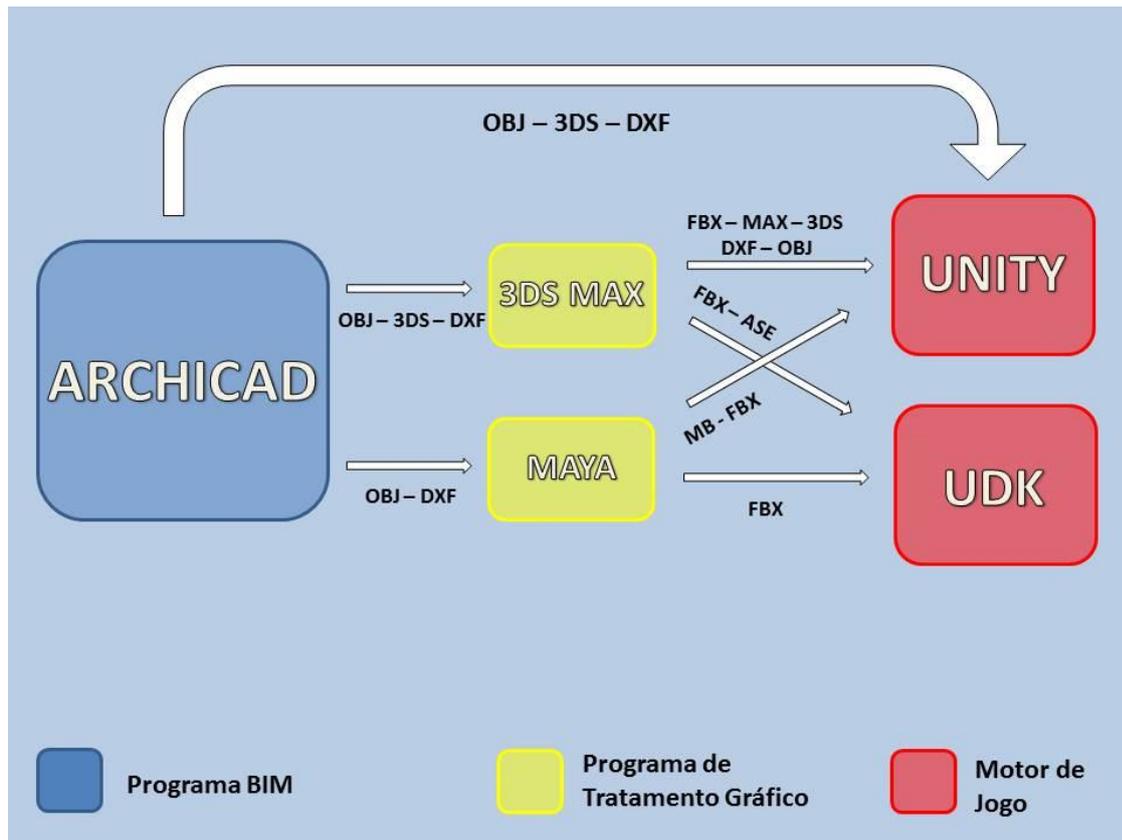


Figura 4.6 - Fluxos de trabalho partindo do ArchiCAD 16

As duas primeiras exportações foram realizadas diretamente do Revit para o Unity via FBX e DXF. As unidades padrão de um ficheiro FBX estão em pés, logo, quando se cria um ficheiro deste tipo a partir do Revit, os metros serão automaticamente convertidos em pés. Assim sendo, pode-se observar que, por FBX, a exportação é realizada, salvaguardando apenas o GUID. A unidade padrão de um ficheiro DXF são milímetros, logo, as medições estarão 1000 vezes aumentadas. A exportação recorrendo a este tipo de ficheiros não preserva nenhuma característica dos elementos que a compõem. De notar também que o FBX preserva os elementos do projeto original separados, enquanto que o DXF agrupa elementos semelhantes.

Em seguida, decidiu-se passar o modelo pelo 3ds Max. As unidades métricas padrão deste programa são as polegadas. Para se exportar o modelo do Revit para o Unity passando pelo 3ds Max, tudo via FBX deve-se, no momento da primeira exportação, deixar o 3ds Max converter as unidades do ficheiro de pés para polegadas selecionando a opção *automatic* na seção *units* da *advanced options*. No momento da segunda exportação, ou seja, do 3ds Max para o Unity, pode-se voltar a converter as unidades para metros e, assim, o modelo quando chegar ao Unity, estará com as mesmas unidades com que foi desenhado em Revit. No entanto, se se quiser fazer chegar a garagem em metros logo, com a escala correta ao Unity usando o formato MAX, 3DS ou OBJ (processos 4,5 e 7) devemos converter as unidades de pés para metros na altura da primeira exportação e não deixar o 3ds Max convertê-la automaticamente para polegadas. Nestas exportações, quando o ficheiro entra no Unity sob o formato FBX ou MAX, parte dos materiais são corretamente associados a cada elemento, assim como o GUID, ao contrário do que acontece se entrarem em 3DS (falha no GUID e nos materiais) ou OBJ (falha materiais). Em nenhum dos processos anteriores foram associadas texturas aos materiais, no entanto, o 3ds Max criou, no mesmo local do ficheiro FBX original, uma pasta (.fbm) com as imagens das texturas. Assim pode-se adicioná-las manualmente a cada material ficando o modelo com um melhor aspe-

to visual. Fazer o modelo chegar ao Unity por DXF passando pelo programa intermédia em formato FBX não tem qualquer resultado, sendo que este *workflow* não funciona em nenhum parâmetro. Será importante referir ainda que, em todos estes processos, excetuando os processos 2 e 6 (que introduzem ficheiros do tipo DXF no Unity), os elementos construtivos mantiveram o mesmo nome usado no programa BIM, sendo um dado importante para os identificar.

Usando como programa intermédio o Maya, se se fizer todo o fluxo de trabalho via FBX obtém-se um produto final sem materiais e sem texturas mas com a escala correta (convertendo as unidade para metros) e GUID preservado. Contudo se a última exportação for via DXF nenhuma destas quatro propriedades é preservada. A escala sofre, inexplicavelmente, um aumento de duas casas decimais, o que se pode supor que o modelo alterou as unidades de metros para polegadas na transferência do Revit para o Maya e de polegadas para centímetros na transferência do Maya para o Unity. Tal facto é, facilmente corrigido aplicando um fator de escala de 0,01 no motor de jogo. O mesmo acontece se se utilizar o formato MB em vez de DXF, sendo a única diferença que este caminho preserva o GUID. Aqui, o nome dos elementos são todos preservador à exceção do caminho que faz chegar o DXF ao motor de jogo.

Tendo como programa destino o UDK, os resultados são menos satisfatórios e mais difíceis de decifrar. Como já se referiu, a plataforma deste motor de jogo não é tão amigável como a do Unity. Exportando diretamente do Revit para o UDK via FBX, o resultado é negativo. Inexplicavelmente, o modelo perde três das quatro sapatas durante o processo e nenhum parâmetro é preservado, sendo que a escala foi convertida de metros para pés. Fazendo o FBX passar pelo 3ds Max, os materiais e a escala (agora em metros) são exportados mas, as texturas e o GUID não seguem com a garagem. Efetuando a mesma operação mas retirando o modelo do programa intermédio em ASE, a garagem é exportada apenas com a respetiva escala.

Se se mudar o programa de tratamento gráfico para o Maya, só se tem uma alternativa de caminho para o UDK (todo em FBX). Apenas a escala é respeitada, sendo que os materiais e as texturas exportados não correspondem com os do Revit.

Partindo agora do ArchiCAD, pode-se exportar os modelos para o Unity através de ficheiros OBJ, 3DS e DXF. Os dois primeiros apresentam resultados muito interessantes, sendo a falta do GUID o seu grande problema. O processo com OBJ exporta, com sucesso a escala e os materiais e cria uma pasta no computador com algumas texturas dos objetos que podem ser adicionadas manualmente. O processo com o ficheiro 3DS corre exatamente igual ao anterior mas, são associados aos materiais cores em vez de texturas, dando uma aparência semelhante ao modelo em comparação com quando este está no programa BIM. Atenção que nestes dois casos temos que definir corretamente a escala de saída do ArchiCAD (metro). Se se decidir transferir o projeto por DXF, o resultado é muito negativo. Apesar das dimensões dos objetos serem compreensíveis (foram exportadas não em metros mas em milímetros), os materiais e texturas estão incorretos e os vários elementos construtivos da garagem não estão sequer ligados, fazendo com que a garagem pareça “desmontada”.

Recorrendo agora à passagem pelo 3ds Max, se se exportar para lá o projeto em ficheiro OBJ, não devemos converter unidades nenhuma. Assim, retirando o modelo de lá para o Unity via FBX, selecionamos como unidades do projeto metros e este chegará ao motor de jogo na escala correta. Os materiais são exportados e cores semelhantes às texturas do ArchiCAD são associados a estes, mas o GUID não é transferido. Em seguida testou-se o mesmo caminho mas sempre em formato OBJ. Os materiais e escala são respeitados mas os outros parâmetros são perdidos. Este *workflow* todo em DXF não funciona e o modelo não é sequer visível no motor de jogo. No processo seguinte, recorrendo inicialmente ao ficheiro DXF, para a garagem ficar à escala deve-se importá-la para o programa intermédio e não

efetuar nenhuma redefinição de escala. Quando se envia o modelo para o Unity em formato FBX tem que se selecionar metro como a unidade de exportação. Neste caso, nem materiais, nem texturas nem GUID são preservados, apenas a escala se mantém (processo 15). Partindo do ficheiro da garagem em formato OBJ e convertendo-o a em FBX após a passagem pelo 3DS Max, o resultado é semelhante ao caminho sem recurso ao programa intermédio: o GUID não é guardado mas, a escala, os materiais e as cores da textura sim. Para a escala estar correta deve-se convertê-la para metros à chegada ao programa de tratamento gráfico e, à saída, deve-se referir que essa unidade é o metro. Curiosamente, partindo do ficheiro do modelo em 3DS, e fazendo-o passar pelo 3ds Max para depois o retirar novamente em 3DS, a boa prestação que este teve quando passou diretamente para o Unity vai-se estragar pois nenhuma das propriedades foi preservada, sendo que a escala muda de unidades de metros para polegadas. Fazendo o mesmo percurso mas exportando do 3ds Max para o Unity via MAX, o resultado é mais satisfatório, sendo semelhante aos processos 12, 14 e 16 diferindo apenas nas unidades que vêm em polegadas. Agora, alterando a primeira parte do caminho (importando para o 3DS Max em OBJ e exportando em MAX), o resultado é o mesmo mas as dimensões vêm logo em metros se não se fizer qualquer conversão das unidades durante o processo.

Utilizando o Maya e realizando o caminho, em termos de tipos de ficheiros, por OBJ para FBX ou MB, a escala é respeitada se não se fizer qualquer tipo de conversão mas, nem materiais, nem texturas nem GUID segue com o modelo, aliás, o modelo comporta-se como um objeto único e não como um conjunto de elementos construtivos não sendo possível, por exemplo, selecionar uma laje sem selecionar uma parede. Por fim, fazendo a importação para o Maya via DXF, fica-se apenas com texturas e a escala é importada sob a forma de milímetros não sendo, então, respeitada.

Não é possível transferir diretamente do ArchiCAD para o UDK pois este último não aceita nenhum dos tipos de ficheiros com que o programa de modelação trabalha (OBJ, 3DS ou DXF). Necessita-se então de recorrer logo ao programa intermédio. Começando pelo 3ds Max, importando o modelo via 3DS ou OBJ e retirando-o em FBX, os materiais e escala mantêm-se mas a textura e o GUID não. Quando se o retira via ASE nenhum parâmetro é guardado e a escala é convertida em polegadas.

Utilizando o Maya, existem dois caminhos disponíveis, fazer o modelo entrar via OBJ e DXF e fazê-los sair em FBX. Optando-se por OBJ, os materiais são exportados e a escala é respeitada mas por DXF não há materiais e a escala vem em milímetros. As restantes propriedades são perdidas.

A tabela 4.1 faz um resumo de todos os processos testados no estudo empírico e o anexo I contém as imagens dos resultados obtidos.

Tabela 4.1 - Workflows

Processo	Origem	Tipo de Ficheiro	Intermediário	Tipo de Ficheiro	Destino	Imagem	GUID	Escala	Material	Textura
1	Autodesk Revit 2013	FBX	-	-	Unity	✓	✓	✗	✗	✗
2	Autodesk Revit 2013	DXF	-	-	Unity	✓	✗	✗	✗	✗
3	Autodesk Revit 2013	FBX	3DS Max	FBX	Unity	✓	✓	✓	±	±
4	Autodesk Revit 2013	FBX	3DS Max	MAX	Unity	✓	✓	✓	±	±
5	Autodesk Revit 2013	FBX	3DS Max	3DS	Unity	✓	✗	✓	✗	±
6	Autodesk Revit 2013	FBX	3DS Max	DXF	Unity	✗	✗	✗	✗	✗
7	Autodesk Revit 2013	FBX	3DS Max	OBJ	Unity	✓	✓	✓	✗	±
8	Autodesk Revit 2013	FBX	Maya	MB	Unity	✓	✓	✗	✗	✗
9	Autodesk Revit 2013	FBX	Maya	FBX	Unity	✓	✓	✓	✗	✗
10	Autodesk Revit 2013	FBX	Maya	DXF	Unity	✓	✗	✗	✗	✗
11	ArchiCAD 16	OBJ	-	-	Unity	✓	✗	✓	✓	±
12	ArchiCAD 16	3DS	-	-	Unity	✓	✗	✓	✓	±
13	ArchiCAD 16	DXF	-	-	Unity	±	✗	✗	✗	✗
14	ArchiCAD 16	3DS	3DS Max	FBX	Unity	✓	✗	✓	✓	±
15	ArchiCAD 16	DXF	3DS Max	FBX	Unity	✓	✗	✓	✗	✗
16	ArchiCAD 16	OBJ	3DS Max	FBX	Unity	✓	✗	✓	✓	±
17	ArchiCAD 16	3DS	3DS Max	3DS	Unity	✓	✗	✗	✗	✗
18	ArchiCAD 16	3DS	3DS Max	MAX	Unity	✓	✗	✗	✓	±
19	ArchiCAD 16	OBJ	3DS Max	MAX	Unity	✓	✗	✓	✓	±
20	ArchiCAD 16	OBJ	3DS Max	OBJ	Unity	✓	✗	✓	✓	✗
21	ArchiCAD 16	3DS	3DS Max	OBJ	Unity	✓	✗	✗	✗	✗
22	ArchiCAD 16	DXF	3DS Max	DXF	Unity	✗	✗	✗	✗	✗
23	ArchiCAD 16	OBJ	Maya	FBX	Unity	✓	✗	✓	±	✗
24	ArchiCAD 16	OBJ	Maya	MB	Unity	✓	✗	✓	±	✗
25	ArchiCAD 16	DXF	Maya	FBX	Unity	✓	✗	✗	✗	±

Processo	Origem	Tipo de Ficheiro	Intermediário	Tipo de Ficheiro	Destino	Imagem	GUID	Escala	Material	Textura
26	ArchiCAD 16	DXF	Maya	MB	Unity	✓	✗	✗	✗	±
27	Autodesk Revit 2013	FBX	-	-	UDK	✓	✗	✓	✗	✗
28	Autodesk Revit 2013	FBX	3DS Max	FBX	UDK	✓	✗	✓	✓	✗
29	Autodesk Revit 2013	FBX	3DS Max	ASE	UDK	✓	✗	✓	✗	✗
30	Autodesk Revit 2013	FBX	Maya	FBX	UDK	✓	✗	✓	✗	✗
31	ArchiCAD 16	3DS	3DS Max	FBX	UDK	✓	✗	✓	✓	✗
32	ArchiCAD 16	3DS	3DS Max	ASE	UDK	✓	✗	✗	✗	✗
33	ArchiCAD 16	OBJ	3DS Max	ASE	UDK	✓	✗	✗	✗	✗
34	ArchiCAD 16	OBJ	3DS Max	FBX	UDK	✓	✗	✓	✓	✗
35	ArchiCAD 16	OBJ	Maya	FBX	UDK	✓	✗	✓	✓	✗
36	ArchiCAD 16	DXF	Maya	FBX	UDK	✓	✗	✗	✗	✗

Legenda:

✓ Propriedade preservada com total sucesso;

✗ Propriedade não preservada;

± Propriedade parcialmente preservada (elementos da imagem não estão conectados nem sincronizados);

± Propriedade parcialmente preservada (apenas alguns materiais foram exportados);

± Propriedade parcialmente preservada (texturas estão presentes numa pasta e podem ser adicionadas manualmente);

± Propriedade parcialmente preservada (texturas não foram exportadas mas estão presentes cores semelhantes a estas).

Concluindo, o FBX é um bom tipo de ficheiro para se trabalhar nas exportações. Na maioria dos processos envolvendo estes ficheiros, a maior parte das informações foram exportadas. O seu maior defeito é o facto de não associar as texturas diretamente ao material mas tal situação pode ser remediada fazendo a associação manualmente. Os ficheiros MAX também se comportam de uma forma positiva assim como alguns dos 3DS no entanto, estes já dependem mais dos caminhos adotados e menos de si próprios. Os ficheiros OBJ pecam muito pela falta de texturas e os MB por serem ficheiros demasiado associados apenas ao Maya. Os ASE nunca transportaram consigo informações de materiais, texturas e GUID. Por fim, o tipo de ficheiro que teve piores resultados foi o DXF, que nunca transportou consigo mais do que a simples imagem da garagem e, mesmo em algumas situações nem isso fez corretamente.

As exportações dos materiais apresentam comportamentos estranhos e não constantes. Como os processos que incluem FBX tiveram os melhores resultados, vai-se explorar novamente estes caminhos de forma a tentar saber onde e qual a informação que se perdeu de uma forma mais detalhada.

No processo 3 da tabela 4.1, alguns materiais são corretamente exportados (como ficheiros MAT) mas, incompreensivelmente, outros não o são. Por exemplo, no projeto em Revit, o material usado tanto para os pilares e as sapatas foi o mesmo: *Concrete – Cast In Situ – Betão*. No entanto, apenas o material dos pilares foi exportado, sendo que as fundações no Unity são compostas por um material automático do jogo designado por *No Name*. Também, quando um elemento é constituído por várias camadas, como o caso da seguinte parede, alguns dos materiais das camadas são exportados com sucesso ao contrário de outros que são eliminados. Comparando a constituição da parede no Revit (figura 4.7), consta-se que ela é constituída por cinco camadas, e que no Unity (figura 4.8), a mesma parede é constituída apenas por três camadas.

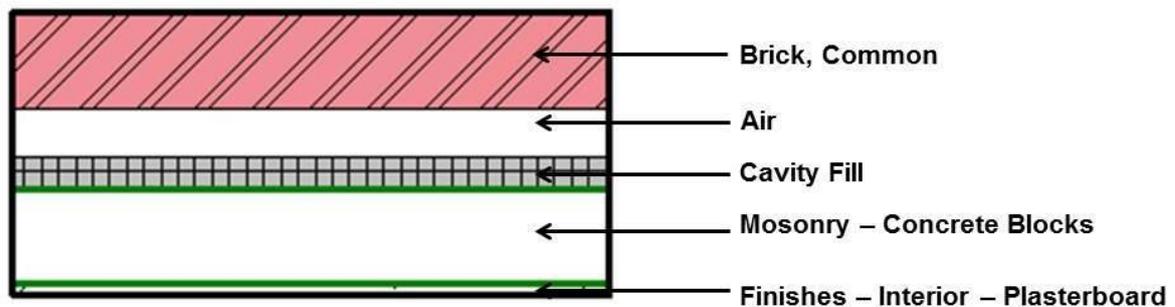


Figura 4.7 - Parede *Basic Wall CW 102-85-100p* do Autodek Revit 2013

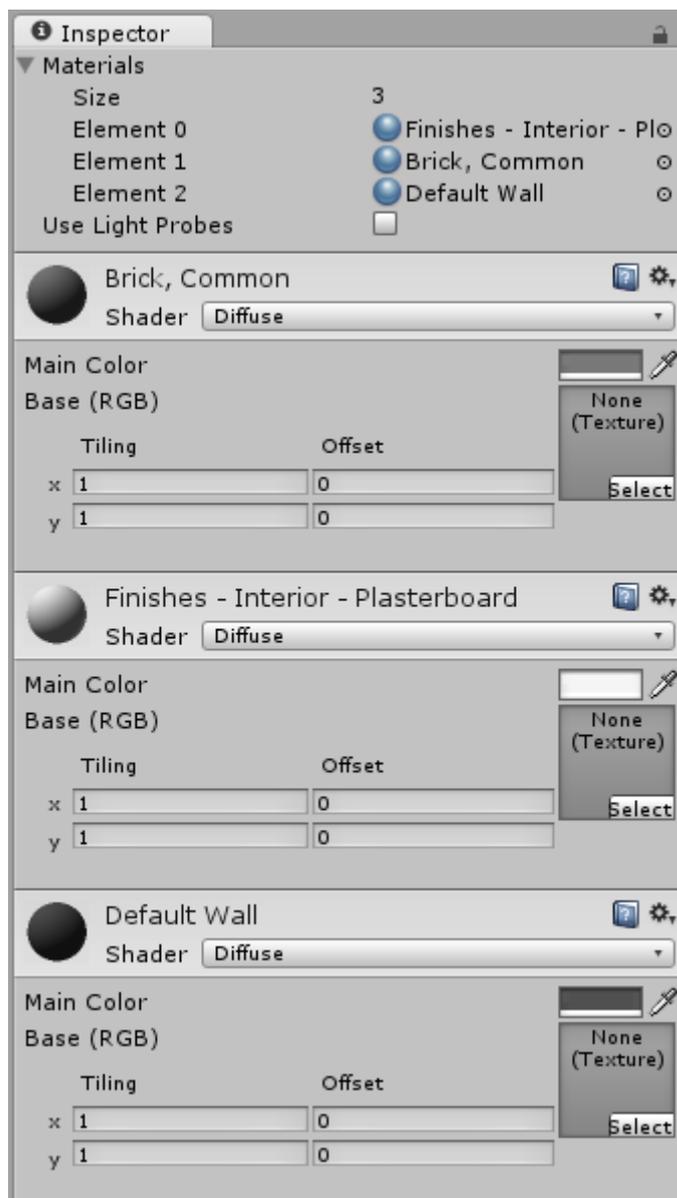


Figura 4.8 - Materiais da parede *Basic Wall CW 102-85-100p* depois de exportada para o Unity

Retrocedendo no processo, importa saber onde a informação foi perdida. Assim, vai-se analisar o primeiro FBX que foi retirado do Revit, utilizando o programa visualizador Clockstone FBX Viewer. De notar que este *software* é apenas visualizador e um pouco precário tanto em termos de personalização como de renderização.

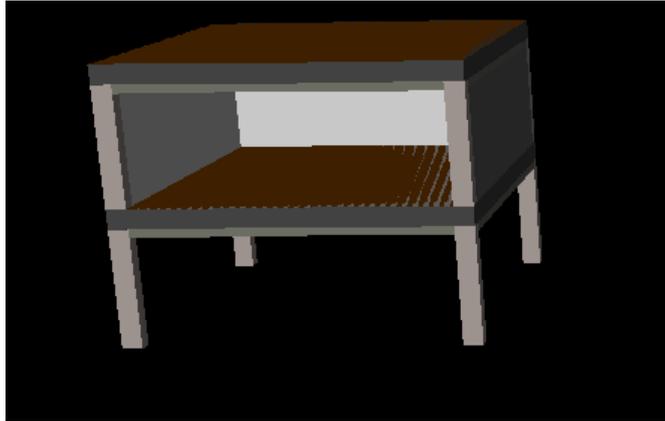


Figura 4.9 - Garagem vista através do programa Clockstone FBX Viewer

Na visualização do modelo no programa, nota-se logo pela imagem que algumas informações foram perdidas. Analisando a informação da cena e, mais particularmente, as paredes, depara-se com o seguinte código:

Basic Wall CW 102-85-100p [155419]

Basic Wall CW 102-85-100p [155419]_mesh0 f:2 v:4

Basic Wall CW 102-85-100p [155419]_mesh1 f:2 v:4

Basic Wall CW 102-85-100p [155419]_mesh2 f:8 v:16

Como se pode observar, existem 3 *meshes* associados a este elemento. Cada *mesh* corresponderá a cada material que será posteriormente reconhecido no Unity. Com isto, pode-se concluir que a perda de informação tem origem logo na exportação do Revit em formato FBX, não sendo nem da responsabilidade do programa intermédio de tratamento gráfico nem do motor de jogo. Assim, parece que o ficheiro FBX guarda a camada fronteira interior (*Finishes – Interior – Plasterboard*) e a exterior (*Brick, Common*) mas que os restantes componentes entre estas estão agrupados numa *Default Wall*.

Selecionando agora um pilar, observa-se que o material escolhido foi *Concrete – Cast In Situ – Betão* mas que estes elementos surgem no Unity com quatro materiais diferentes: *Concrete – Cast In Situ – Betão*; *Concrete, Sand_Cement Screed*; *Site – Hardcore* e *Generic*. A razão de tal facto é desconhecida mas observa-se novamente que a diferença de materiais ocorre logo na primeira fase, quando se exporta o modelo BIM como FBX.

Reparando agora nas sapatas, e observando novamente o modelo no programa visualizador, nota-se pela própria imagem que algo estará errado. As sapatas estão definitivamente presentes na figura mas, aparentemente, sem textura e sem material. No entanto, nota-se que existe um *mesh* associado a este objeto. Quando se exporta o modelo para o programa de tratamento gráfico 3ds Max, observa-se que este ainda reconhece o seu material mas, quando se leva o modelo para o Unity, já não há qualquer informação sobre o paredeiro deste. Ou seja, aqui o defeito acontece na segunda fase de transferências, do programa de tratamento gráfico para o motor de jogo. O Unity associa automaticamente as sapatas a um material automaticamente atribuído por ele, designado de *No Name*.

Seguindo uns tutoriais da Universidade da Pensilvânia sobre *workflows* semelhantes a estes, eles aconselham a eliminar todos os materiais do 3ds Max que se apresentem como *Generic*, *No Name*, *Standard* ou *Default* para não complicar os processos (Wiki, P.S.B.). A opinião do presente trabalho é que se deve, para já, deixar estes materiais seguirem caminho. A linguagem e dependência dos materiais é um tema ainda confuso nestes fluxos de trabalho e eliminá-los sem conhecer na totalidade todas as

suas origens (por exemplo, a razão que faz a parede “perder” camadas quando a garagem foi exportada em FBX) pode levar à perda de informação importante. De notar que, ao apagar estes materiais no 3ds Max faz com que apareçam materiais ainda mais estranhos associados aos elementos (figura 4.11). Para além disto, as visualizações do modelo sem estes materiais pré-definidos perde muita qualidade como se pode observar nas seguintes imagens.

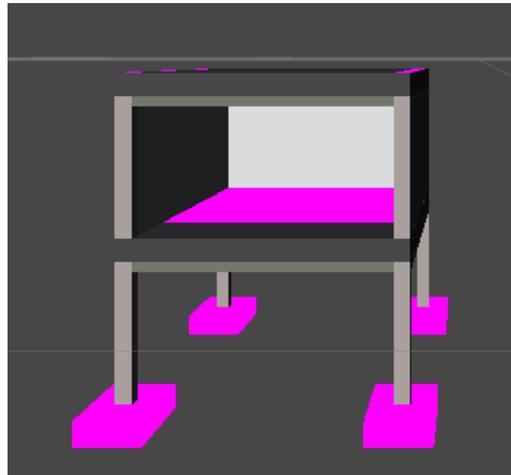


Figura 4.10 - Garagem com os materiais pré-definidos eliminados no Unity

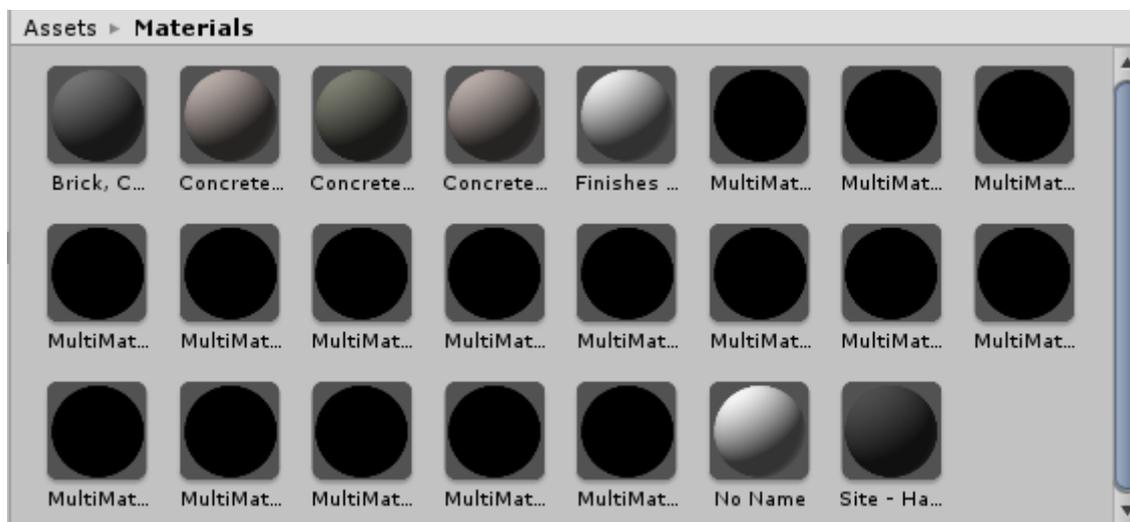


Figura 4.11 - Materiais criados automaticamente com a eliminação dos materiais recomendados no 3ds Max

De qualquer das maneiras, em relação aos materiais, é possível personalizá-los e criá-los de raiz no Unity se os resultados das exportações não foram satisfatórios.

Quanto à escala, para se verificar se esta foi ou não respeitada, é preciso usar uma ferramenta de medição que não está diretamente incumbida no motor de jogo. Na *web*, vários utilizadores do Unity, criam e partilham *scripts* com as mais diversas funções e, um desses, desenvolvida pelo *blog* The 3D Ninja contém exatamente uma ferramenta de medição intitulada de *Distance Tool* que, recorrendo a uma régua virtual, irá medir a distância entre dois pontos à escolha, sendo assim possível comparar este valor com o valor da distância entre os mesmos dois pontos medidos no programa BIM, (Blog, T.D.N., 2011).

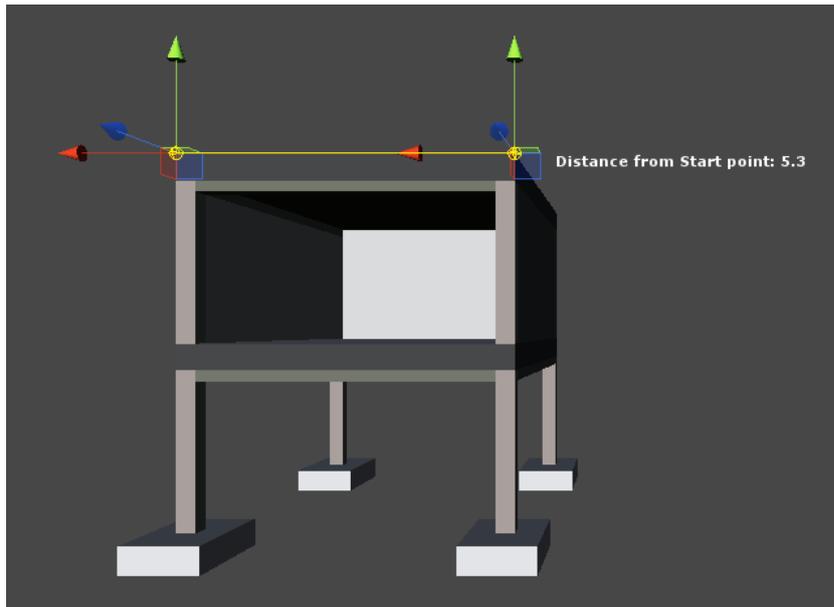


Figura 4.12 - Medição do comprimento da laje de cobertura em unidades Unity através da *Distance Tool*

4.3.2. APROFUNDAMENTO DE UM DOS PROCESSOS

Depois de se ter explorado diversos caminhos possíveis de transferência de informação, vai-se proceder ao aprofundamento de um deles, que pareça ter mais potencial. Assim, o processo 3, em que se envia o projeto do Revit para o Unity passando pelo 3ds Max sempre em formato FBX, tem condições para se continuar com a investigação. Como se pode ver pela tabela 1, o GUID, a escala e os materiais são transferidos com sucesso. As texturas estão presentes numa pasta no computador e podem ser adicionadas manualmente.

4.3.2.1. Colocação de um Terreno

Em primeiro lugar, nenhuma das garagens testadas tem um terreno onde assentar. Assim sendo, deve-se primeiro criar um elemento topográfico no Revit e, a partir de agora, será esse o ficheiro BIM com que se vai trabalhar.

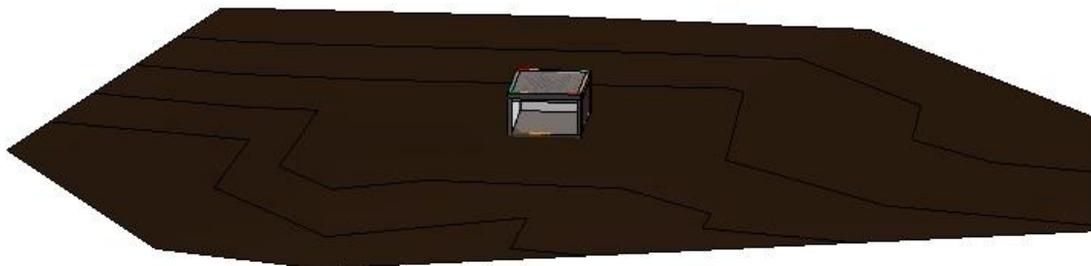


Figura 4.13 - Aplicação de um terreno na garagem

4.3.2.2. Preparação do Modelo BIM no Unity

Depois da colocação do terreno, exporta-se o ficheiro em formato FBX e importa-se para o 3ds Max convertendo a escala de pés para polegadas. Na altura da seguinte exportação, do programa de tratamento gráfico para o motor de jogo em FBX, converte-se a escala para metros. No Unity, cria-se um novo projeto, onde se deve incluir os pacotes próprios deste *software (packages)* que se achar necessários (*character controller* e *skyboxes* serão essenciais). Depois basta importar o *asset* correspondente à garagem e alterar no separador *Inspector* o fator de escala para 1. Será fulcral selecionar a opção *generate colliders* pois, sem esta configuração, não haverá colisões e os jogadores atravessarão o terreno como se fosse imaterial. Como já se referiu, as texturas não estão automaticamente associadas aos materiais e então, deve-se importar igualmente a pasta das texturas que terá o mesmo nome do ficheiro FBX mas com a terminação *.fbm*, arrastando-a para o separador *project*. Com isto, pode-se associar cada material a cada uma das texturas correspondentes e, para sabermos a qual textura correta de cada um, pode-se consultar o Revit na secção *Manage – Materials*. Lembra-se que há materiais que não são exportados, como se viu no ponto anterior, existindo então alguns “estranhos” ao modelo BIM, como o material *No Name*. Uma dessas falhas acontece no material do terreno *Earth* que, apesar de existir a exportação para a pasta *.fbm* da textura do terreno, o material não segue com o modelo, sendo substituído automaticamente pelo material básico do Unity, *No Name*. Também, como se referiu anteriormente, o material das sapatas não está associado a estas mas, como elas estarão enterradas e, neste projeto, não acessíveis ao utilizador vai-se ignorar esta falha. Em relação ao terreno, vai-se criar manualmente um novo material escolhendo a opção *Create – Material*, mudando-lhe o nome e associando-o à textura correspondente do terreno no Revit. Para tal, basta arrastar o material para o elemento *Surface*.

Assim que todos estes processos estejam realizados, pode-se colocar o ficheiro BIM dentro do jogo arrastando-o para o separador *Hierarchy*.

4.3.2.3. Luzes, Céu e First Person Controller

Cada novo projeto do Unity vem já com uma câmara principal (*Main Camera*) presente no separador *Hierarchy*. No presente trabalho, esta não terá qualquer utilidade e poderá criar conflitos com o *First Person Controller* e, então, deve-se eliminar este item.

Como se pode reparar, a garagem já está situada na cena de jogo mas ainda não tem nem luz nem céu. A luz será importante para se poder ver o modelo com melhor nitidez e o céu é utilizado segundo um ponto de vista estético. Quando se criou o novo projeto importou-se o *package skyboxes* do próprio Unity, logo, tem-se já várias opções moduladas para o céu. Para o adicionar basta selecionar as *Render Settings* no separador *Edit* e colocar o material (conjunto de texturas escolhidas) na secção *Skybox Material*. Para configurar a luz seleciona-se a opção *Create Other* no separador *Game Objects* e escolhe-se que tipos de iluminação se pretende obter. Para simular o Sol, resolveu-se colocar uma *Directional Light* e colocou-se também uma *Point Light* para iluminar o interior da garagem.

Falta agora adicionar um jogador, ou seja, alguém que percorra o modelo representando o utilizador. Novamente, recorrendo aos *packages* importados do próprio Unity, coloca-se na cena um *First Person Controller* (incluído na pasta *Character Controllers*) algures sob o terreno do jogo.

Com isto, já se pode percorrer e explorar o modelo BIM carregando no botão *Play* na janela *Scene*. A visualização do modelo pelos “olhos” do personagem de jogo será algo como mostra a seguinte figura.

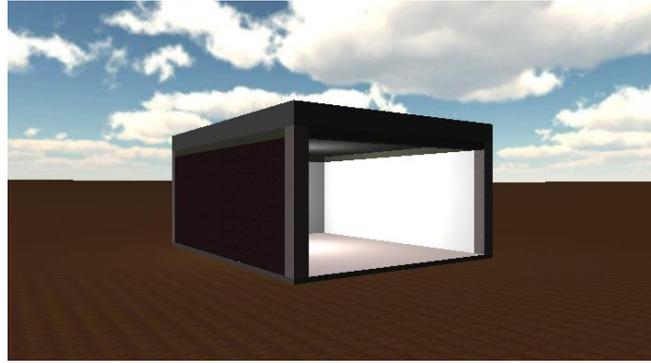


Figura 4.14 - Visualização do modelo no motor de jogo

4.3.2.4. Texturas

Quando se faz a correspondência entre as texturas do Revit com os materiais no Unity, para além do defeito de se ter que as fazer manualmente, nota-se outro erro: a textura aparece a uma escala diferente em cada programa. Como se viu anteriormente, foi possível realizar medições no Unity e verificou-se que a escala dos elementos é a mesma, no entanto, a parede no Unity contém mais tijolos que a parede no Revit, o que leva a crer que o modo de receção da imagem da parte do elemento construtivo nos dois programas é diferente.

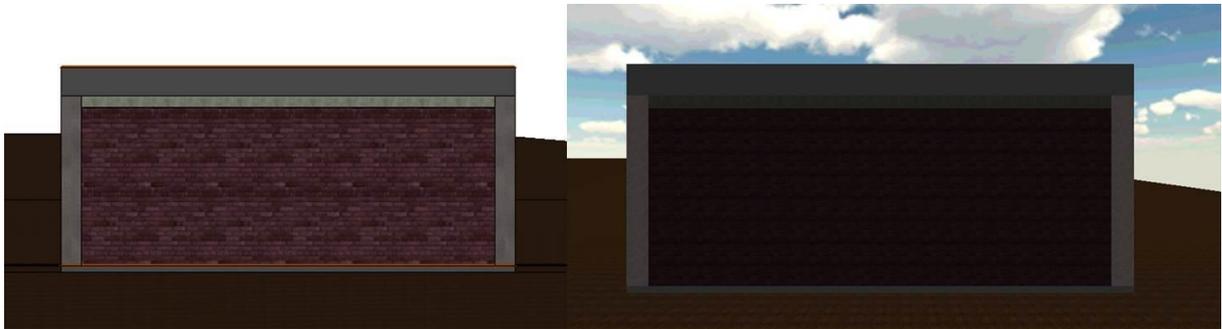


Figura 4.15 - Comparação entre a parede no Revit (à esquerda) e a parede do Unity (à direita)

4.3.2.5. Linguagem Script

As linguagens *script* são linguagens de programação executados no interior de programas e/ou de outras linguagens de programação, (The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, I.). A sua funcionalidade não é de criar aplicações a partir do zero mas antes, de conectar diferentes componentes. Esta linguagem serve para estender os recursos dos componentes (de um jogo, neste caso) mas, raramente são usados para execução de algoritmos complexos e para estruturação de dados pois, tais características são geralmente fornecidas já pelos próprios componentes, tornando assim a linguagem *script* numa linguagem de junção ou de integração, (Ousterhout, J.K., 1998).

Por outras palavras, os *scripts* são documentos que contêm códigos de linguagem de programação que, quando aplicados a elementos do jogo lhes possibilitam novas funcionalidades. Assim, com a aplicação destes dados, o potencial de desenvolvimento do jogo é enorme, sendo possível personalizar o agente de jogo, fazendo-o realizar novas funções como reconhecimento de objetos ou realização de medições.

O Unity aceita linguagem *script* em formato JavaScript, C# Script e Boo Script.

Nesta fase do trabalho, vão-se introduzir dois *scripts* que estão escritos no anexo II do presente trabalho.

O primeiro, terá o nome de Identificacao e servirá para habilitar o FPC a reconhecer elementos pertencentes ao modelo. Com este *script*, a personagem do jogo responde ao clique enviando um raio que, ao bater no elemento retrocede, trazendo informação sobre o nome do objeto em que embateu. Ou seja, a partir deste *script*, o clicar num elemento (como uma parede), faz aparecer no canto superior esquerdo o seu respetivo nome, como mostra a figura 4.16.

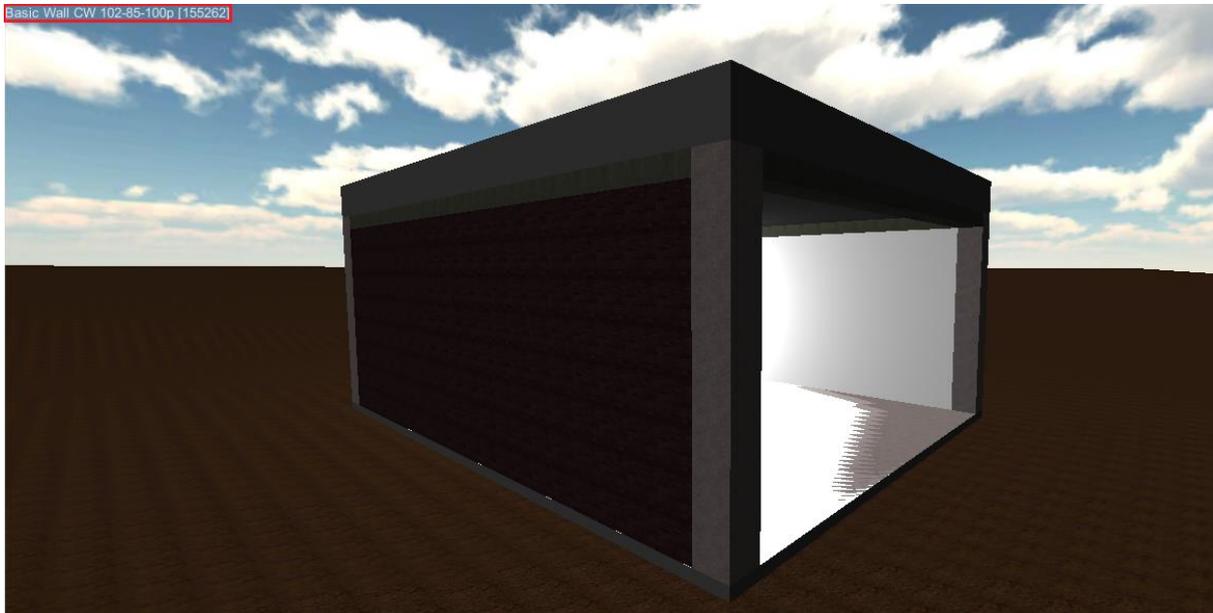


Figura 4.16 - Garagem com identificação de uma parede

O segundo *script* foi realizado com o objetivo de se fazer aparecer informações complementares sob a forma de texto em algumas partes do modelo. Neste caso em particular, pretende-se que apareça uma mensagem no centro do ecrã com o texto “Interior da Garagem” quando o jogador entrar nesta. Assim, há que criar um *script* que faça surgir tal mensagem, quando acontecer uma colisão entre a personagem e um objeto. Para o objeto dar sinal que deve acontecer uma determinada ação, este tem que estar em modo *trigger*. Este modo funciona como um gatilho ou alarme que dispara com o contato. Neste caso, enquanto a personagem se mantiver em contacto com um cubo invisível situada na entrada da garagem, a ação irá disparar, fazendo aparecer o texto, e quando este já não estiver em contacto com o objeto, o alarme vai-se desligar fazendo desaparecer o texto. Este *script* está em linguagem JavaScript e, contém as devidas variáveis e funções que poderão ser observadas no anexo II. De notar que o chamamento das funções é feito, não ao objeto mas sim à etiqueta (*tag*) em que este se encontra. Assim, tem que se criar uma nova *tag*, dar-lhe um nome (neste caso, Informação) e associar o cubo a esta etiqueta e, só assim o *script* irá associar as funções ao objeto pretendido.



Figura 4.17 - Garagem com informação do facto de se encontrar no interior desta

4.3.2.6. Criação de uma Interface

Finalmente, um dos objetivos deste trabalho é o de tornar o jogo acessível a outras entidades. O Unity tem a opção de assim o fazer, disponibilizando-o em diversas plataformas como Web Player, Android, iOS ou Wii. Aqui, vai-se então realizar este processo com o objetivo de disponibilizar o modelo através de uma ligação internet. Assim, recorre-se à opção *Build Settings* em *File* e seleciona-se o comando *Web Player* carregando depois em *Build*. O símbolo do Unity tem que estar, obrigatoriamente, à direita da plataforma pretendida e, para o colocar lá, utiliza-se o comando *Switch Plataforma*. De seguida escolhe-se uma pasta destino que esteja vazia e são criados dois ficheiros, um em formato *Hyper-Text Markup Language* (HTML) e outro em UNITY3D. Abrindo o ficheiro HTML pode-se já visualizar o modelo numa página *web*. No entanto, ainda tem que se colocar tal página num domínio. O famoso Dropbox é um excelente local onde se pode armazenar o jogo. Para o fazer basta colocar na sua pasta pública os dois ficheiros criados pelo Unity com o Web Player. De seguida seleciona-se o ficheiro HTML e copia-se o *link* público. Tal ligação será enviada posteriormente para o destinatário pretendido que o poderá abrir e interagir com o modelo se tiver um pequeno *plug in* instalado do Unity Web Browser (se não tiver, realizar o descarregamento e instalação demorará menos de um minuto).



Figura 4.18 - Interface do jogo numa página web

4.3.2.7. Adaptação do Modelo a Dispositivos Móveis

Depois da colocação do modelo na *web*, tentou-se inseri-lo num aparelho móvel como uma aplicação. O Unity realiza esse trabalho, tanto para Android como para iOS. É possível realizar estas exportações dependendo do material utilizado. Se se desejar realizar a aplicação em Android, será necessário ter o Microsoft Windows instalado no computador assim como alguma ferramenta móvel que utilize este sistema operativo. Por outro lado, se se desejar realizar a aplicação em iOS, a criação da interface tem que ser feita num computador que utilize Macintosh Operating System. No contexto das ferramentas disponíveis para a realização deste trabalho, apenas foi possível testar a passagem para Android.

Para se efetuar tal passagem, deve-se instalar e trabalhar com o Android System Development Kit (SDK). Depois de instalado e configurado, o Unity reconhece tal programa e trabalha em conjunto com ele para criar um ficheiro SDK, ficheiro de instalação de *software* em Android. A criação deste ficheiro e a sua transferência para Android foi feita com sucesso, no entanto, após a sua instalação, aparece um erro grave, referindo que a aplicação em causa parou inesperadamente. Com tão pouca informação sobre este erro, não foi possível até à data de conclusão da dissertação, encontrá-lo e corrigi-lo pelo que se considera que a transferência de uma aplicação para Android através do motor de jogo não teve sucesso. Tentou-se também enviar para o *smartphone* jogos básicos do Unity sem *scripts*, incluindo apenas uma câmara e um objeto e, mesmo assim, a aplicação não se iniciou. Isto leva a crer que o problema poderá ser ou do *smartphone* que não terá capacidade suficiente para correr este tipo de programas, ou algum processo defeituoso na criação do ficheiro de instalação pela parte

do SDK mas, no entanto, tal razão parece menos provável, já que a sua criação ocorreu sem qualquer mensagem de erro.

5

CASO DE ESTUDO

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No seguimento do trabalho desenvolvido, será importante aplicá-lo a um caso de estudo real. Sendo este trabalho desenvolvido segundo o plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, considerou-se contextual modular parte do edifício G (Departamento de Engenharia Civil).



Figura 5.1 - Edifício G da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Para tal, os Serviços Técnicos e de Manutenção da FEUP disponibilizaram as plantas arquitetónicas de todos os pisos do edifício assim como vários cortes e alçados desenhados em 1997 e 1998.

Como se irá partir de documentos puramente arquitetónicos e não estruturais, o projeto a criar será um projeto também arquitetónico. Nas plantas faltam algumas informações importantes como posicionamento de pilares, profundidade de fundações ou diferenciação entre paredes estruturais e paredes divisorias sendo então o modelo a criar em BIM, um modelo visual e sem grandes preocupações técnicas. O grande objetivo será de proporcionar uma interface com bom aspeto de modo a que um futuro utilizador consiga ver e percorrer o edifício de modo a conhecê-lo e apreciá-lo esteticamente e fazer duas aplicações práticas deste, uma relacionada com a segurança e outra com o ensino.

O edifício é real e já está em funcionamento há bastante tempo, logo, ao longo dos anos sofreu, naturalmente, pequenas alterações de disposição de espaços que não se encontram nas plantas nem nos cortes. Assim, recorreu-se a observações no local e a fotografias atuais para apoiar a criação do edifício em BIM para que o novo projeto seja uma versão atual do departamento de engenharia civil e não apenas uma transposição dos documentos fornecidos que têm já mais de 15 anos.

O fluxo de trabalho escolhido para fazer o modelo chegar a um motor de jogo foi o processo 3 do capítulo 4, em que um modelo BIM, criado no programa Autodesk Revit 2013 é transferido para o motor de jogo Unity 4 sempre em formato FBX, passando pelo programa de tratamento gráfico 3ds Max. Durante o processo a sua escala é convertida de pés para polegadas na primeira transferência e de polegadas para metros na segunda exportação de modo a fazer com que o modelo chegue ao motor de jogo na mesma unidade em que foi modulado (metros), já que os ficheiros FBX por definição utilizam escala em pés. Tal fluxo está presente na seguinte imagem.



Figura 5.2 - Fluxo de trabalho utilizado no caso de estudo

Neste processo, obteve-se uma imagem correta do modelo em que os elementos construtivos estão separados e têm a mesma designação do que no programa BIM. O GUID foi preservado e a escala foi respeitada. Os materiais foram exportados mas não na totalidade, havendo algumas falhas neste campo. As texturas foram armazenadas numa pasta criada automaticamente pelo programa de tratamento gráfico, podendo ser adicionadas manualmente ao correspondente material.

Os passos realizados no capítulo 4.3.2. referente ao aprofundamento deste *workflow* também foram seguidos neste caso de estudo.

5.2. METODOLOGIA

5.2.1. EXPORTAÇÃO DO PROJETO EM 2D PARA O REVIT

O projeto do Edifício G da FEUP foi fornecido em ficheiro *Drawing* (DWG) sob as formas de plantas e cortes.

A primeira ação a realizar no Revit será criar os pisos referentes a cada planta. Assim sendo, estudando o corte fornecido, chega-se à conclusão que os pisos estão distanciados de 3,5 metros e que a galeria técnica na cobertura tem uma altura de aproximadamente 3 metros.

Depois de se criar cada nível, tem que se colocar cada planta no correspondente piso utilizando o comando *Insert CAD* ou *Import CAD*. É essencial que as plantas estejam corretamente posicionadas umas em relação às outras. Para isso deve-se escolher um ponto comum em cada piso (por exemplo, a caixa de escadas ou a caixa de elevadores) e, a partir dessa posição, alinhar todas as plantas. A seguinte figura mostra as plantas em 3D já com a respectiva cota associada.

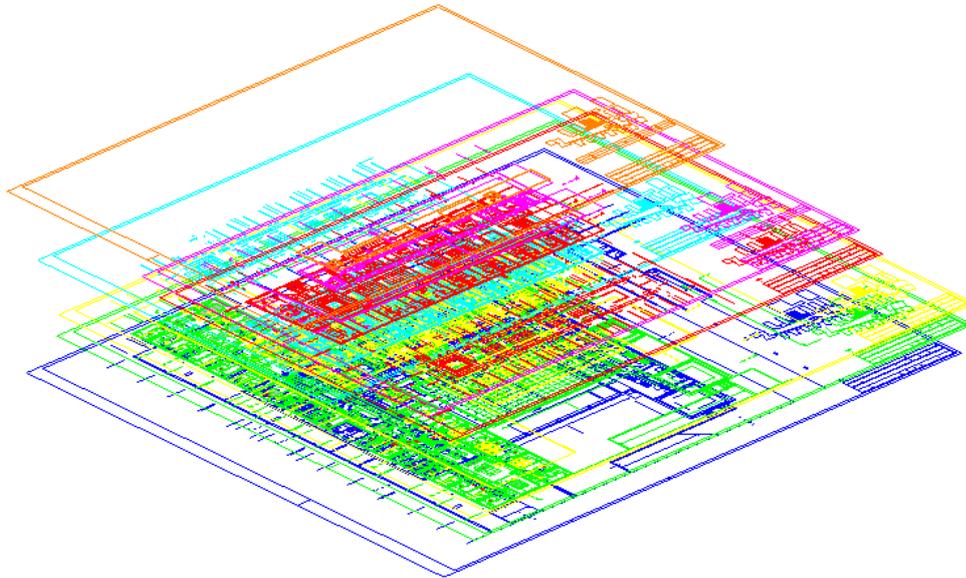


Figura 5.3 - Sobreposição das plantas com dimensão altura associada

5.2.2. CRIAÇÃO DOS ELEMENTOS DO PROJETO

Depois de se ter as plantas no respectivo piso, passa-se para a fase de construção dos elementos do edifício.

O AutoCAD trabalha em *layers*, em que cada *layer* está associado a um nome e a uma cor específica. Normalmente, os *layers* são divididos em diferentes elementos construtivos ou decorativos de modo a poder-se reconhecer ou retirar certas partes específicas do projeto. O Revit funciona de uma forma semelhante mas mais metódica. Cada elemento construtivo pertence a uma determinada categoria ou seja, todos os tipos de paredes ou todos os tipos de lajes estão agrupados no mesmo grupo pré-definido pelo programa. Para desenhar uma parede há que fazer referência que o elemento a construir é da categoria parede e não um retângulo com quatro linhas que mais tarde poderá ser associado ao *layer* Paredes como acontece no AutoCAD.

As categorias estão divididas em famílias. As famílias são elementos semelhantes mas que diferem na sua constituição, por exemplo, uma parede de betão armado e uma parede de tijolo são da mesma categoria (paredes) mas de diferentes famílias. Cada família possui diversos tipos. Os tipos são objetos semelhantes em termos funcionais e construtivos mas que diferem em algumas propriedades, normalmente as dimensões. Uma parede de betão armado de 200 mm e uma de 300 mm são da mesma categoria e família mas de tipos diferentes.

Convém agora falar um pouco sobre as propriedades dos objetos. As propriedades ou parâmetros, permitem editar as características dos elementos sem comprometer a forma ou função dos objetos, que se mantêm, portanto, consistentes. Estes parâmetros podem ser de instância ou de tipo. A diferença entre estes dois será que, enquanto os de instância afetam apenas os objetos selecionados e não a tota-

lidade dos objetos pertencentes ao mesmo tipo, os de tipo alteram, tal como o nome diz, todo os elementos pertencentes ao mesmo tipo. Por exemplo, a altura de uma parede é um parâmetro de instância, cada parede do mesmo tipo pode ter a sua própria altura mas, a espessura já um parâmetro de tipo pois, se se quiser alterar a espessura de uma parede tem que se criar um novo tipo para essa parede específica.

O Autodesk Revit, assim como os outros programas BIM, têm já algumas famílias e tipos pré-definidos mas, normalmente, não são suficientes para a realização de um projeto desta dimensão. Uma solução será modular uma família de raiz, criando as formas geométricas e os parâmetros do objeto partindo de *templates* do programa BIM como se verá no próximo ponto deste subcapítulo. Este processo é demorado e trabalhoso porque, para os parâmetros e propriedades do objeto modulado estarem a funcionar corretamente é preciso ter atenção a uma elevada quantidade de pormenores de relações geométricas. Outra solução será o recurso a plataformas virtuais *online* que sirvam de base de partilha de ficheiros BIM e, nessa biblioteca de ficheiros, encontrar um objeto semelhante ao requerido. Neste trabalho recorreu-se às seguintes bases de dados:

- Autodesk Seek;
- CAD Fórum;
- Revit City;
- BIM Stop.

Os elementos retirados destas bibliotecas foram mais arquitetónicos e visuais de forma a, mais tarde, analisar a adequação do projeto em termos de segurança e ensino. Elementos como andaimes, barreiras para-corpos, mobílias ou máquinas não existem incorporados no Revit 2013 e, seria desnecessário estar a modular esta quantidade toda de elementos, quando estes existem em locais *web* gratuitos.

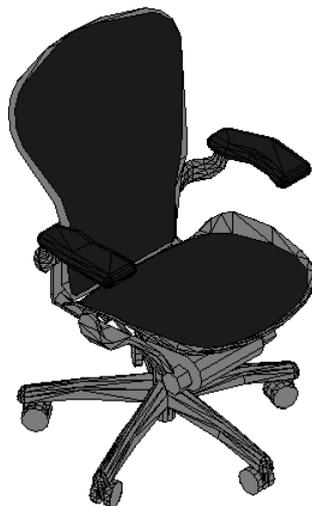


Figura 5.4 - Cadeira Aeron retirada da biblioteca Revit City

Para a construção dos elementos construtivos pode-se partir das famílias pré-definidas do Revit e, daí, criar novos tipos que correspondam às pretendidas no projeto. Como não há informação sobre os materiais do edifício recorreu-se sempre que possível aos elementos básicos do Revit. Estes elementos contêm, normalmente, apenas uma camada que preenche toda a espessura do correspondente objeto. Novamente, aqui existiram algumas dificuldades pois, sendo as plantas puramente arquitetónicas, algumas informações estruturais importantes não estavam disponíveis, como por exemplo, posiciona-

mento de pilares interiores ao edifício. As janelas, algumas portas, escadas e corrimões foram também feitas recorrendo a famílias do próprio Revit.

As paredes exteriores do piso 0 apresentam a particularidade de possuírem um acabamento em granito diferente de todas as outras paredes. Estes placares estão unidos à parede, tendo uma espessura muito simbólica (que não está representada nas plantas fornecidas, pelo que se vai adotar 1 centímetro), e a altura de 1 metro. Assim vai-se criar um novo tipo de parede da família *Basic Wall*, denominada de *Generic 280 mm (Com Acabamento)*, que conterà duas camadas, sendo que a mais exterior terá de ter o seu topo desbloqueado de modo a se poder variar a sua altura de forma independente em relação ao resto da parede.

Também para as paredes exteriores decidiu-se criar os seus próprios materiais, não usando o pré-definido pelo Revit. Assim, criou-se os materiais Acabamento Exterior (correspondente ao material da parede) e Granito (correspondente à placa de 1 metro de altura). De notar, que se podia ter adicionado vários parâmetros referentes a propriedades físicas e térmicas destes materiais mas não se fez por falta de informação e por não terem aplicação prática no presente trabalho. A cada um dos materiais foi adicionado uma textura (imagem) a partir de fotografias reais tiradas no local.



Figura 5.5 - Textura do Material Acabamento Exterior



Figura 5.6 - Textura do Material Granito

Para as restantes paredes exteriores também se realizou uma modificação. Para além de se associar a estas o respetivo acabamento exterior, criou-se uma camada de 1 centímetro de espessura na parte interior da parede para corresponder à pintura destas. Assim, quem está dentro do edifício vê uma parede branca, semelhante às restantes paredes divisórias e não uma parede com a textura da figura 5.5.

Nas paredes interiores não se fez qualquer alteração, apenas se mudou a cor do material *Default Wall* (material automaticamente associado às paredes) para a cor branca de forma as aproximar do que realmente existe.

Para além das paredes exteriores, também alguns dos pilares retangulares apresentam o mesmo acabamento do piso 0. Os pilares selecionados para este projeto foram os *M_Rectangular Column* e, nestes optou-se por editar a sua família criando uma extrusão de 1 centímetro de espessura para cada face do retângulo e criar um novo parâmetro chamado *Altura do Acabamento* que controla a distância entre o início do pilar e o fim do acabamento. Os pilares redondos não têm o acabamento em granito sendo que, nestes, apenas se associou o seu material estrutural ao material Acabamento Exterior, ficando assim com a textura correspondente.

Em relação às lajes, não se fez qualquer alteração estrutural, apenas se mudou a cor do material *Default Floor* para uma cor cinzenta. A laje que compõe o teto do piso 1 e do piso 4 tem um acabamento constituído em gravilha, bastante característico de todos os edifícios que compõem o campus da FEUP.

Será interessante então, colocar também esse acabamento nesta laje. Para tal vai-se proceder exatamente da mesma forma como se procedeu para as paredes, criando uma nova camada na laje associada ao novo material Gravilha, que contém uma textura (imagem) real de gravilha (figura 5.7).

O chão do exterior do DEC é constituído por calçada em paralelos de granito. O Revit trata esse chão como se fosse uma simples laje e, então, decidiu-se criar um novo material com a textura real para ser aplicada nesse mesmo objeto. Assim, criou-se o material Paralelos, em que a sua textura é uma fotografia do local, que se irá associar a este elemento construtivo.



Figura 5.7 - Textura do Material Gravilha



Figura 5.8 - Textura do Material Paralelos

As escadas exteriores do DEC, presentes entre este edifício e os edifícios F e I, são de difícil execução da parte do Revit através do comando *Stair*. Então, decidiu-se criar lajes sobrepostas com diferentes *offsets* em vez de escadas, obtendo-se desta forma, exatamente o mesmo efeito. Estas lajes não contêm os paralelos mas sim blocos de granito, dando-lhe um aspeto visual diferente do resto do chão. Associou-se assim às suas propriedades um material novo, manualmente criado, com o nome Escadas que, não conterà nenhuma textura mas sim uma cor acinzentada.

Todas as janelas presentes no projeto foram moduladas a partir da família *M_Fixed*. A estas, apenas se alterou as suas dimensões e os materiais das caixilharias para *Finishes – Paint – White*, usando então um material da própria biblioteca do Revit.

Para finalizar, as portas foram um caso especial porque usou-se um grande número de famílias diferentes. Como se verá no próximo ponto deste trabalho, decidiu-se usar a porta como um exemplo da possibilidade de modular objetos a partir do zero. Aproveitando a porta modulada, criou-se muitas portas diferentes com algumas pequenas alterações (como a abertura ou não da porta ou a forma do envidraçado). Também se usou portas retiradas de bibliotecas *online*. No entanto, todas as portas terão o mesmo material. Na parte de vidro usou-se, naturalmente, *Glass* e, para a sua restante constituição criou-se um novo material chamado Portas, em que a única característica que tem é a sua cor ser totalmente branca.

A seguinte tabela faz um resumo dos materiais utilizados neste modelo, incluindo o nome da sua textura e a cor associada.

Tabela 5.1 - Principais famílias, tipos, materiais, texturas e cores utilizados no modelo

Elementos Construtivos	Família	Tipo	Material	Textura	Cor
Paredes Exteriores Piso 0	Basic Wall	Generic 280 mm (Com Acabamento)	Acabamento Exterior; Granito	Textura Acabamento Exterior; Textura Granito	RGB 192 192 192; RGB 216 216 216
Paredes Exteriores	Basic Wall	Generic 280 mm (Com Camada Interior)	Acabamento Exterior; Default Wall	Textura Acabamento Exterior	RGB 192 192 192; RGB 255 255 255
Paredes Interiores	Basic Wall	Generic [Vários]	Default Wall	-	RGB 255 255 255
Pilares Retangulares	M_Rectangular Column (Modificado)	280 x 700 mm	Acabamento Exterior; Granito	Textura Acabamento Exterior; Textura Granito	RGB 192 192 192; RGB 216 216 217
Pilares Redondos	Concrete-Round-Column	400 mm	Acabamento Exterior	Textura Acabamento Exterior	RGB 192 192 192
Lajes	Floor	Generic 150 mm	Default Floor	-	RGB 127 127 127
Laje do Teto do Piso 1 e do Piso 4	Floor, Generic 150 mm (Com Acabamento)	Generic 150 mm (Com Acabamento)	By Category; Gravelha	Textura Gravelha	RGB 255 128 0
Laje Exterior Piso 0	Floor, Generic 150 mm (Com Paralelos)	Generic 150 mm (Com Paralelos)	Paralelos	Textura Paralelos	RGB 80 80 80
Escadas Exteriores	Floor	Generic 175 mm	Escadas	-	RGB 196 196 196
Janelas	M_Fixed	[Vários]	Finishes - Paint - White	-	RGB 217 217 204
Portas	[Várias]	[Vários]	Portas	-	RGB 255 255 255

Na seguinte imagem é possível observar uma vista geral do edifício G modelado em Revit com que se vai continuar o trabalho.

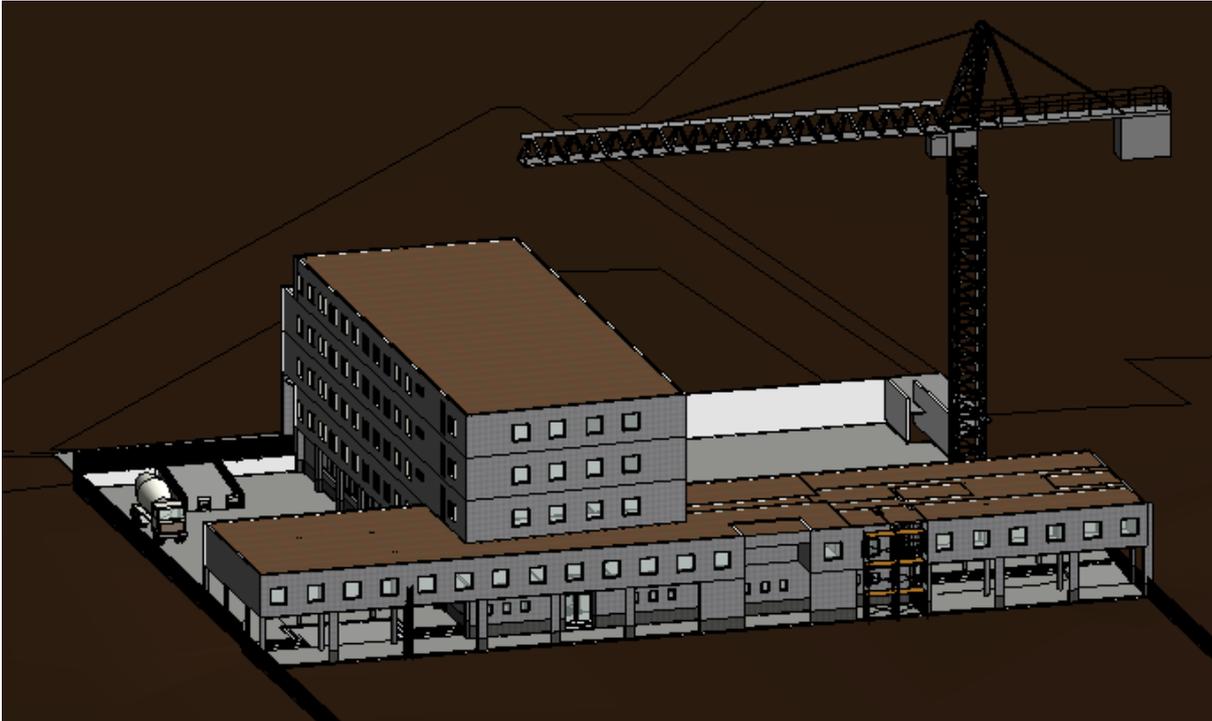


Figura 5.9 - Edifício G modelado em Revit

5.2.3. MODELAÇÃO DE OBJETOS

Os elementos no Revit organizam-se de forma hierárquica em categorias, famílias e tipos. Cada categoria de objetos (por exemplo, portas) pode possuir várias famílias (porta de uma folha, porta dupla, etc.), que por sua vez, têm pré-definidos alguns tipos, que normalmente configuram dimensões típicas (porta de 800, 900 ou 1000 mm de largura).

Existem várias famílias pré-definidas no Revit e a *web* apresenta-se como uma enorme biblioteca aberta destes ficheiros. No entanto, nem sempre se encontra aquilo desejado e então, será preciso construir de raiz um elemento construtivo de acordo com o pretendido.

Neste trabalho decidiu-se usar grande parte de elementos já pré-definidos ou de bibliotecas *online* mas, para servir de exemplo, criou-se uma porta de raiz.

A porta original será uma porta de madeira com 6 painéis de vidro localizada no Piso 0 do edifício G como mostra a seguinte figura.



Figura 5.10 - Porta a modular

Para a construir deve-se primeiro criar uma nova família e utilizar um *template* do Revit para portas, neste caso, o *Metric Door*. Este *template*, é originalmente constituído por um buraco na parede e uma caixilharia a ele associada.

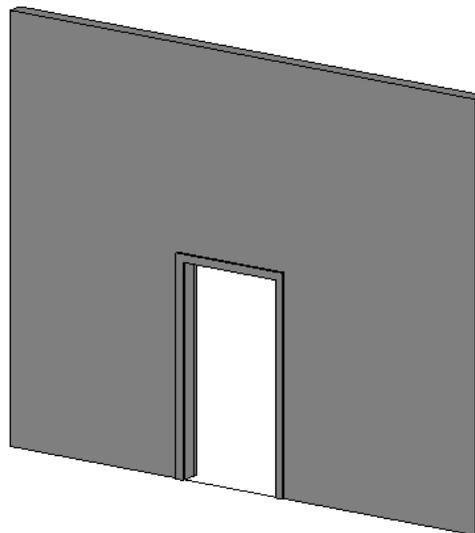


Figura 5.11 - *Template Metric Door* para a modelação de portas

Em seguida, deve-se criar planos de referência tendo em conta a forma da futura porta. Como este elemento será simétrico na sua largura e será duas vezes simétrico na sua altura, vai-se criar os seguintes planos para ser mais fácil e rápido a sua construção. De notar que os planos estão afastados entre si pela mesma distância, facto confirmado com a utilização do comando EQ.

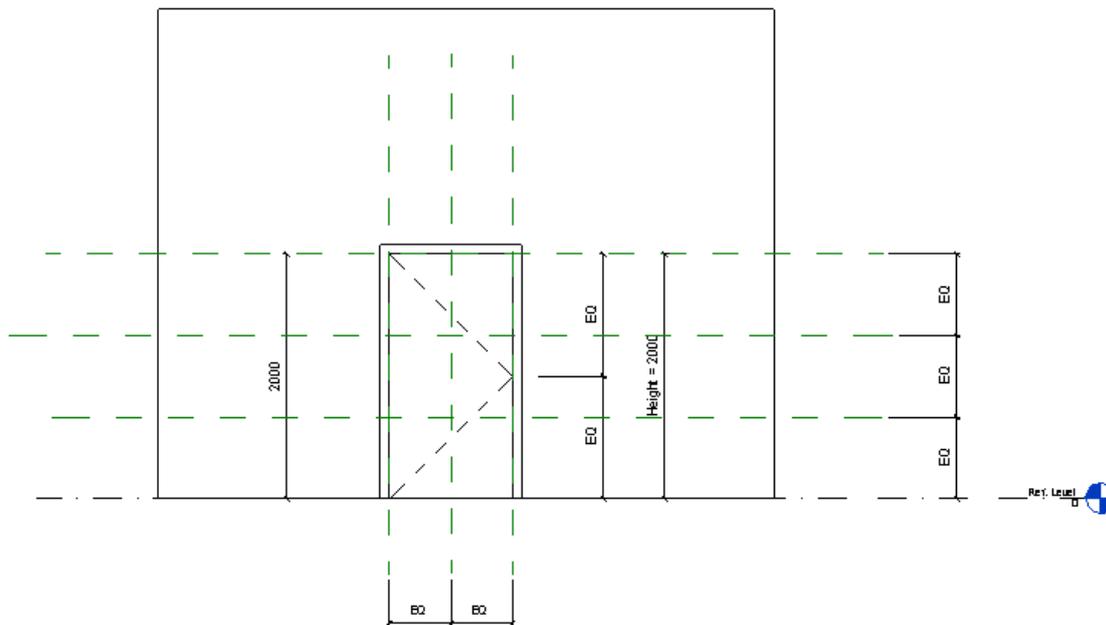


Figura 5.12 - Planos de referência do projeto da porta

Deve-se então proceder à criação da porta. A porta será uma extrusão que preencherá toda a abertura na parede. Recorrendo à função *extrusion* desenha-se, em planta, o retângulo correspondente à espessura da porta e dá-se em seguida a altura total da abertura, neste caso 2000 mm. Depois, abrem-se buracos na porta com o comando *void*, que serão os espaços onde estarão os vidros e preenche-se tais vazios recorrendo novamente ao comando *extrusion* mas, desta vez, usando uma subcategoria de vidro (*glass*) nos dados de entidade (*identity data*). A largura e espessura a dar a cada um destes enviaçados é, como já se referiu, definida em corte e a altura é definida nos parâmetros *extrusion start* e *extrusion end* gerados automaticamente quando se cria um *void* ou *extrusion*. Para o desenho ficar mais completo de uma forma mais precisa e rápida, basta realizar cada passo destes uma vez e, de seguida, fazer simetrias através dos planos de referência criados anteriormente. Pode-se também escolher já um material para a porta nas suas propriedades, que aparecem quando se seleciona a correspondente extrusão e, assim, mudá-lo para que este não esteja associado ao material pré-definido pela sua categoria.

Deve-se agora criar algumas linhas de anotação para fazer referência ao raio de abertura da porta. Para tal basta abrir o separador *annotate* e criar linhas simbólicas (*symbolic lines*) com a forma de um quarto de arco com o mesmo raio que o comprimento da porta.

O próximo passo será criar os puxadores. Estes objetos são compostos por duas circunferências, uma para o próprio puxador e outra para a chave e, para os inserir na porta, tem que se criar uma nova família a partir de um *template* que se ache conveniente. Neste caso decidiu-se começar do zero, escolhendo um modelo aleatório e apagando todas as predefinições que lá existiam. Então, a primeira ação a realizar será criar os pretendentes planos de referência. Como o puxador não deverá sofrer alterações de porta em porta, deverá ter, sempre as mesmas dimensões, não sendo necessário criar parâmetros

para regular o seu tamanho. Com isto, a sua criação passará apenas por criar duas extrusões circulares e, de seguida criar a maçaneta da porta através do comando *sweep*, dando-lhe um formato circular. Por fim, modula-se o orifício da chave através de uma nova extrusão, ficando com a seguinte forma.

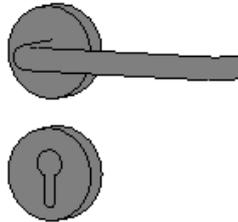


Figura 5.13 - Pormenor do puxador e da fechadura da porta

Finalizado o puxador, deve-se salvá-lo e carregá-lo para ambiente de trabalho da porta colocando-o no local pretendido.

Não sendo essencial neste caso, mas podendo ser na criação de outros objetos, convém fazer uma referência aos parâmetros. Os parâmetros dividem-se em *instance parameters* (afetam apenas um objeto específico) e *type parameteres* (afetam todo um tipo de uma família). Quando se edita uma família e se cria um parâmetro, está-se a referir a um *type parameter*. O *template* da porta vem já com dois destes parâmetros incluídos, a altura e a largura. Como foi colocado um puxador vai-se criar um novo parâmetro para regular a distância deste até ao limite lateral da porta. Para tal basta fazer uma *aligned dimension* entre a distância do centro do puxador até ao fim da porta e, em seguida, bloquear tal medida. Ao seleccionar esta distância surgirá a *status bar* que terá uma componente *label*. Lá, escolhe-se a opção *add parameter* e dá-se um nome a esse novo parâmetro que, neste caso, será Distância Puxador Parede.

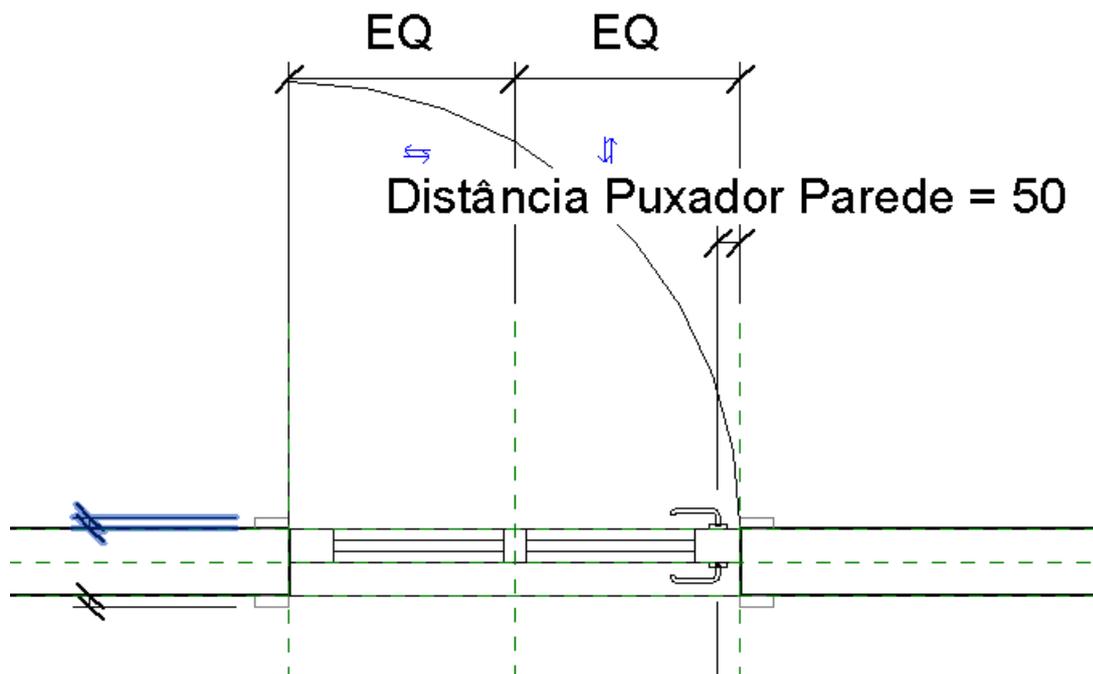


Figura 5.14 - Parâmetro que controla a distância entre o puxador e a parede

Agora que se tem o parâmetro criado, ele estará disponível para ser alterado mesmo no modelo do edifício quando a porta for lá colocada, não tendo que se alterar toda a correspondente família mas apenas o respetivo tipo. Para criar diferentes tipos, o melhor a fazer será duplicar um tipo existente, renomeá-lo e alterar os parâmetros desejados.

Outro parâmetro importante de trazer para o modelo do edifício será o material da porta. Para se poder editá-lo, sem se entrar no modo de edição de família, basta selecionar a extrusão da porta e, nas propriedades, mais precisamente na secção *Materials and Finishes*, carregar na opção *Associate Family Parameter* e, em seguida, depois de se escolher o nome do parâmetro (neste caso, *Material*), finalizar a operação escolhendo *Add Parameter*.

Estão agora reunidas todas as condições necessárias para se exportar a porta para o projeto. Antes, deve-se apenas certificar que algumas das relações posicionais da família da porta estão ou não bloqueadas, ou seja, deve-se bloquear o puxador da porta a uma distância específica do fim da porta de forma a manter essa distância constante independentemente do comprimento desta, senão, quando se muda as dimensões da porta, o puxador continuaria na mesma posição original sem se mover e ficaria então, no meio desta. Por outro lado, os espaços e os vidros não se devem bloquear pois interessa que estes aumentem na mesma proporção que a porta aumenta, ou seja, quanto mais larga for a porta maiores serão os vidros.

O aspeto final da porta, já no edifício terá então a seguinte imagem.



Figura 5.15 - Porta modulada

Ao longo do resto do projeto, outras portas foram moduladas a partir de esta, por não se encontrar objetos semelhantes nas bibliotecas públicas.

5.2.4. EXPORTAÇÃO PARA O MOTOR DE JOGO

Tendo o modelo BIM pronto, vai-se proceder à sua exportação para o motor de jogo. Como já foi referido, o *workflow* escolhido faz o modelo chegar ao Unity 4 passando pelo programa de tratamento gráfico 3ds Max, sempre em formato FBX, sendo a escala convertida de pés para polegadas na primeira exportação e de polegadas para metros na segunda exportação.

No Unity vai-se criar um novo projeto intitulado de Caso de Estudo importando os *packages* referentes ao *Character Controller*, *Skyboxes* e *Standard Assets (Mobile)*. De seguida coloca-se o ficheiro FBX final e a pasta *.fbm* nos *assets* do projeto, alterando o fator de escala do modelo de 0,01 para 1 de forma a obter-se a escala de pretendida, e seleciona-se a opção *Generate Colliders* para que os elementos do projeto ganhem massa, impedindo o jogador de os atravessar.

Agora, vai-se associar cada material à respetiva textura presente na pasta *.fbm*. Tal como foi referido no capítulo 4 da presente tese, lembra-se que a exportação não é perfeita havendo falta de alguns materiais, entre eles o material que compõe o terreno e, para remediar esta situação, vai-se criar um novo material chamado *Earth*, fornecendo-lhe a textura correspondente e associando-o ao elemento *Surface*.

O modelo está, então, pronto para ser levado para o separador *Hierarchy* e assim ser introduzido no jogo. Convém ainda eliminar a *Main Camera* desse mesmo separador, que é uma câmara automática do Unity que não terá qualquer uso neste projeto e que poderá até, interferir com a personagem de jogo.

A primeira coisa que se nota depois do modelo estar introduzido no jogo é que há muitos elementos que não estão associados ao correspondente material. A razão desta falha é desconhecida, no entanto, pode-se, em alguns casos, associar manualmente cada objeto ao respetivo material, por exemplo, arrastando o material Paralelos para as propriedades das lajes exteriores do piso 0.

De seguida pode-se realizar a colocação de céu no projeto através de uma *skybox* e de uma *directional light* para substituir o Sol.



Figura 5.16 - Edifício G inserido no motor de jogo

Agora que o aspeto visual está tratado, vai-se adicionar o *First Person Controller* que é a representação do utilizador no jogo.

Com isto, o modelo fica pronto a ser percorrido e jogado pelo utilizador.

5.2.5. ADAPTAÇÃO DO PROJETO PARA INTERFACES TRIDIMENSIONAIS

Após o jogo estar pronto a ser utilizado, vai-se criar uma interface através da *web*, mais precisamente, através do serviço de armazenamento de arquivos Dropbox, e torná-lo acessível a qualquer pessoa desde que este tenha ligação à internet. O Unity tem a capacidade de gerar automaticamente, a página HTML onde estará o jogo (como se viu no capítulo 4). Depois de gerada, vai-se partilhar essa página através da Dropbox e assim, o *link* do ficheiro fará correr este jogo, estando assim, a interface criada e pronta a ser utilizada.



Figura 5.17 - Visualização do edifício G através de um *website*

Sendo o objetivo do presente trabalho estudar a exportação de modelos BIM para aplicações em interfaces tridimensionais, não é do maior interesse que o projeto BIM seja completamente criado com total pormenorização do edifício. Então, como este projeto apresenta uma certa complexidade e devido à limitação de tempo de execução da presente dissertação, decidiu-se modular apenas parte do edifício, limitando a mobilidade do jogador no projeto com a colocação de vedações em alguns pontos específicos. Assim, vai-se criar um interface do tipo *walkthrough* (passo a passo) com o objetivo de o jogador ver as potencialidades desta tecnologia ao longo que a percorre.

Para quem estiver familiarizado com o edifício, o caminho recomendado a percorrer será:

1. Dirigir-se ao coberto que está situado entre o edifício G (Departamento de Engenharia Civil) e o edifício F (Departamento de Minas e Metalurgia, não representado no projeto);
2. Neste coberto, observar uma aplicação deste interface direcionada para o ensino;
3. Em seguida, dirigir-se para o Edifício G recorrendo à porta aberta situada nesse coberto, que dá acesso às escadas de emergência;
4. Subir as escadas até ao Piso 1 e dirigir-se ao átrio onde estão os elevadores;
5. Dirigir-se para a abertura na parede do lado direito e seguir o corredor até se atingir as zonas dos gabinetes dos professores;
6. Virar à direita e entrar na sala G148 onde se poderá observar uma sala normalmente mobilada;
7. Seguir para a sala seguinte, G147, onde se poderá ver uma sala em obras, observando uma aplicação desta interface direcionado para a segurança.

Este caminho está representado em imagens no Anexo III deste trabalho.

5.2.6. APLICAÇÃO DO JOGO PARA ENSINO

Como se falou no capítulo 3, importa explorar que aplicações podem ter a cooperação de BIM e de motores de jogo sob o ponto de vista de ensino e aprendizagem.

No Autodesk Revit 2013 decidiu-se colocar armaduras num pilar exterior e de seguida torná-lo invisível, de modo a que se possa ver com pormenor as disposições dos varões e as amarrações dos estribos. Este programa BIM, com a aplicação de uma extensão da própria Autodesk, cria automaticamente os varões desejados e coloca-os na posição correta, sendo preciso apenas selecionar alguns parâmetros da armação como diâmetros, material, espaçamento ou número de varões. Para completar a informação visual do Revit, decidiu-se colocar uma mensagem com os diâmetros dos varões no motor de jogo, que aparece quando o FPC se aproxima das armaduras, como mostra a figura 5.16. Para este efeito foi criado um *script* em JavaScript, aplicado a um cubo invisível que se encontra à volta destes elementos, que envia a mensagem pretendida para o centro do ecrã quando há contacto entre a personagem e o tal cubo.

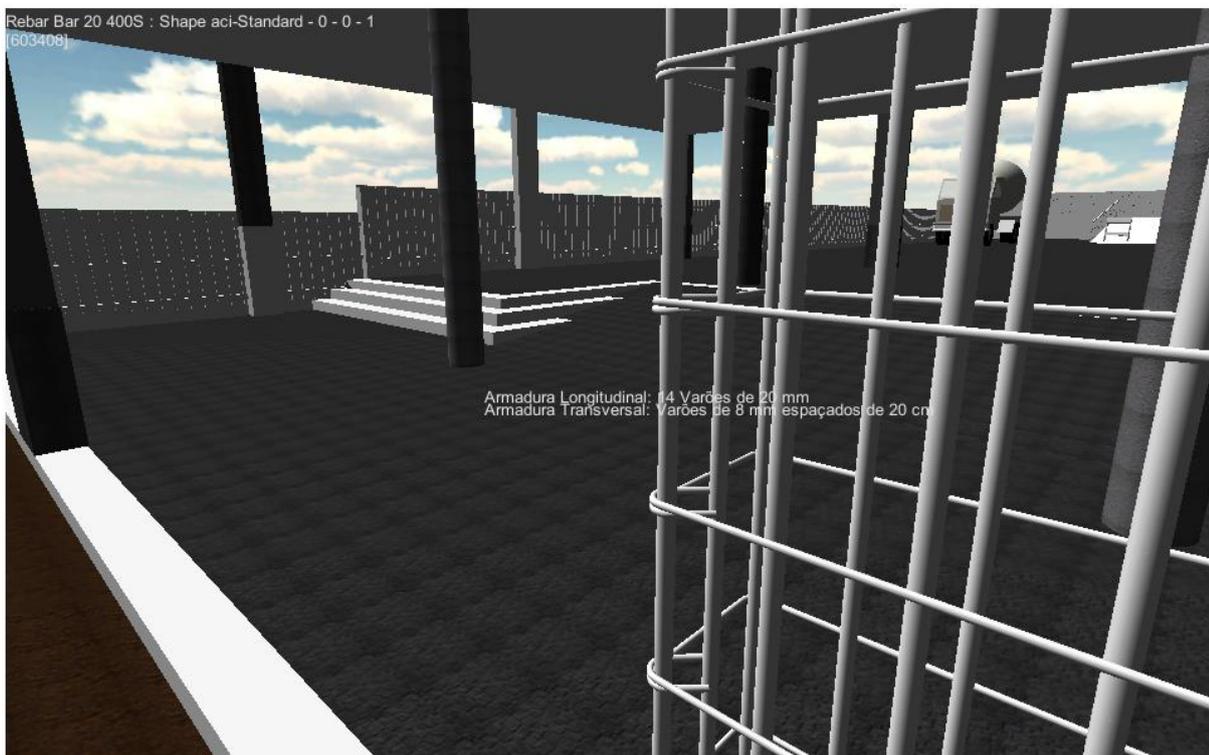


Figura 5.18 - Armaduras de um pilar com pormenor da amarração e informação do diâmetro da armação

Colocando-se na posição de um professor que quer mostrar um exemplo de disposição de armaduras, é bastante útil que o modelo BIM se encontre numa plataforma de fácil acesso pelos estudantes, neste caso, um *site* de internet. Assim, a informação criada num programa BIM chegará aos destinatários sem que estes precisem de dominar ou sequer de adquirir o programa de origem, bastando apenas percorrer o jogo que contém o modelo.

5.2.7. APLICAÇÃO DO JOGO PARA SEGURANÇA

Seguindo novamente as ideias apresentadas no capítulo 3, vai-se agora fazer uma aplicação deste modelo da FEUP para a segurança em obra.

Para tal, vai-se imaginar que a sala G147 está em obras e que se pretende substituir a fachada desta, sendo que a sua parede para o exterior está destruída. Assim, no Revit, colocou-se alguns equipamentos de segurança retirados de bibliotecas de famílias *online* e no Unity colocou-se mensagens de alerta que aparecem quando o FPC se aproxima do perigo de queda, criadas através do mesmo *script* que foi usado para o ensino.

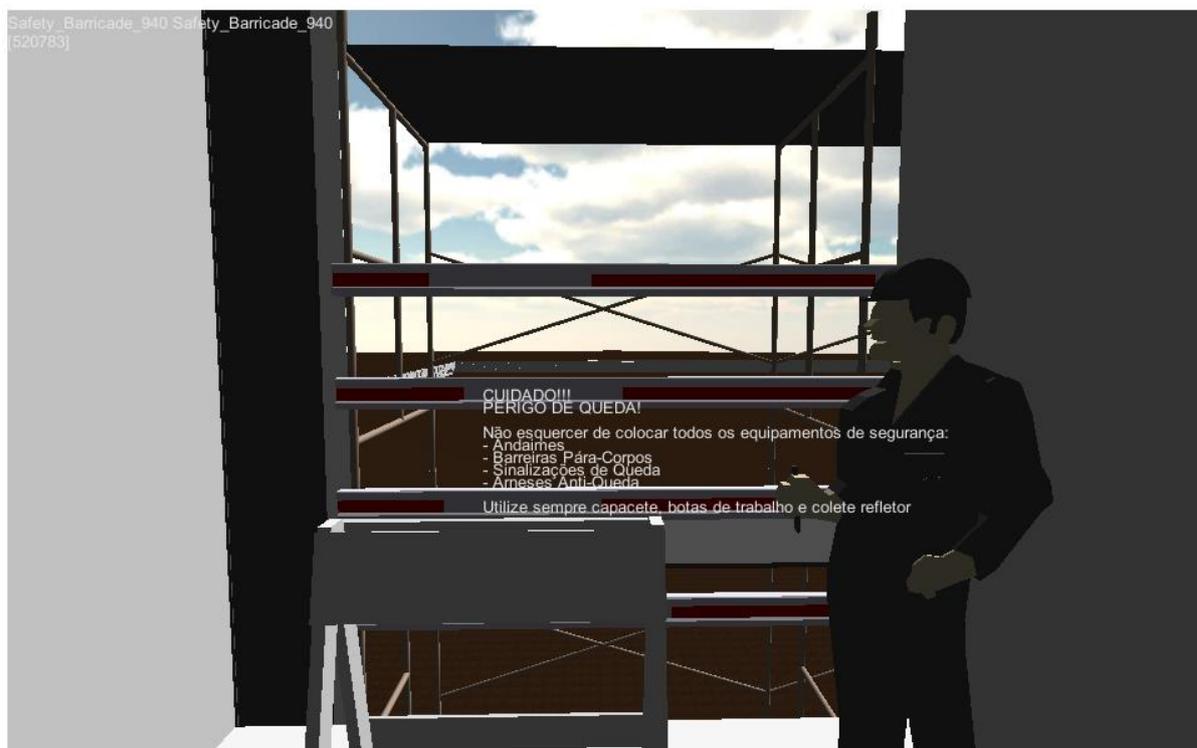


Figura 5.19 - Elementos de segurança aplicados na sala G147 do modelo do edifício G

O modelo BIM associado ao motor de jogo beneficia a segurança em dois sentidos. Um deles será que é muito fácil fornecer aos trabalhadores imagens da futura construção e dos equipamentos que se devem colocar no local da intervenção. As imagens funcionam bastante bem e, ter uma imagem do que está montado e do que falta montar é uma boa maneira de reduzir lapsos. As mensagens de perigo serão bastante úteis principalmente se o jogo estiver aplicado em dispositivos móveis com realidade aumentada ou virtual. Como já se referiu, o uso destes dispositivos aumenta o risco de queda em altura devido ao facto da atenção do utilizador estar em grande parte no aparelho e não na realidade mas, se o modelo estiver bem sincronizado com o mundo real, as mensagens servirão para alertar algum perigo iminente, como neste caso, o perigo de cair de uma altura de cerca de 4 metros. Também, o acesso a modelos Revit aplicados a *websites* através de motores de jogos é simples e de fácil compreensão para qualquer utilizador e, assim, o modelo fica disponível para qualquer interveniente na obra a partir de uma plataforma leve e universal.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES FINAIS

A presente dissertação teve como principal objetivo fazer uma primeira aproximação entre modelos BIM e motores de jogo de forma a criar interfaces tridimensionais com aplicações móveis.

A tecnologia da informação tem evoluído bastante nos últimos anos e cabe à indústria da construção acompanhar essa evolução em prol do aumento da qualidade e da produtividade dos processos construtivos. O BIM apresenta-se como a tecnologia de modelação de edifícios do presente e do futuro, tendo a sua implementação crescido bastante nos últimos anos. Aliando estes modelos a motores de jogo é possível criar interfaces tridimensionais simples e de fácil acesso, disponibilizando o modelo a terceiros que podem até nem dominar tecnologias deste tipo. Vários autores exploraram já as potencialidades da associação da tecnologia BIM com a Realidade Aumentada, chegando à conclusão que esta união poderá trazer vantagens se for corretamente aplicada.

De seguida, realizou-se um estudo empírico em que se foi explorado diferentes caminhos de transferibilidade de um modelo BIM até a um motor de jogo. Os parâmetros destes modelos considerados mais importantes para se salvaguardarem durante os diversos fluxos de trabalho foram:

- Imagem;
- Escala;
- Materiais e Texturas;
- GUID.

Os fluxos de trabalho fizeram-se com origem num programa BIM e destino num motor de jogo podendo ou não haver recurso a programas intermédios de tratamento gráfico. Foram testados 36 processos diferentes, alternando as ferramentas utilizadas e os tipos de ficheiros usados nas exportações. Não se obteve total sucesso em nenhum dos fluxos de trabalho mas, houve resultados bastante mais satisfatórios do que outros. O processo 3, em que se utilizou o programa Autodesk Revit 2013, o programa 3ds Max 2013 e o motor de jogo Unity 4, utilizando sempre ficheiros em formato FBX, foi o que apresentou melhores resultados. Assim, decidiu-se aprofundar este processo, chegando-se à conclusão que há informações importantes que são perdidas logo na primeira exportação, do programa BIM para o programa de tratamento gráfico o que leva a crer que, grande parte da interoperabilidade entre estes programas acontece logo na sua origem, ou seja, no programa modelador.

De seguida, realizou-se uma descrição detalhada da criação de um jogo, explorando também outras potencialidades deste *software* como por exemplo, a criação de *scripts* para aumentar as funcionalidades do jogador. Procedeu-se então à criação de uma interface em ambiente *web* que foi bem sucedido. Existiu, ainda, a tentativa de se criar aplicações do modelo para *smartphones* em sistema operativo Android. No entanto, neste trabalho, apesar de se saber que é possível a sua realização, não se conse-

guiu atingir esse objetivo por uma razão desconhecida, que pode envolver tanto o aparelho móvel usado como o programa informático que criou o ficheiro de instalação desta aplicação.

No último capítulo realizou-se uma aplicação da metodologia adotada ao edifício G da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O edifício teve de ser modulado de raiz a partir de plantas arquitetónicas. Devido à complexidade e tamanho do caso de estudo, decidiu-se criar uma interface em estilo de passo a passo, sugerindo ao jogador percorrer um caminho específico onde a modelação foi realizada com mais pormenorização. De um ponto de vista geral, obteve-se sucesso na colocação do modelo numa interface *web* contudo, existiram algumas texturas e materiais que não o acompanharam. A utilização de *scripts* provou ser, novamente, de grande utilidade na introdução de informações adicionais ao modelo.

As aplicações desta tecnologia em segurança e em ensino são abordadas tanto no capítulo 3 como no caso de estudo. De um ponto geral, os modelos BIM podem trazer consequências positivas tanto na segurança na medida em que disponibilizam imagens 3D bastante detalhadas passíveis de serem usadas tanto em obra pelos operários, dando indicações sobre como e quais os elementos de segurança a colocar, como no ensino, mostrando pormenorizações de questões técnicas dos edifícios. No caso de estudo, aliou-se o projeto BIM à linguagem de *script* para trazer para o modelo informações extra sobre propriedades construtivas de uma armadura, e para colocar alertas de segurança em situações que possam envolver perigo.

De uma forma geral, os BIM são programas complexos e pesados com inúmeras aplicações na indústria AEC. Devido a estes programas não estarem ainda suficientemente divulgados, a sua utilização ainda não está generalizada havendo muitos intervenientes que sejam estranhos a estes. No entanto, com a recorrência a motores de jogos é possível a criação de interfaces simples que sejam acessíveis a quaisquer indivíduos num processo construtivo.

6.2. PERSPETIVAS FUTURAS

Sendo este trabalho uma abordagem inicial à exportação de modelos BIM para interfaces tridimensionais para aplicações móveis, chegou-se à conclusão que há muito trabalho a desenvolver sobre este tema.

Numa primeira instância, os programas BIM devem melhorar as capacidades de exportação dos seus modelos. Verificou-se que algumas informações importantes dos elementos do edifício se perderam no momento em que este saiu do programa de modelação.

Por outro lado, na opinião da presente tese, devia-se desenvolver também um tipo de ficheiro único a usar em todos estes processos que seja compatível tanto com programas BIM como em motores de jogo pois, com a alteração do tipo de ficheiros no meio do fluxo de trabalho, a probabilidade de se perder informação será maior.

A falta de tutoriais oficiais realizados da parte das entidades relacionadas com estes *software* também dificulta a transferibilidade dos modelos pois, com o aparecimento de dúvidas nos processos do estudo empírico teve-se que recorrer quase sempre a fóruns públicos que, muitas vezes, traziam informações erradas ou incompletas.

De um ponto de vista mais teórico, o BIM, apesar de estar em crescimento, ainda está pouco divulgado, não sendo uma ferramenta de utilização comum em todos os intervenientes do projeto nem no ensino da engenharia civil. Visto que as previsões apontam para que, brevemente, a sua utilização se expanda ainda mais, a sua implementação deve começar a ser feita hoje, de uma forma mais forte e constante.

BIBLIOGRAFIA

- ACT - Acidentes de trabalho mortais objeto de inquérito pelos inspetores do trabalho. 2013. Consult. em Maio de 2013. Disponível em WWW: <[http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/default.aspx](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/default.aspx)>.
- Allen, Bruce S; Dunalvey, Michael R; King, Bruce A; DuPrie, Harold J; Hudnall, Richard E; Lapidus, Stanely N; Gilbert, Daniel R; Carlson, Anne M; Thakrar, Kiran; Doig, Robert C - Man machine interface. Google Patents, 1986.
- Autodesk - Comprehensive 3D animation software. Consult. em Abril 2013. Disponível em WWW: <<http://www.autodesk.com/products/autodesk-maya/overview>>.
- Autodesk - History of Autodesk 3ds Max. Consult. em Abril 2013. Disponível em WWW: <<http://area.autodesk.com/maxturns20/history>>.
- Autodesk - Multi-user Collaboration with Autodesk Revit Worksharing. (2005). Consult. em Fevereiro 2013. Disponível em WWW: <http://images.autodesk.com/apac_grtrchina_main/files/aec_customer_story_en_v20.pdf>.
- Autodesk - 3D Modeling And Animation Software. 2013. Consult. em Abril 2013. Disponível em WWW: <<http://www.autodesk.com/products/autodesk-3ds-max/overview>>.
- AutodeskSeek - Consult. em Maio de 2013. Disponível em WWW: <<http://seek.autodesk.com/>>.
- Azuma, Ronald T - A survey of augmented reality. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*. Vol. 6. n.º 4 (1997). p. 355-385. 1054-7460
- Bergin, Michael S. - A Brief History Of BIM. (2012). Consult. em Março 2013. Disponível em WWW: <<http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/>>.
- BIMStop - Manufacturer specific BIM content and more. Consult. em Maio de 2013. Disponível em WWW: <<http://www.bimstop.com/>>.
- Björk, Bo-Christer - Information Technology in Construction—domain definition and research issues. *International Journal*. Vol. 1. n.º 1 (1999). p. 3-16.
- Blaauw, Gerrit A.; Frederick P. Brooks, Jr. - Computer Architecture: Concepts and Evolution. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1997. 0201105578
- Blog, The 3D Ninja - Distance Tool For Unity 3D. 2011. Consult. em Março de 2013. Disponível em WWW: <<http://the3dninja.com/blog/?p=1104>>.
- CADFórum - CAD Tips, Tricks, Discussion and Blocks. Consult. em Maio de 2013. Disponível em WWW: <<http://www.cadforum.cz/>>.
- CGSociety - Autodesk to acquire Alias for \$182 million cash. (2005). Consult. em Março 2013. Disponível em WWW: <http://www.cgsociety.org/index.php/CGSFeatures/CGSFeatureSpecial/autodesk_to_acquire_alias_for_182_million_cash>.

- Cheng, Tao; Teizer, Jochen - Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications. *Automation in Construction*. (2012). 0926-5805
- Clevenger, Caroline M; Ozbek, M; Glick, Scott; Porter, Dale - Integrating BIM into Construction Management Education. The BIM Related Academic Workshop Conference: 2010.
- Clockstone - FBX Viewer. 2011. Consult. em Abril 2013. Disponível em WWW: <<http://fbx.clockstone.com/>>.
- Code, Construction - BIM Objects from Manufacturers. 2013. Consult. em Fevereiro 2013. Disponível em WWW: <<http://constructioncode.blogspot.co.uk/2013/01/bim-objects-from-manufacturers.html>>.
- Committee, The National Building Information Model Standard Project - What Is Bim? 2012. Consult. em Fevereiro 2013. Disponível em WWW: <<http://www.buildingsmartalliance.org/index.php/nbims/faq/#faq1>>.
- Construction, McGraw-Hill - The business value of BIM in North America: multi-year trend analysis and user ratings (2007-2012). Smart Market Report. New York: McGraw-Hill, 2012. Disponível em WWW: <http://images.autodesk.com/adsk/files/mhc_business_value_of_bim_in_north_america_2007-2012_smr.pdf>.
- de Menezes, Alexandre Monteiro; Viana, Maria de Lourdes Silva; Junior, Mário Lucio Pereira; Palhares, Sérgio Ricardo - A adequação (ou não) dos aplicativos BIM às teorias contemporâneas de ensino de projeto de edificações. SIGRADI Conference: 2010.
- Doran, John Preston; Gatzidis, Christos - UDK iPhone Game, Development Beginners Guide. Packt Publishing Ltd, 2012. 1849691908
- Eastman, C.M. - BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. John Wiley & Sons, 2008. 9780470185285
- Editora, Porto - Dicionário Editora da Língua Portuguesa 2009–Acordo Ortográfico. 2009.
- Fitzsimmons, James A.; Fitzsimmons, Mona J. - Service management operations, strategy, information technology. Boston [etc.]: McGraw Hill, 2008. 978-007-126346-7
- GEP - Acidentes de Trabalho. (2010). Consult. em Maio 2013. Disponível em WWW: <<http://www.gep.msss.gov.pt/estatistica/acidentes/at2010sintese.pdf>>.
- Goldstone, Will - Unity 3. x Game Development Essentials. Packt Pub Limited, 2011. 1849691444
- Gu, Ning; London, Kerry - Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in construction*. Vol. 19. n.º 8 (2010). p. 988-999. 0926-5805
- Guide, Associated General Contractors - AGC Contractors' Guide to BIM. 1. AGC Of America, 2006.
- Hakkarainen, Mika; Woodward, Charles; Rainio, Kari - Software architecture for mobile mixed reality and 4D BIM interaction. 2009.
- Haslam, RA; Hide, SA; Gibb, Alistair GF; Gyi, Diane E; Pavitt, Trevor; Atkinson, Sarah; Duff, AR - Contributing factors in construction accidents. *Applied Ergonomics*. Vol. 36. n.º 4 (2005). p. 401-415. 0003-6870

- Herwig, Adrian; Paar, Philip - Game engines: tools for landscape visualization and planning. *Trends in GIS and Virtualization in Environmental Planning and Design*. (2002). p. 161-172.
- Izkara, José Luis; Pérez, Juan; Basogain, Xabier; Borro, Diego - Mobile augmented reality, an advanced tool for the construction sector. Citeseer, 2007.
- Jiao, Yi; Zhang, Shaohua; Li, Yongkui; Wang, Yinghui; Yang, BaoMing - Towards cloud Augmented Reality for construction application by BIM and SNS integration. *Automation in Construction*. Disponível em WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580512001707>>. 0926-5805
- Lewis, Michael; Jacobson, Jeffrey - Game Engines. *Communications of the ACM*. Vol. 45. n.º 1 (2002). p. 27.
- Martins, João Pedro da Silva Poças - Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção, Aplicação ao Licenciamento Automático de Projectos. Universidade do Porto, 2009.
- Melzner, Jürgen; Zhang, Sijie; Teizer, Jochen; Bargstädt, Hans-Joachim - A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. *Construction Management and Economics*. n.º ahead-of-print (2013). p. 1-14. 0144-6193
- Messner, John; Anumba, Chimay; Leicht, Robert; Kreider, Ralph; Ramesh, Ashwin; Nulton, Eric - BIM: Planning Guide For Facility Owners. The Pennsylvania State University, 2012.
- Microsoft - GUID Structure. Consult. em Março 2013. Disponível em WWW: <[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa373931\(VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa373931(VS.85).aspx)>.
- ModDB - 100 Most Popular Engines Today. Consult. em Maio 2013. Disponível em WWW: <<http://www.moddb.com/engines/top>>.
- Oliveira, Mário António Pinho de - Conflitos em empreitadas de construção : causas, consequências e soluções. Universidade do Porto, 2008.
- Ousterhout, John K - Scripting: Higher level programming for the 21st century. *Computer*. Vol. 31. n.º 3 (1998). p. 23-30. Disponível em WWW: <<http://www.tcl.tk/doc/scripting.html>>. 0018-9162
- Park, John Edgar - Understanding 3D Animation Using Maya. Springer Science, 2005. 0387269045
- Patterson, David A.; Hennessy, John L. - Computer organization and design the hardware/software interface. Waltham: Morgan Kaufmann, 2012. 978-0-12-374750
- Peterson, Forest; Hartmann, Timo; Fruchter, Renate; Fischer, Martin - Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned. *Automation in Construction*. Vol. 20. n.º 2 (2011). p. 115-125. 0926-5805
- RevitCity - Consult. em Maio de 2013. Disponível em WWW: <<http://www.revitcity.com/>>.
- Rice, Robert - Augmented Vision and the Decade of Ubiquity. 2009. Consult. em Maio 2013. Disponível em WWW: <<http://curiousraven.squarespace.com/future-vision/>>.
- Smit, Debra K; Stewart, Rodney; Wall, John; Betts, Martin - Implementing Web-Based Collaboration Platforms in Construction: Evaluating the Eastlink Experience. (2005). 1741071011

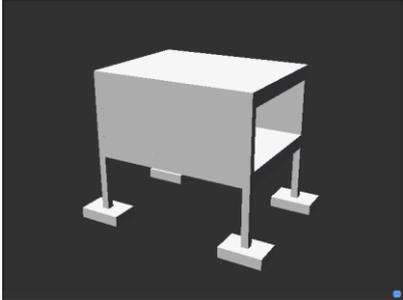
- Sulankivi, K; Kahkonen, K; Makela, T; Kiviniemi, M - 4D-BIM for construction safety planning. 2010.
- Sutherland, Ivan E - A head-mounted three dimensional display. ACM, 1968.
- Technology, International Foundation for Information - Glossary. 2008. Disponível em WWW: <http://www.if4it.com/SYNTHESIZED/GLOSSARY/I/Information_Technology_IT.html>.
- Technology, Plant Automation - Human Machine Interface in Plant Automation. Consult. em Fevereiro 2013. Disponível em WWW: <<http://www.plantautomation-technology.com/knowledgebank/articles/hmi-pantautomation.html>>.
- TechVario - What Is an Information System. 2013. Consult. em Março 2013. Disponível em WWW: <<http://techvario.com/what-is-an-information-system-yr328.php>>.
- The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, Inc. - Linguagem de script. Consult. em Junho de 2013. Disponível em WWW: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Linguagem_de_script>.
- Totten, Chris - Game character creation with Blender and Unity. Sybex, 2012. 1118226909
- Unity3D - Factos rápidos. Consult. em Março 2013. Disponível em WWW: <<http://portuguese.unity3d.com/company/public-relations/>>.
- UnrealEngine - Features. Consult. em Maio 2013. Disponível em WWW: <<http://www.unrealengine.com/en/features/>>.
- UnrealEngine - Unreal Development Kit. Consult. em Março 2013. Disponível em WWW: <<http://www.unrealengine.com/udk/>>.
- VTT - AR4BC - Augmented Reality for Building and Construction. 2010. Consult. em Março 2013. Disponível em WWW: <<http://www.youtube.com/watch?v=rVt86NGXQv4>>.
- Wang, Xiangyu; Kim, Mi Jeong; Love, Peter ED; Kang, Shih-Chung - Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. *Automation in Construction*. (2013). 0926-5805
- Wiki, Penn State BIM - Consult. em Maio 2013. Disponível em WWW: <<http://bim.wikispaces.com/>>.
- Wiki, Penn State BIM - Revit to Unity Workflow Steps. Consult. em Março de 2013. Disponível em WWW: <<http://bim.wikispaces.com/Revit+to+Unity+Workflow+Steps>>.
- Xie, Lin - Construction meets Information Technology, is IT the panacea? University of Cambridge, 2010.
- Young, NW; Jones, SA; Bernstein, Harvey M; Gudgel, John - The Business Value of BIM-Getting Building Information Modeling to the Bottom Line. *Bedford, MA: McGraw-Hill Construction*. (2009).
- Zhang, Sijie; Teizer, Jochen; Lee, Jin-Kook; Eastman, Charles M.; Venugopal, Manu - Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. *Automation in Construction*. Vol. 29. (2013). p. 183-195. Disponível em WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580512000799>>. 0926-5805

ANEXOS

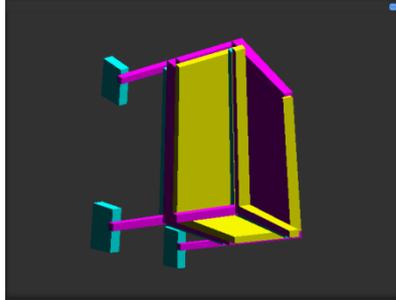
ANEXO I

Imagens dos resultados da exportação dos modelos para o motor de jogo no estudo empírico.

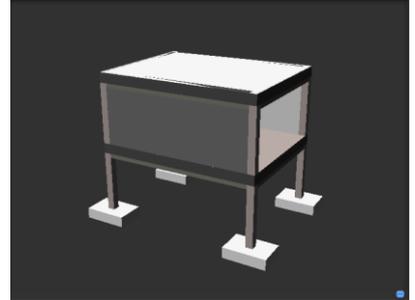
Processo 1



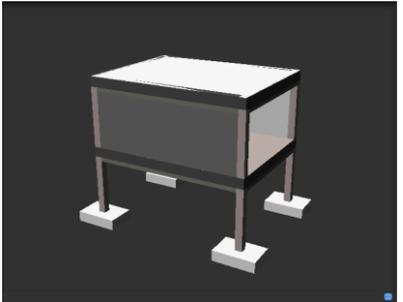
Processo 2



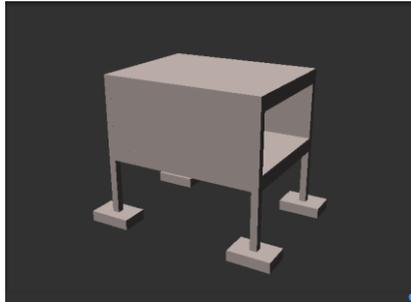
Processo 3



Processo 4



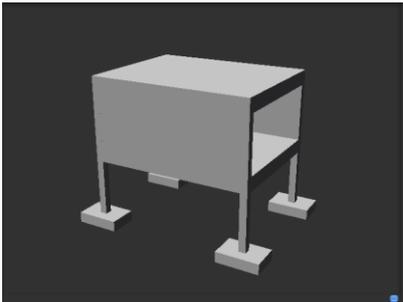
Processo 5



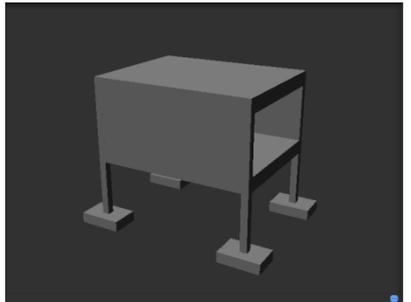
Processo 6



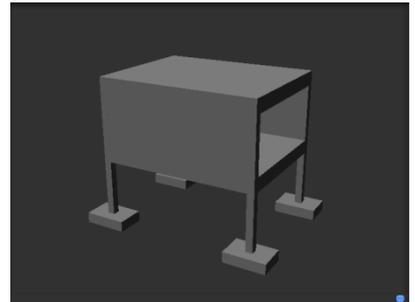
Processo 7



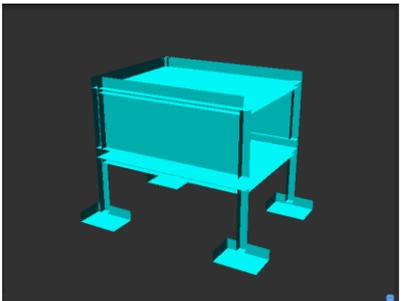
Processo 8



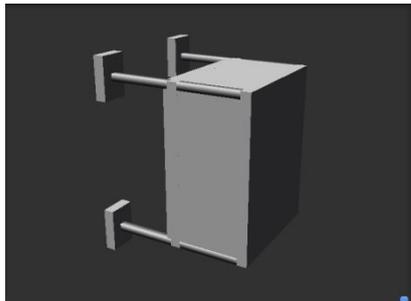
Processo 9



Processo 10



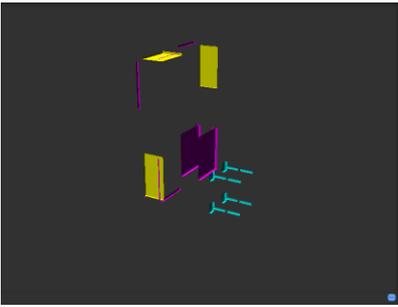
Processo 11



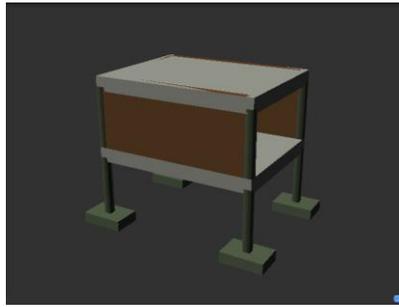
Processo 12



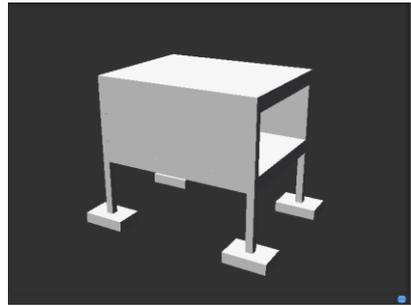
Processo 13



Processo 14



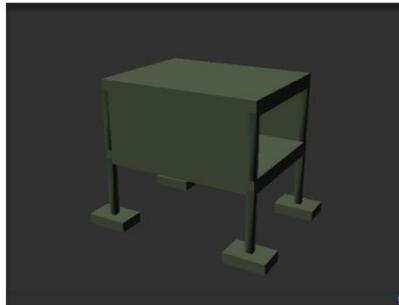
Processo 15



Processo 16



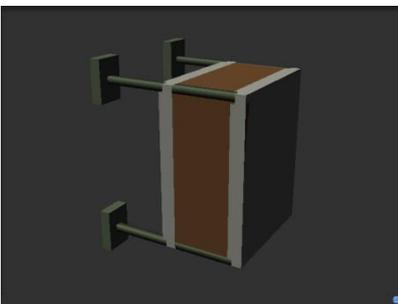
Processo 17



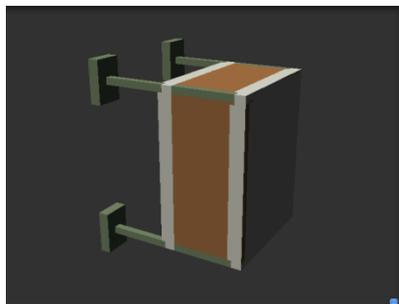
Processo 18



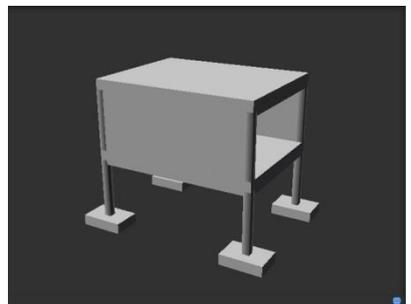
Processo 19



Processo 20



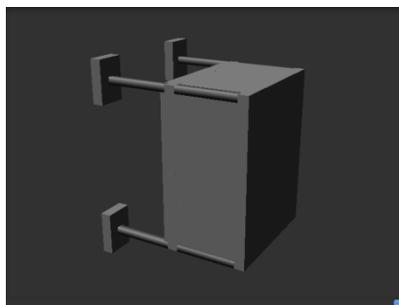
Processo 21



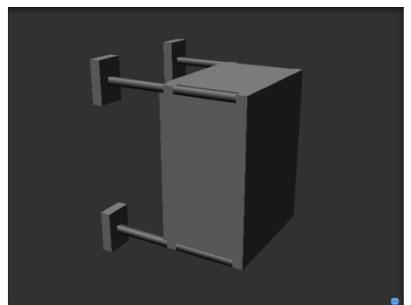
Processo 22



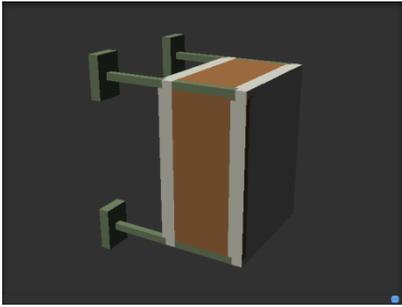
Processo 23



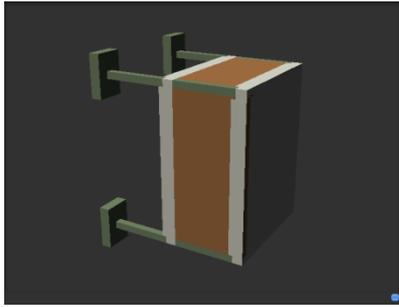
Processo 24



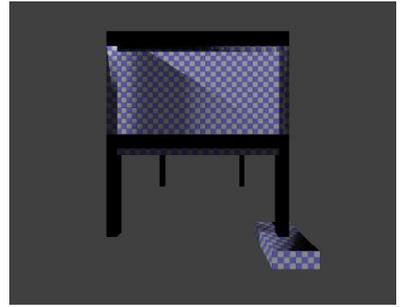
Processo 25



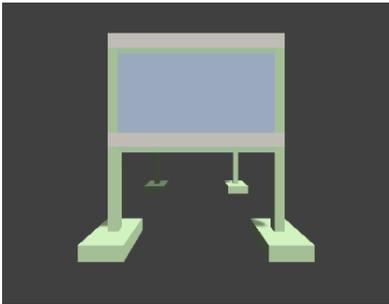
Processo 26



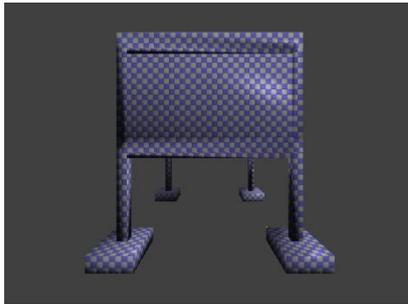
Processo 27



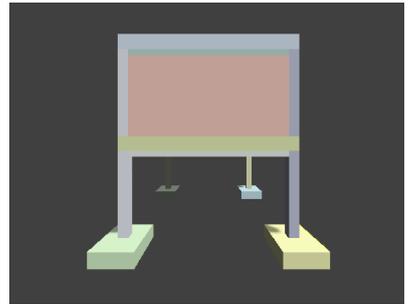
Processo 28



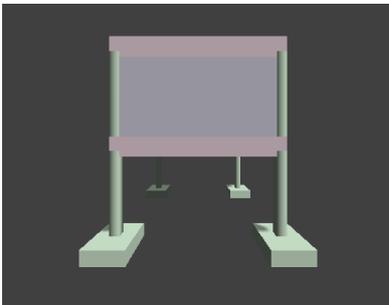
Processo 29



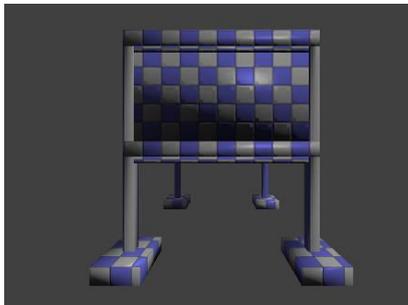
Processo 30



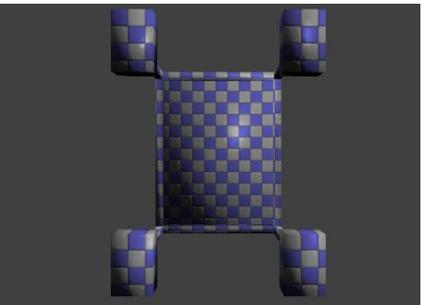
Processo 31



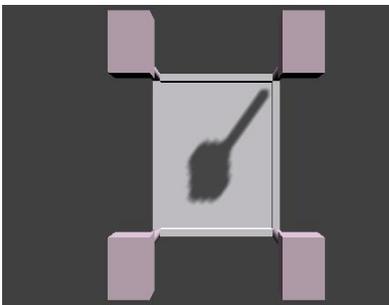
Processo 32



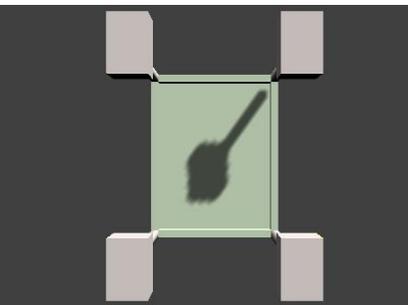
Processo 33



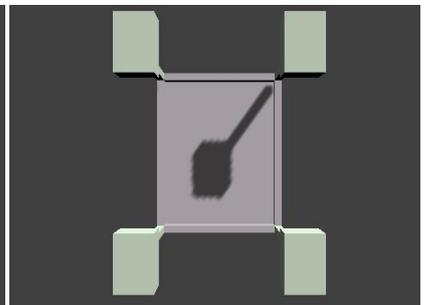
Processo 34



Processo 35



Processo 36



ANEXO II

Scripts utilizados.

Nome: Identificacao.cs

Tipo: C# (C Sharpe)

Objetivo: Fazer aparecer o nome dos elementos selecionados no canto superior esquerdo do ecrã.

Usado no estudo empírico e no caso de estudo.

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
public class Identificacao : MonoBehaviour {
    GameObject seleccionado; Rect recti=new Rect(0,0,300,200);
    // Use this for initialization
    void Start () {
    }
    // Update is called once per frame
    void Update () {
        if(Input.GetMouseButtonUp(0)) {
            select();
        }
    }
    void select() {
        RaycastHit hit;
        Ray ray=Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
        if (Physics.Raycast(ray,out hit)) {
            seleccionado=hit.collider.gameObject;
        }
    }
    void OnGUI(){
        if(seleccionado!=null) {
            GUI.Label(recti,seleccionado.name);
        }
    }
}
```

Nome: Informação.js

Tipo: JavaScript

Objetivo: Fazer aparecer a mensagem “Interior da Garagem” quando o *First Person Controller* entra nela.

Usado no estudo empírico.

```
#pragma strict
function Start() {
}
var ativarMsg = false;
var texto = "";
function OnTriggerEnter(other: collider) {
    if (other.tag == "Informação") {
        ativarMsg = true;
        texto = "Interior da Garagem";
    }
}
function OnTriggerExit(other: collider) {
    texto = "";
    ativarMsg = false;
}
function OnGUI() {
    if (ativarMsg == true) {
        GUI.Label(new Rect(Screen.width / 2, Screen.height / 2, 200, 200), texto);
    }
}
```

Nome: Ensino e Segurança.js

Tipo: JavaScript

Objetivo: Dar informação sobre os diâmetros dos varões quando o *First Person Controller* está perto destes e aparecer alertas de segurança quando a personagem está no gabinete em obras (G147)

Usado no estudo empírico.

```
#pragma strict
function Start() {
}
var ativarMsg = false;
var texto1 = "";
var texto2 = "";
var texto3 = "";
var texto4 = "";
var texto5 = "";
var texto6 = "";
var texto7 = "";
var texto8 = "";
function OnTriggerEnter(other: Collider) {
    if (other.tag == "Cubo de Ensino") {
        ativarMsg = true;
        texto1 = "Armadura Longitudinal: 14 varões de 20 mm";
        texto2 = "Armadura Transversal: Varões de 8 mm espaçados de 20 cm";
    }
    if (other.tag == "Cubo de Segurança") {
        ativarMsg = true;
        texto1 = "CUIDADO!!!";
        texto2 = "PERIGO DE QUEDA!";
        texto3 = "Não esquecer de colocar todos os equipamentos de segurança:";
        texto4 = "- Andaimes";
        texto5 = "- Barreiras Pára-Corpos";
        texto6 = "- Sinalizações de Queda";
        texto7 = "- Arneses Anti-Queda";
        texto8 = "Utilize sempre capacete, botas de trabalho e colete refletor";
    }
}
```

```
}  
}  
function OnTriggerExit(other: Collider) {  
    texto1 = "";  
    texto2 = "";  
    texto3 = "";  
    texto4 = "";  
    texto5 = "";  
    texto6 = "";  
    texto7 = "";  
    texto8 = "";  
    ativarMsg = false;  
}  
function OnGUI() {  
    if (ativarMsg == true) {  
        GUI.Label(new Rect((Screen.width / 2) - 100, Screen.height / 2, 400, 400),  
texto1);  
        GUI.Label(new Rect((Screen.width / 2) - 100, (Screen.height / 2) + 10, 400,  
400), texto2);  
        GUI.Label(new Rect((Screen.width / 2) - 100, (Screen.height / 2) + 30, 400,  
400), texto3);  
        GUI.Label(new Rect((Screen.width / 2) - 100, (Screen.height / 2) + 40, 400,  
400), texto4);  
        GUI.Label(new Rect((Screen.width / 2) - 100, (Screen.height / 2) + 50, 400,  
400), texto5);  
        GUI.Label(new Rect((Screen.width / 2) - 100, (Screen.height / 2) + 60, 400,  
400), texto6);  
        GUI.Label(new Rect((Screen.width / 2) - 100, (Screen.height / 2) + 70, 400,  
400), texto7);  
        GUI.Label(new Rect((Screen.width / 2) - 100, (Screen.height / 2) + 90, 400,  
400), texto8);  
    }  
}
```

ANEXO III

Caminho sugerido a percorrer no interface do caso de estudo.

