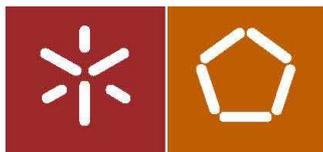




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

António Joaquim Coelho Marinho

Aplicação do Building Information Modeling
na gestão de projetos de construção



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

António Joaquim Coelho Marinho

**Aplicação do Building Information Modeling
na gestão de projetos de construção**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor João Pedro Pereira Maia

Outubro de 2014

“A mente que se abre a uma nova ideia nunca
voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Embora a tese seja, pela sua finalidade académica, um trabalho individual, existem contributos que não podem ser ignorados. Por essa razão expresso os meus agradecimentos:

Ao professor Doutor João Pedro Pereira Maia Couto , meu orientador, pela competência científica e acompanhamento do trabalho, pelas correções e sugestões relevantes feitas durante a orientação.

Agradeço à empresa Marinho Pereira e Moura, Construções e Engenharia Lda e à equipa de Projetistas, Arquiteto Higinio Pinheiro e Arquiteto Hugo Pereira, pela integração do BIM-IPD.

E de uma forma muito especial à minha mulher, Dulce Alves.

RESUMO

Atualmente e tendo em vista um mercado cada vez mais competitivo e um consumidor bastante exigente torna-se imprescindível na gestão dos projetos de construção a necessidade de uma visão mais holística e uma percepção do projeto a partir das três perspectivas fundamentais, a do projetista, a do empreiteiro e a do proprietário.

De forma sintética pode afirmar-se que a metodologia a adotar neste estudo incide na utilização de um processo integrado baseado num modelo onde os projetos são criados como objetos inteligentes permitindo a sua modelação, análise e colaboração em qualquer fase do ciclo de vida do projeto, o BIM-IPD (*Building Information Modeling- Integrated Project Delivery*).

Numa primeira etapa, o processo BIM será introduzido na fase de conceção de um edifício de habitação unifamiliar permitindo analisar a integração e a interoperabilidade entre as diferentes especialidades que constituem o projeto extraindo de forma automática as quantidades finais de obra. A segunda fase consiste na construção do edifício com base no modelo global, permitindo a análise prévia de erros e omissões e a sincronização entre o projeto e a gestão da construção.

Este estudo tem como principal objetivo, a implementação e aplicação do BIM-IPD na gestão de projetos em moradias unifamiliares. Por fim, são efetuadas considerações finais e respetivas conclusões acerca dos objetivos propostos no trabalho.

Palavras-Chave: BIM, *Integrated Project Delivery* (IPD), Interoperabilidade, Modelação Paramétrica, Gestão de Projetos.

ABSTRACT

Nowadays and considering an increasingly competitive market and a very demanding consumer, it is fundamental in the management of construction projects the need for a more holistic view and a project perception from three key perspectives: the designer, the builder and the owner.

In sum, it can be said that the methodology to adopt in this study focuses on the use of an integrated process based on a model where projects are created as smart objects allowing its modeling, analysis and collaboration at any stage of the project life cycle, BIM-IPD (Integrated Building Information Modeling- Project Delivery).

At a first stage, the BIM process will be introduced in the design phase of a single-family residential building allowing to analyze the integration and interoperability between the different specialties that composes the project, extracting, in an automatic way, the final quantities of work. The second phase is the construction of the building based on the global model, enable a previous analysis of errors and omissions and synchronization between the project and construction management.

The present study aims the implementation and application of BIM-IPD in the project management of single-family houses. Ultimately, are made closing remarks about the proposed objectives.

Keywords: BIM, *Integrated Project Delivery* (IPD), Interoperability, Parametric modeling, Project Management.

ÍNDICE

| | |
|--|----------|
| 1 Introdução..... | 1 |
| 1.1 Considerações gerais | 3 |
| 1.2 A gestão de projetos de construção | 4 |
| 1.3 Questão central de investigação | 5 |
| 1.4 Hipótese de estudo | 5 |
| 1.5 Objetivo da investigação | 5 |
| 1.6 Estrutura da dissertação..... | 6 |
| 2 Estado da Arte | 7 |
| 2.1 O que é o BIM? | 7 |
| 2.2 Origem do termo BIM..... | 8 |
| 2.3 A evolução histórica..... | 8 |
| 2.4 BIM na arquitetura, engenharia e construção..... | 9 |
| 2.5 Interoperabilidade..... | 13 |
| 2.5.1 IFC | 16 |
| 2.6 BIM-Construção..... | 18 |
| 2.6.1 Níveis de desenvolvimento | 20 |
| 2.7 BIM-IPD..... | 22 |
| 2.7.1 Metodologia conceção-licitação-construção..... | 23 |
| 2.7.2 Metodologia conceção-construção | 24 |
| 2.7.3 Metodologia CM-AT-RISK..... | 25 |

| | |
|--|-------------------------------------|
| 2.7.4 Metodologia BIM-IPD | 26 |
| 2.7.5 Exemplo da metodologia do BIM-IPD..... | 28 |
| 2.8 Retorno do Investimento (ROI) | 30 |
| 2.9 BIM na sustentabilidade..... | 33 |
| 2.10 <i>Software</i> BIM..... | 35 |
| 3 Metodologia | 39 |
| 4 Caso de Estudo: Uso de ferramentas BIM..... | 41 |
| 4.1 Integração e criação de um modelo digital 3D | 41 |
| 4.2 Orçamentação e planeamento da obra | 49 |
| 4.3 Execução da obra através do modelo BIM | 52 |
| 4.4 Discussão dos resultados..... | 54 |
| 5 Conclusão e proposta para trabalhos futuros | 57 |
| 5.1 Conclusão..... | 57 |
| 5.2 Propostas para trabalhos futuros | 58 |
| BIBLIOGRAFIA..... | Erro! Marcador não definido. |

LISTA DE ACRÓNIMOS E SIGLAS

2D – Duas dimensões

3D – Três dimensões

4D – 3D + tempo

5D – 3D + tempo + custos

6D – 3D + tempo + custos + manutenção

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

AIA – The American Institute of Architects

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BIM – Building Information Modeling ou Building Information Model

bSa – building SMART alliance

CAD – Computer-Aided Design

CIFE – Stanford University Center for Integrated Facilities Engineering

CIS/2 – CIMSteel Integration Standards

CM – Construction Manager

Design-Bid-Build – Conceção-Licitação-Construção

Design-Build – conceção-construção

DWG – Extensão de desenho do AutoCAD da Autodesk

DXF – Drawing Exchange Format

EPS – Expanded Polystyrene ou Poliestireno Expandido

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems ou Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior

EUA – Estados Unidos da América

FM – Facility Management

IAI – International Alliance for Interoperability

IFC – Industry Foundation Classes

IPD – Integrated Project Delivery

ISO – International Standards Organization

LOD – Level of Development

MEP – Mechanical, Electrical and Plumbing (Instalações Mecânicas, Elétricas e de instalações hidráulicas)

MQ – Mapa de Quantidades

MT – Método Tradicional

Portaria 701-H/2008 – Aprova o conteúdo obrigatório do programa e do projeto de execução, bem como os procedimentos e normas a adotar na elaboração e faseamento de projetos de obras públicas, designados «Instruções para a elaboração de projetos de obras», e a classificação de obras por categorias

ROI – Return on Investment (Retorno do investimento)

SEI CASE – Structural Engineering Institute - Council of American Structural Engineers

STEP – Standard for the Exchange of Product Model Data

TI – Tecnologia de Informação

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Modelação paramétrica de uma moradia unifamiliar (a) <i>Software Autodesk Revit</i> [®] (superior) e (b) <i>Software Autodesk Robot Structural Analysis</i> [®] (inferior)..... | 1 |
| Figura 2 O Conceito do BIM-IPD na construção [Adaptado: (NemetschekAllplan 2012)]...... | 2 |
| Figura 3 O BIM no ciclo de vida do edifício [Adaptado: (Best Sul <i>Software</i> s.d.)]...... | 7 |
| Figura 4 Benefício do BIM para os Empreiteiros entre os três primeiros ano (Fonte: McGraw Hill Construction, 2013)..... | 10 |
| Figura 5 Tempo da utilização do BIM pelos Empreiteiros por país (Fonte: McGraw Hill Construction, 2013)..... | 11 |
| Figura 6 Exemplo da constituição de uma parede exterior utilizando o <i>Software Autodesk Revit</i> [®] | 12 |
| Figura 7 Exemplo das propriedades do material EPS utilizando o <i>Software Autodesk Revit</i> [®] | 12 |
| Figura 8 Utilização da plataforma de BIM na construção civil. [Fonte: (Buildipedia s.d.)]..... | 13 |
| Figura 9 Modelo BIM, Escola de Middlesbrough [Fonte: (Davis Langdon 2012)]. | 14 |
| Figura 10 Ícone do formato IFC..... | 16 |
| Figura 11 Arquitetura do modelo IFC4 [Fonte: (Manzione 2013), Adaptado: (International Alliance for Interoperability s.d.)]..... | 18 |
| Figura 12 Modelo global de um edifício integrando todos os elementos construtivos e as suas propriedades. (a) Edifício geral, (b) Pormenor de um armário/parede exterior e (c) Vão exterior. | 19 |
| Figura 13 Nível de Desenvolvimento (LOD)..... | 21 |
| Figura 14 Método tradicional do processo Conceção-Licitação-Construção (Ribeiro 2012)..... | 23 |
| Figura 15 Método do processo Conceção -Construção (Ribeiro 2012)..... | 25 |
| Figura 16 Esquema do processo CM-AT-RISK (Ribeiro 2012)..... | 26 |

| | |
|---|----|
| Figura 17 Comunicação no (a) modelo tradicional (esquerda) e (b) modelo BIM (direita) (Parreira 2013) [Adaptado: (Eastman, Teicholz e Sacks 2011)]. | 26 |
| Figura 18 Demonstração da compatibilização de todas as disciplinas e detecção automática de conflitos [Fonte: (Amorim 2010)]. | 28 |
| Figura 19 Arquitetura de uma moradia isolada utilizando o <i>Software Autodesk Revit</i> [®] . | 29 |
| Figura 20 Estabilidade de uma moradia isolada utilizando o <i>Software CypeCAD</i> [®] . | 29 |
| Figura 21 Construção da moradia unifamiliar através do processo BIM-IPD. | 29 |
| Figura 22 Aplicação do BIM na sustentabilidade dos edifícios [Fonte: (Autodesk, Inc. 2008)]. | 33 |
| Figura 23 Funcionalidades e potencialidades do BIM [Fonte: (Bruno Caires 2013)]. | 34 |
| Figura 24 Planta extraída pelo Revit Architecture [®] . | 36 |
| Figura 25 Planeamento do ciclo de vida do edifício [Fonte: (Cholakis e Trebas 2013)]. | 38 |
| Figura 26 Renderização do caso de estudo (LOD 100). | 41 |
| Figura 27 Modelação paramétrica do Edifício (LOD 200). | 42 |
| Figura 28 Corte Horizontal do modelo paramétrico (LOD 200). | 42 |
| Figura 29 Representação do Alçado Nascente (a) Desenhos em CAD (esquerda) e (b) Desenho em BIM (direita). | 43 |
| Figura 30 Representação do Alçado Sul (a) Desenhos em CAD (superior) e (b) Desenho em BIM (inferior). | 43 |
| Figura 31 Representação do Alçado Oeste (a) Desenhos em CAD (esquerda) e (b) Desenho em BIM (direita). | 44 |
| Figura 32 Representação do Alçado Norte (a) Desenhos em CAD (superior) e (b) Desenho em BIM (inferior). | 44 |
| Figura 33 Representação da modelação estrutural (a) modelação inicial (esquerda) e (b) modelação final destinada à sua execução (direita). | 45 |

| | |
|--|----|
| Figura 34 Representação da modelação para cálculo e verificação, (a) modelação Revit® (esquerda) e (b) modelação realizada por IFCx4 em CypeMEP® (direita)..... | 47 |
| Figura 35 Representação da modelação final do CypeMEP®..... | 47 |
| Figura 36 Representação da modelação resultante da exportação do CypeMEP® para o Revit®. | 48 |
| Figura 37 Representação da modelação resultante da exportação do Revit® para o NavisWork®. | 48 |
| Figura 38 Representação paramétrica do modelo final..... | 49 |
| Figura 39 Exemplo da representação de (a) cortes identificando pormenores construtivos necessários para a execução do betão armado e (b) mapa de vãos. | 50 |
| Figura 40 Listagem automática das quantidades através do NavisWork®..... | 50 |
| Figura 41 Extrato da medição e orçamentação realizada ao modelo global. | 51 |
| Figura 42 Planeamento de obra utilizando o NavisWork® e o Microsoft Project®..... | 51 |
| Figura 43 (a) Desnível do pavimento (esquerda), (b) e (c) Negativo para águas residuais (central e direita, respetivamente). | 52 |
| Figura 44 Representação dos pilares circulares de forma otimizada (a) - esquerda, (b) - central e (c) - direita..... | 52 |
| Figura 45 Representação do erro construtivo executado em obra, (a) representação inicial (esquerda), (b) representação final corrigida (central) e (c) representação digital do modelo (direita). | 53 |
| Figura 46 Exemplo da representação de cortes identificando pormenores construtivos necessários para a execução do betão armado e alvenarias e mapa de vãos. | 53 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 Análise comparativa orçamental da primeira versão do modelo paramétrico estrutural e da versão final. | 46 |
| Quadro 2 Análise das quantidades previstas no BIM e das quantidades necessárias em obra..... | 54 |
| Quadro 3 Análise do tempo previsto e o necessário para a execução da obra..... | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 Fatores do ROI (Autodesk 2014). | 31 |
| Tabela 2 Avaliação do BIM através dos diversos intervenientes do projeto (Autodesk 2014). ... | 32 |
| Tabela 3 Listagem das aplicações comerciais utilizando modelos BIM (Simões 2013). | 37 |

1 Introdução

No âmbito do curso de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis, foi realizada a tese de mestrado com o tema "Aplicação do Building Information Modeling na Gestão de Projetos de Construção".

A construção é um setor onde a inovação surge a todo o instante e com o auxílio do avanço tecnológico as construções modernas quebram paradigmas construtivos.

Atualmente sustentada na investigação científica, a nanotecnologia e o avanço dos *softwares* de análise paramétrica (arquitetónica e estrutural) permite ao profissional da construção a capacidade de projetar e construir de forma mais sustentável.

Por tudo isto e acompanhando a inovação e o planeamento estratégico, os *stakeholders* da construção começam a adotar a tecnologia *Building Information Modeling (BIM)*, figura 1.

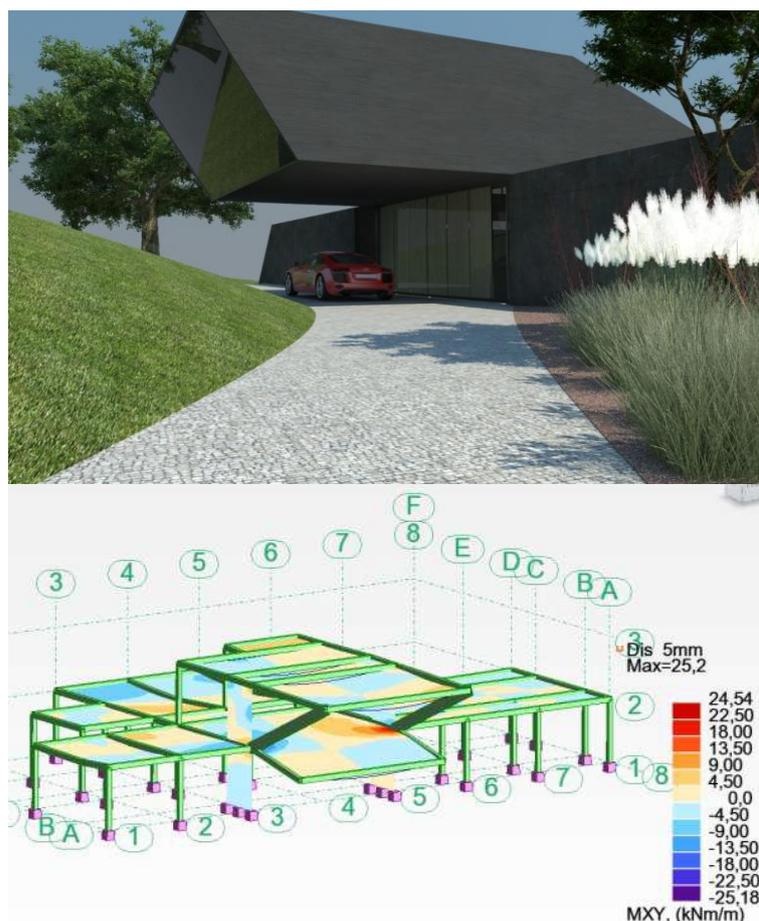


Figura 1 Modelação paramétrica de uma moradia unifamiliar (a) *Software Autodesk Revit®* (superior) e (b) *Software Autodesk Robot Structural Analysis®* (inferior).

Contudo, este aumento de complexidade nos edifícios produz na execução dos trabalhos uma redução de produtividade, atrasos na realização das tarefas, erros de projeto, trabalhos a mais e erros na construção, originando um aumento de reclamações e processos de litígio.

A sua origem advém muitas vezes de erros cometidos durante a fase do projeto, por incompatibilidade dos projetos dos diversos intervenientes de cada especialidade ou pela falta de pormenorização, originando erros construtivos e consequentemente má qualidade construtiva.

Surge a necessidade de utilizar modelos paramétricos de forma integrada com base num processo de geração e gestão de dados de um edifício durante a sua fase de projeto, construção e exploração. Uma ferramenta capaz de construir virtualmente um edifício mesmo antes da sua construção. O processo produz um modelo chamado BIM (*Building Information Modeling*), que engloba a informação geométrica, as relações espaciais e funcionais, a informação geográfica, as quantidades e propriedades dos elementos construtivos e dos equipamentos, incluindo os custos associados à construção e manutenção do edifício.

O conceito das concessões de edifícios corresponde ao cenário ideal para a utilização de tecnologias que englobam o seu ciclo de vida, figura 2, desde a sua conceção, avaliação e projeto, à contratação da execução e gestão (Pissarra 2010).

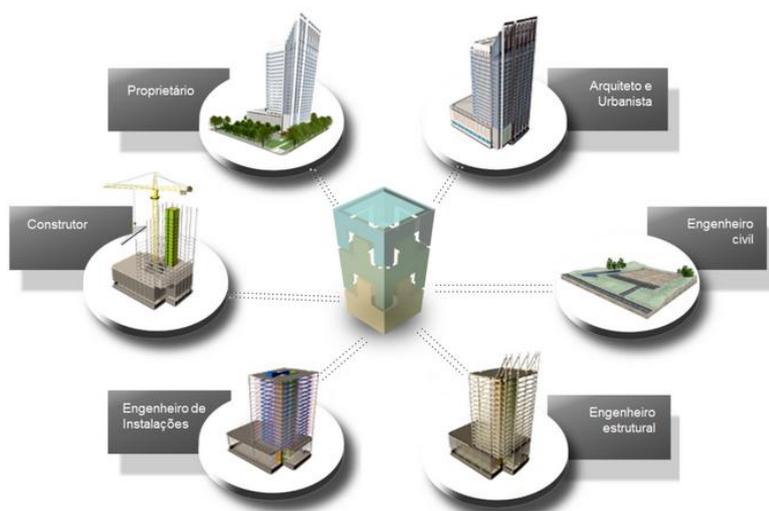


Figura 2 O Conceito do BIM-IPD na construção [Adaptado: (NemetschekAllplan 2012)].

Neste contexto surge a necessidade de se caminhar para projetos integrados IPD (*Integrated Project Delivery*), aplicáveis a esta nova metodologia, de forma a otimizar e diminuir os erros e omissões na fase de construção (Fradique 2012).

Este ambiente potencia a utilização de tecnologias BIM e plataformas colaborativas caracterizadas pela colaboração e partilha de informação entre os intervenientes do projeto, durante a sua existência.

1.1 Considerações gerais

Tradicionalmente, na realização de um projeto, cada um dos intervenientes, sejam arquitetos, engenheiros ou empreiteiros, organizam individualmente os documentos necessários à sua execução.

Deste modo, existe o risco de enviesamentos, erros ou restrições de execução que só serão resolvidos na sua fase de construção, como por exemplo a tubagem prevista em tetos falsos superiores à caixa-de-ar existente, produzindo alterações que condicionam o design e funcionalidade do edifício.

Com a utilização do BIM surge um processo colaborativo com vista a antecipar as tomadas de decisão em projeto, de forma a aumentar a deteção de erros na fase inicial e garantir uma otimização do mesmo. A organização fundamental baseia-se na transparência, trabalho em equipa, confiança e organização dos diferentes intervenientes.

Os Arquitetos podem criar modelos tridimensionais, auxiliando a visualização do modelo por outros autores do projeto, executar análise de sustentabilidade, coordenar os diversos projetos de cada especialidade, produzir documentos para a construção, atendendo às alterações introduzidas de forma mais rápida, eficiente e consistente.

Os engenheiros estruturais podem realizar a análise estrutural global do edifício, emitir documentos para a construção de forma automática e facilitar o fabrico de elementos com maior precisão.

Os engenheiros das instalações hidráulicas, elétricas e mecânicas podem projetar sistemas com maior precisão, otimizar a distribuição das condutas de forma eficiente e produzir automaticamente a listagem das peças desenhadas.

Os empreiteiros podem planear e gerir todo o processo de construção e encomenda de material através das listagens produzidas pelo modelo, determinar, analisar e otimizar a sequência

construtiva do edifício e usar esse mesmo planeamento para obter listagens de materiais e estimar o seu custo global.

Os responsáveis pela manutenção do edifício podem usar o modelo BIM como base de dados para informação referente à gestão de equipamentos de climatização e obtenção de cada fornecedor, fabricante e ficha técnica de cada material aplicado ao edifício (Building and Construction 2011).

De todos os setores da construção, a engenharia é a que mais beneficia da integração total dos projetos. A centralização e especificação de todas as características numa única base de dados proporciona ganhos tanto nas previsões quanto no acompanhamento da obra. Este nível de precisão incorporada nos orçamentos e quantidades diminuí os desperdícios.

1.2 A gestão de projetos de construção

Na indústria da construção é necessário compatibilizar a diversa informação proveniente dos vários intervenientes, de modo a facilitar a atualização contínua do projeto.

Sendo um projeto a compilação de vários documentos, a utilização do BIM na gestão dos projetos de construção permite a integração e colaboração efetiva entre o dono de obra, arquiteto/projetista e empreiteiro desde o início ao fim do projeto - *Integrated Project Delivery* (IPD).

Para a utilização da metodologia BIM-IPD é necessário obter uma boa interoperabilidade entre os diversos *softwares* de modelação paramétrica executados pelos diversos autores do projeto.

O BIM, juntamente com o IPD, integra a conceção da arquitetura, estruturas, instalações hidráulicas, análise estrutural, energética, deteção de conflitos, 4D (calendarização e faseamento), 5D (estimativa de custos), pré-fabricação e 6D (manutenção e operação após a sua construção).

Estas funções representam um modelo baseado em informação consistente que pode melhorar substancialmente a produtividade dos processos operacionais e administrativos nas áreas de produção, compras, contabilidade, qualidade e contribuir para a redução de desperdícios em sede e obra (Parreira 2013).

1.3 Questão central de investigação

Esta dissertação pretende contribuir para a implementação do BIM no setor da construção, em particular nas empresas de conceção e construção de edifícios. Incide na utilização do BIM-IPD como base para dar resposta à questão central da investigação: A implementação e aplicação do *Building Information Modeling* desde a conceção à construção trará vantagens relevantes para a gestão de projetos de moradias unifamiliares?

1.4 Hipótese de estudo

Neste estudo foram consideradas as seguintes hipóteses de investigação:

- O BIM na construção simplifica e permite realizar a medição integral de projetos.
- Serão válidas as medições obtidas em BIM com base nas medições em obra.
- É viável a implementação do BIM como ferramenta de gestão de construção.
- A adoção do BIM-IPD melhora a colaboração entre os diversos autores de projeto.
- O BIM-IPD pode ser implementado em moradias unifamiliares.

1.5 Objetivo da investigação

Este trabalho foi realizado com vista à persecução dos seguintes objetivos:

- Investigar alguns conceitos metodológicos na utilização do BIM;
- Analisar a interoperabilidade dos modelos paramétricos de cada disciplina do projeto;
- Investigar e analisar os modelos digitais BIM e a sua relação com o projeto integrado;
- Analisar e verificar a integração do conceito BIM como base da gestão e construção;
- Comparar os resultados obtidos pela integração do IPD com o BIM na construção;
- Verificar a produtividade através da aplicação do BIM-IPD na construção;

1.6 Estrutura da dissertação

A estrutura da dissertação desenvolve-se em cinco capítulos, dos quais o primeiro é a presente introdução onde se pretende fazer o enquadramento geral do tema a desenvolver, referir a questão central de investigação, as hipóteses de estudo e os objetivos a atingir.

No segundo capítulo apresenta-se o estado da arte, evidenciando primeiro uma exposição sobre o conceito BIM, a sua origem e evolução histórica, seguido da aplicação do BIM na AEC e a interoperabilidade necessária entre os diversos *softwares* de modelação paramétrica, enaltecendo o BIM na construção. Por fim procede-se à análise do projeto integrado ativado pelo BIM relacionando o retorno do investimento e a importância do BIM na sustentabilidade dos edifícios.

O terceiro capítulo evidencia a metodologia implementada para a adoção do BIM na gestão de projetos.

No quarto capítulo é apresentado um caso de estudo onde foram aplicados os conceitos expostos nos capítulos anteriores, evidenciando os resultados obtidos.

O quinto capítulo é onde são apresentadas as conclusões sobre o sistema BIM-IPD aplicado ao caso prático e as propostas de trabalho futuras.

2 Estado da Arte

2.1 O que é o BIM?

Building Information Model ou *Building Information Modelling* (BIM) é um processo evolutivo, um método de trabalho que consiste na execução de um modelo paramétrico que reúne geometria, relações espaciais, informações geográficas, quantidades e propriedades construtivas de cada especialidade interveniente, permitindo integrar as diversas especialidades num único modelo, utilizado para demonstrar todo o ciclo de vida do edifício, incluindo processos construtivos e fases de instalação. Permite que seja possível identificar e corrigir colisões, interferências, erros na fase de projeto e obter de forma imediata quantidades, pormenores, cortes, vistas, alçados, características dos materiais e custos na sua fase de construção.

O BIM é um processo baseado num modelo onde os projetos são criados como objetos inteligentes. Este processo 3D oferece soluções para criar e controlar projetos de construção de forma rápida, económica e ambiental, permitindo a modelação, análise e colaboração em qualquer fase do ciclo de vida do projeto, figura 3, (Best Sul Software s.d.).



Figura 3 O BIM no ciclo de vida do edifício [Adaptado: (Best Sul Software s.d.)].

De acordo com a Autodesk (s.d.) o BIM é a "chave para o sucesso de todos os empreendimentos, é o entendimento preciso e claro entre arquitetos, engenheiros, profissionais de construção, administradores das instalações e proprietários", é um processo integrado que amplia a

compreensão do empreendimento e viabiliza a visibilidade dos resultados, permitindo que todos os membros da equipa permaneçam coordenados, melhorem a precisão, diminuam o desperdício e tomem decisões fundamentadas nas etapas iniciais do processo, promovendo o sucesso do empreendimento.

2.2 Origem do termo BIM

Existem duas teorias sobre a origem do termo BIM. A primeira é que o termo foi criado pela Autodesk para descrever o 4D orientado ao objeto, contudo, a segunda teoria assenta em que o Professor Charles M. Eastman do Instituto de Tecnologia da Geórgia foi quem criou o conceito, não o termo, partilhando os mesmos princípios conceituais ao nível de representação e organização da informação.

O processo BIM foi generalizado por Jerry Laiserin, um arquiteto da Universidade de Princeton (EUA), especialista em Tecnologia da Informação (TI), em razão das suas pesquisas na área das tecnologias de informação e interoperabilidade como um nome comum para a representação digital dos processos de construção, característica de um pequeno conjunto de aplicações então disponíveis no mercado.

2.3 A evolução histórica

Em 1987, foi lançado na Hungria o *software* ArchiCAD[®], da Graphisoft, como o primeiro *software* com ferramentas BIM. Entretanto surgiram muitas iniciativas individuais de arquitetos americanos, europeus e asiáticos.

Em 1992, Frank Gehry montou uma equipa especializada em suporte tecnológico para colmatar as necessidades das suas equipas de projeto. Em 2002, esta equipa tornou-se uma empresa independente chamada Gehry Technologies[®] e presta serviços de modelagens em BIM.

Desde 1993 o escritório ONUMA, Inc vem desenvolvendo e utilizando um *software* de BIM, o “Sistema Onuma Open Architecture[®]”, de tecnologia aberta. A Finlândia e a Noruega também foram pioneiras em desenvolver projetos em BIM e encontram-se em estágios mais avançados de implementação.

Em 1999, foi lançado o *software* Solibri[®], na Finlândia, que oferece soluções de BIM. Já na Ásia, em Singapura, o governo estabeleceu padrões de legislação baseados em processo de BIM (Addor, et al. 2010).

A adoção e evolução do BIM não se refere apenas à implantação da nova tecnologia, mas à introdução de novos fluxos de trabalho, integrando o planejamento e ambiente colaborativo nas fases iniciais do projeto. Este novo modelo envolve recursos avançados de visualização, integrados à transferência contínua de conhecimento entre as diversas disciplinas do projeto. A sua padronização e organização de dados são fundamentais para permitir a sua colaboração (Coelho e Novaes 2008).

As aplicações mais correntes utilizam o modelo tridimensional do edifício como um repositório para integração da informação da construção. Os elementos constituintes do modelo encontram-se ligados por relações paramétricas de modo a que a informação seja introduzida de forma automática, possibilitando a extração de quantidades e a detecção de erros e omissões em projeto.

2.4 BIM na arquitetura, engenharia e construção

O mercado da arquitetura, engenharia e construção (AEC) necessita essencialmente de uma tecnologia ou processo para antecipar decisões, minimizar erros, visualizar o projeto e a obra digitalmente, quantificar e extrair informações do projeto/modelo, analisar geograficamente, entre muitos outros parâmetros e variáveis. Deste modo o BIM surge como uma construção digital, um processo integrado que permite que um conjunto de informações sejam geradas e mantidas durante todo o ciclo de vida do edifício.

O uso do BIM está a ser impulsionado pelos proprietários privados e governamentais que o querem institucionalizar na entrega dos seus projetos.

Os Estados Unidos da América, Reino Unido e outros países já adotaram o BIM para demonstrar como se pode obter qualidade e redução de custo na execução do projeto e construção. Como resultado a adoção do BIM na América do Norte entre 2007 e 2012 teve uma subida de 28% para 71% e a utilização do BIM pelos empreiteiros (74%) já ultrapassou os arquitetos (70%), demonstrando cada vez mais bons resultados na utilização do BIM (SmartMarket Report 2014).

Segundo o relatório da SmartMarket, publicado pela McGraw Hill Construction, figura 4, um relatório internacional sobre o uso do BIM, nas nove maiores indústrias da construção no mundo três quartos das construtoras responderam positivamente sobre o investimento feito em BIM.

Os empreiteiros identificam uma variedade de benefícios importantes relacionados com a utilização do BIM. Verifica-se que o maior benefício é a redução de erros e omissões existentes em projeto e a redução do trabalho repetitivo, tendo um impacto importante para uma análise do retorno sobre o investimento (ROI) do BIM. Também a colaboração entre os membros da equipa, melhor controlo de custos, redução do tempo de obra, fluxos de trabalho e aprovações são também reconhecidos como benefícios importantes para os empreiteiros com a utilização do BIM. O marketing para novos negócios e a imagem da empresa representa um benefício nestes três anos de utilização do BIM que os empreiteiros consideram importantes (SmartMarket Report 2014).

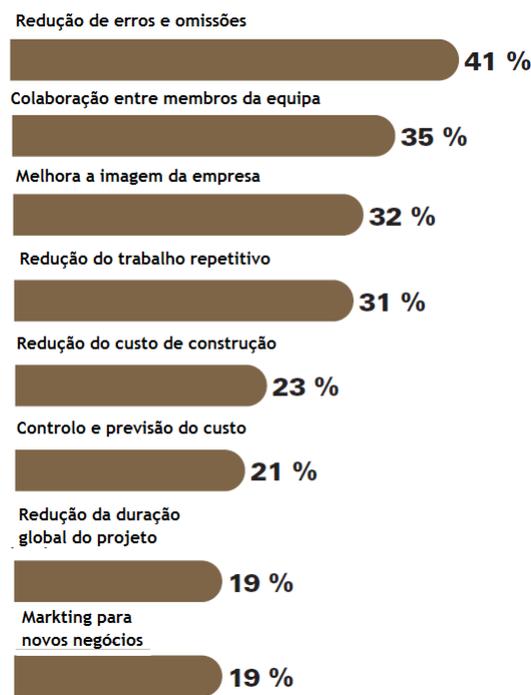


Figura 4 Benefício do BIM para os Empreiteiros entre os três primeiros anos (Fonte: McGraw Hill Construction, 2013).

A tecnologia do BIM que foi desenvolvida na Europa demonstra, conforme a figura 5, que no Reino Unido, França e Alemanha 9% dos construtores utilizam o BIM á mais de 10 anos. No Reino Unido 19% dos empreiteiros afirmam ter experiencia de BIM á mais de 10 anos.

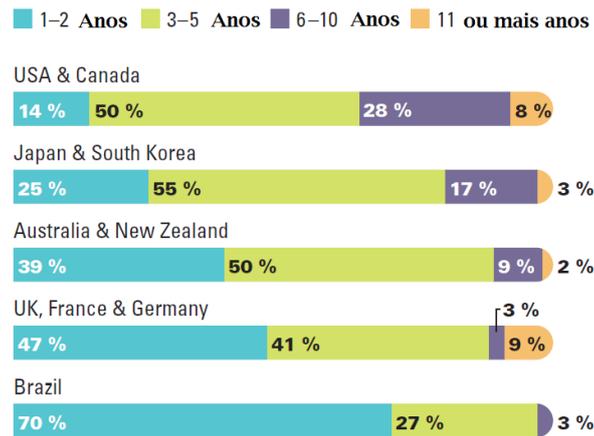


Figura 5 Tempo da utilização do BIM pelos Empreiteiros por país (Fonte: McGraw Hill Construction, 2013).

Entretanto a adoção do BIM na América do Norte tem crescido drasticamente nos últimos anos, obtendo 70% de acordo com *McGraw Hill Construction's*, estudo realizado em 2012. Isto é demonstrado pela utilização do BIM de mais de um terço dos construtores terem seis ou mais anos de utilização (SmartMarket Report 2014).

O setor da construção em Portugal está a ser transformado para adotar o conceito BIM, influenciado pelos países da Europa, como Reino Unido onde para concursos públicos de investimento superior a 5 milhões de euros são obrigados a recorrer a este tipo de metodologia, sendo definido que para o ano de 2016 esta tecnologia se tornará obrigatória para todos os concursos públicos.

Na Finlândia e Dinamarca desde 2007 que é obrigatório a utilização em qualquer obra pública. Em Portugal onde poucas são as entidades licenciadoras a exigirem a entrega de processos de licenciamento em formato digital, será difícil a integração do BIM como metodologia necessária para a execução e licenciamento (Parreira 2013).

A figura 6 representa a modelação paramétrica de uma parede constituída por tijolo cerâmico de 30x20x25 revestido exteriormente com o sistema de isolamento pelo exterior "ETICS" e no interior por gesso projetado, permitindo registar todas as informações de todos os materiais utilizados no elemento. A figura 7 demonstra as características físicas e mecânicas do isolamento EPS aplicado à parede exterior.

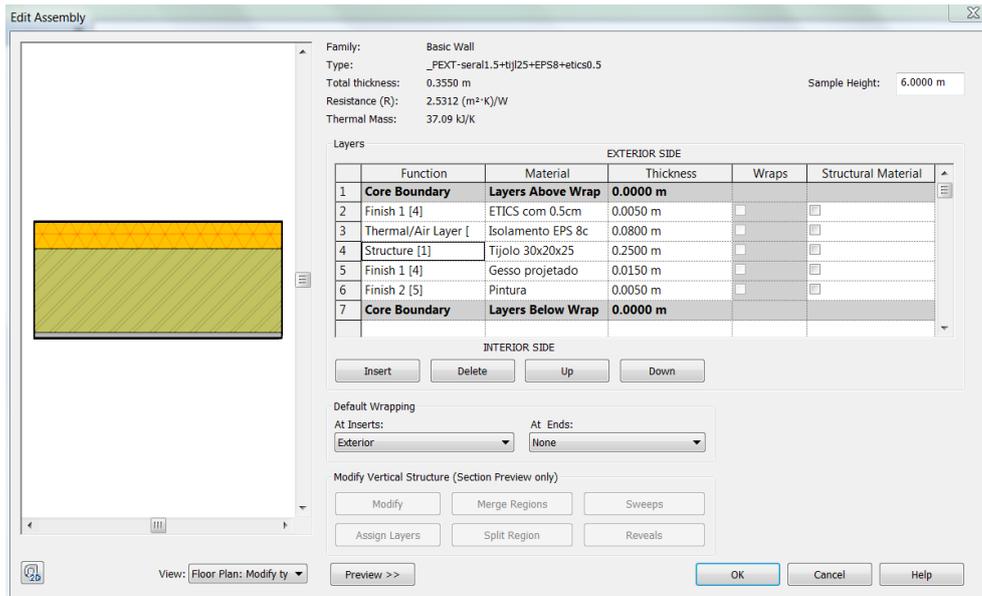


Figura 6 Exemplo da constituição de uma parede exterior utilizando o *Software Autodesk Revit*®.

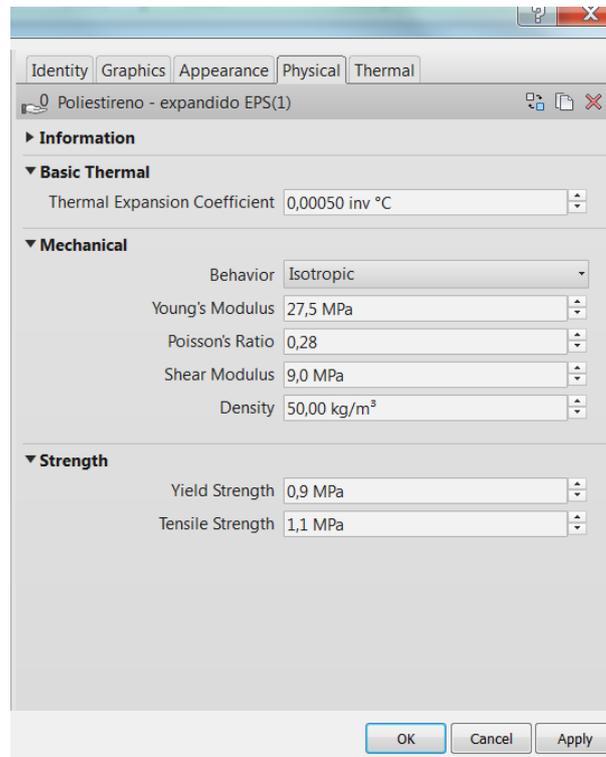


Figura 7 Exemplo das propriedades do material EPS utilizando o *Software Autodesk Revit*®.

Toda essa informação, incluindo a geometria 3D e especificações dos componentes é armazenada num modelo digital parametrizado. As ferramentas BIM permitem a automatização de tarefas como a documentação e deteção de interferências das diferentes especialidades integrante do projeto.

As informações estão inseridas no modelo e todos os documentos possíveis são extraídos deste. As relações de interdependência entre todos os participantes do setor da AEC é enorme e direta, começando pelo projeto seguido do planeamento/gestão, construção e manutenção, figura 8, (Addor, et al. 2010).

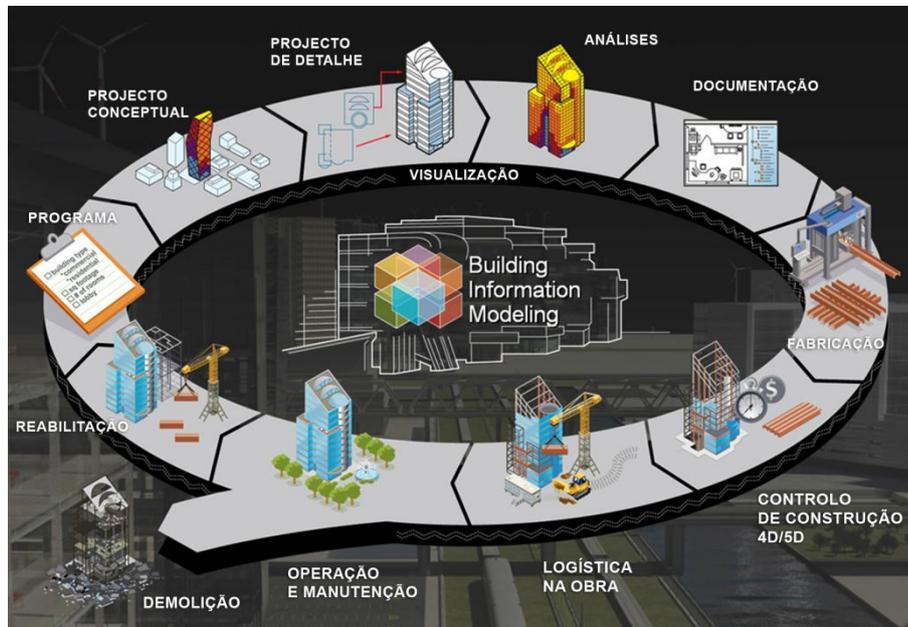


Figura 8 Utilização da plataforma de BIM na construção civil. [Fonte: (Buildipedia s.d.)].

A grande vantagem do BIM é a compatibilização de modelos, possibilitando uma visão global sobre o projeto, identificando erros e omissões, produção de vistas, pormenores complexos e extração de quantidades globais, todavia, esta função obriga a requisitos de interoperabilidade entre sistemas.

2.5 Interoperabilidade

Todos os projetos carecem de enorme responsabilidade pelo que após a criação do modelo BIM-Arquitetura é necessário partilhar toda essa informação para as diferentes especialidades, garantindo que a sua modelação é preservada.

Para que o processo BIM seja realizado é extremamente importante que se verifique uma interoperabilidade entre os diversos *softwares* de modelação paramétrica existentes no mercado.

Ao realizar o projeto estrutural este carece de enorme responsabilidade, análise complexa e uma grande dependência com outros projetos, deste modo, ao importar os elementos estruturais do

modelo BIM-Arquitetura para o modelo BIM-Estrutura deve-se garantir que os elementos estruturais são reconhecidos e aceites para posterior dimensionamento e vice-versa, figura 9.

Isto ocorre também com as restantes especialidades necessárias para a conceção, construção e manutenção do edifício.

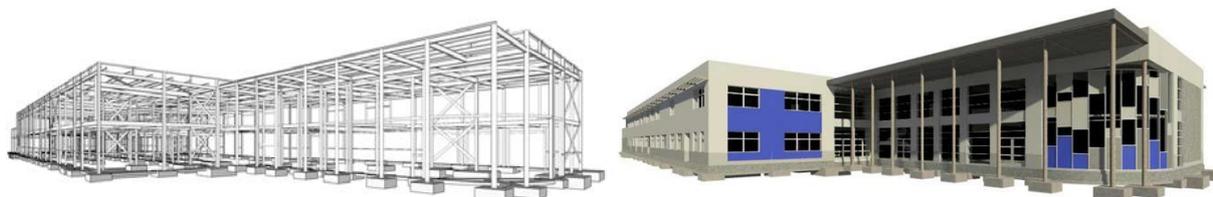


Figura 9 Modelo BIM, Escola de Middlesbrough [Fonte: (Davis Langdon 2012)].

Constata-se que diferentes projetistas aplicam os conceitos BIM mas desconhecem a sua terminologia. Num questionário efetuado no Brasil em 2012 (Stehling 2012), onde foi pedido aos projetistas para identificarem os *softwares* que possuem licenciamento de uso, demonstrou que na disciplina de Arquitetura os mais utilizados são o Revit Architecture[®] seguido do ArchiCAD[®], para a disciplina de Estruturas o Revit Structure[®] e o Tekla[®], No domínio da Mecânica o *software* Inventor[®] da Autodesk seguido do Solidworks[®] e do Revit MEP[®]. Verifica-se que o Navisworks[®] para deteção de interferências é o mais usado.

Deste estudo facilmente se constata que são vários os *softwares* utilizados pelos diversos autores dos projetos de cada disciplina. Muitas informações do projeto são eventualmente perdidas, desnecessariamente duplicadas ou geradas em contradição. Os *softwares* são utilizados em projetos com análises e operações manuseadas individualmente, sem que haja a devida distribuição dos dados aos intervenientes de cada disciplina do projeto, isso resulta em omissão, repetição, erros, atrasos e consequentemente falta de eficiência e qualidade (Mattei 2008).

Segundo Jacoski (2003), quantifica-se que a perda de produtividade ocasionada pela falta de interoperabilidade é cerca de 22%. A transferência da informação entre os participantes do projeto é inconsistente, usualmente há troca de informações somente por parte do grupo participante do projeto, sendo que em alguns casos é gerada em contradição e em outras situações desnecessariamente duplicada. Devido a estes fatos, os projetos tendem a ser mais demorados e mais caros que o necessário.

A interoperabilidade é a capacidade de dois sistemas se relacionarem entre si, ou seja, um sistema X cria os seus dados e exporta esses mesmos dados permitindo a sua alteração e modificação

num sistema Y. Resultando na capacidade que os *softwares* possuem para serem capazes da leitura de dados quando construída em aplicações diferentes.

Na execução de um projeto é necessário o envolvimento de diferentes autores de acordo com as especialidades necessárias. Estes necessitam de trocar informações durante todo o ciclo de vida do projeto, da construção e do seu uso. No entanto, a utilização de diferentes *softwares* utilizados para a execução das suas especialidades sugere a existência de uma alta interoperabilidade (C. Eastman, et al. 2008).

Se existir uma boa interoperabilidade elimina-se a necessidade de réplica de dados de entrada, que já tenham sido gerados, facilitando de forma automatizada e sem obstáculos o fluxo de trabalho entre diferentes aplicativos durante o processo do projeto (Andrade e Ruschel 2009).

A falta de interoperabilidade é um problema que deve ser equacionado pela indústria do *software* e pelos utilizadores de sistemas e aplicativos. Diversas aplicações não podem ser integradas devido à impossibilidade de comunicação entre os *softwares* e os seus dados. Diferentes características devem ser exigidas. Contudo muitos criadores de *softwares* consideram que a interoperabilidade total é um risco que leva aos utilizadores de criarem dados em *softwares* muito distintos, prevalecendo deste modo os formatos dos fornecedores de *softwares* líder de mercado (Jacoski 2003).

Existem diferenças nas estruturas de dados dos *softwares* que dificultam a migração de um para outro. Muitas vezes os dados precisam ser modificados ou completados depois da migração e a base de dados começa-se a tornar redundante. As grandes empresas de software para a Arquitetura, Engenharia e Construção estão a verticalizar os seus mercados e a fornecer novos produtos que agregam modelação arquitetónica, estrutural, instalações, entre outras.

A solução ideal seria o uso de arquivos com formatos neutros, entre os mais usados estão o DXF (*Drawing Exchange Format*) e o DWG (do qual a Autodesk é proprietária). No entanto podem ocorrer problemas frequentes nas transferências realizadas em DXF, visto ser um formato muito simples e que permite perda de detalhes.

De acordo com Froese (2003) a interoperabilidade é a capacidade da informação passar de um programa computacional para outro através de todo o ciclo de vida da obra. Para tal, é necessário adotar padrões pela indústria AEC. Assim, a partir da *International Organization for Standardization* (ISO) surge uma iniciativa para a criação de um formato standard de

interoperabilidade para produtos industriais, o ISO STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*).

Surgiram algumas iniciativas na indústria da construção para criar um standard para a representação e organização de produtos da construção, das quais se destacam como as mais importantes o CIS/2 ("*CIMSteel Integration Standards*") e o IFC (*Industry Foundation Classes*), ambas criadas com base no trabalho já desenvolvido no formato STEP. O formato CIS/2 especializou-se mais em estruturas metálicas, deixando o IFC como o único formato verdadeiramente abrangente e representativo de todos os produtos da construção.

2.5.1 IFC

O formato IFC ou *Industry Foundation Classes*, figura 10, é uma extensão standard internacional para a partilha de informação BIM. É um formato aberto, neutro e com especificações padronizadas para o BIM: transporta propriedades alfanuméricas, materiais e relações entre objetos além das suas propriedades geométricas. O objetivo deste formato universal que nasceu em 1994 numa organização de empresas americanas ligadas à Arquitetura, Engenharia e Construção é garantir a interoperabilidade entre aplicações na indústria AEC, melhorando assim a comunicação, a produtividade, o tempo de entrega, o custo e a qualidade, em todo o ciclo de vida do edifício (Ferreira 2010).



Figura 10 Ícone do formato IFC.

Atualmente o formato IFC apresenta algumas limitações de interoperabilidade entre aplicações de fabricantes distintos devido às diferenças de algoritmos e organização da informação existentes, apresentando ainda alguns erros de interpretação e perda de informação na passagem do modelo BIM de um *software* para outro. De qualquer forma o IFC apresenta-se como um bom formato de transporte de dados, melhor que o formato CAD, reconhecido por um número alargado de aplicações (Ferreira 2010).

O IFC está registado pela *International Organization for Standardization* (ISO) como a ISO-PAS-16739 (2005) e encontra-se numa fase de se tornar uma norma oficial. O IFC foi definido usando as especificações da norma ISO 10303 11 (1994) para a modelação e troca de dados, também conhecida como STEP. O IFC 4 lançado recentemente foi definido usando as normas ISO 10303-11; ISO 10303-21 e a ISO 10303-28 referente aos sistemas de automação industrial e integração de dados (International Alliance for Interoperability s.d.).

A arquitetura do IFC é constituída de uma estrutura modular composta por quatro camadas concetuais. Estas representam os seus níveis principais, em que cada nível constitui uma serie de categorias. É dentro dessas categorias que as propriedades de uma entidade são definidas (C. Eastman 1996).

A figura 11 representa a arquitetura no IFC versão 2x4, representado por quatro camadas: Camada de Recursos, Camada do Núcleo; Camada de Interoperabilidade: elementos partilhados e a Camada dos Domínios (Manziona 2013).

- A camada dos Recursos é a base composta por entidades utilizadas nos objetos da AEC, como geometria, topologia, materiais, medidas, custos, etc..
- A camada do Núcleo estabelece entidades abstratas que são referenciadas pelas camadas superiores, caracterizadas pelo espaço, local, sequência lógica do planeamento, programação e conceitos relacionados com o controlo do processo.
- A camada de Elementos Partilhados ou de Interoperabilidade compreende as categorias que representam os elementos físicos de um edifício.
- A camada dos Domínios é o nível mais alto e compreende as disciplinas específicas como Arquitetura, Estrutura, entre outras, International Alliance for Interoperability s.d..

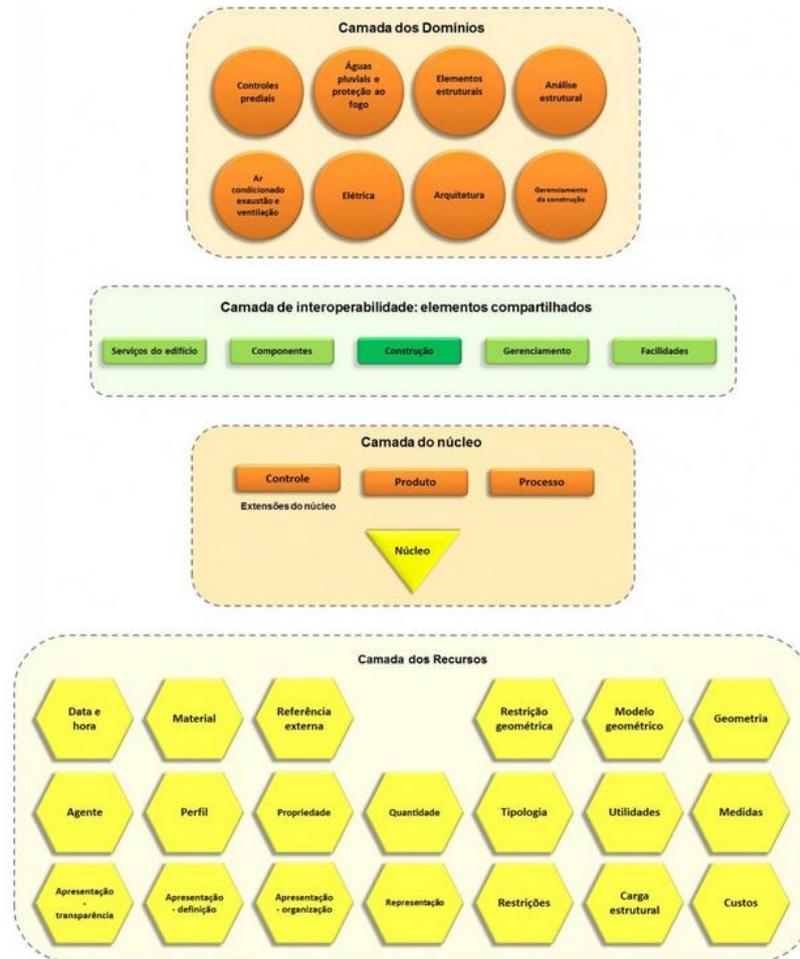


Figura 11 Arquitetura do modelo IFC4 [Fonte: (Manziane 2013), Adaptado: (International Alliance for Interoperability s.d.)].

Da mesma forma, é preciso ir mais fundo na análise dos problemas ainda verificados quando se procura trabalhar com o formato IFC, procurando-se estabelecer um guia de referência de melhores práticas que ajude o usuário a superar as dificuldades até aqui verificadas (Nardelli, et al. 2011).

2.6 BIM-Construção

É normal o empreiteiro ser consultado na fase final para orçamentar a empreitada e não na fase inicial do desenvolvimento dos projetos, resultando numa diminuição da otimização da qualidade/preço do projeto final.

Atualmente e tendo em vista o mercado cada vez mais competitivo e um consumidor bastante exigente torna-se imprescindível a colaboração entre o empreiteiro e projetista, permitindo a

realização de um estudo de viabilidade económica, um orçamento detalhado e um rigoroso acompanhamento físico-financeiro da obra (Knolseisen 2003).

De acordo com uma pesquisa efetuada em 2011 verifica-se que as alterações de projetos são devido a (Delatorres 2012):

- Solicitação dos clientes – Normalmente os clientes solicitam alterações ao projeto por terem novas ideias, por necessidade de redução de custos ou por não conseguirem visualizar o produto durante as fases de projeto;
- Ausência de informação – Necessário estabelecer um fluxo efetivo de esclarecimentos junto aos contratantes para reduzir o volume de alterações pós contratação.
- Incompatibilidade entre projetos – Que se detetadas apenas em obra levam à necessidade de soluções de emergência e consequentemente alterações ao projeto.

De modo a projetar, construir e operar um edifício, todas as disciplinas interveniente devem trabalhar eficientemente em conjunto. No modo convencional a informação em papel tende a ser distorcida pelos intervenientes podendo originar erros de interpretação e execução, o que leva a um aumento do prazo de execução e do custo da obra.

Então como se deve garantir que a obra seja executada de forma eficiente, cumprindo os prazos estipulados e otimizando os recursos e mão-de-obra disponível?

Obtendo num único modelo toda a informação do edifício para que todos os intervenientes possam trabalhar de modo eficiente e sem erros. A figura 12.a exemplifica o modelo BIM na sua fase de construção com a integração e compatibilização dos diversos materiais.

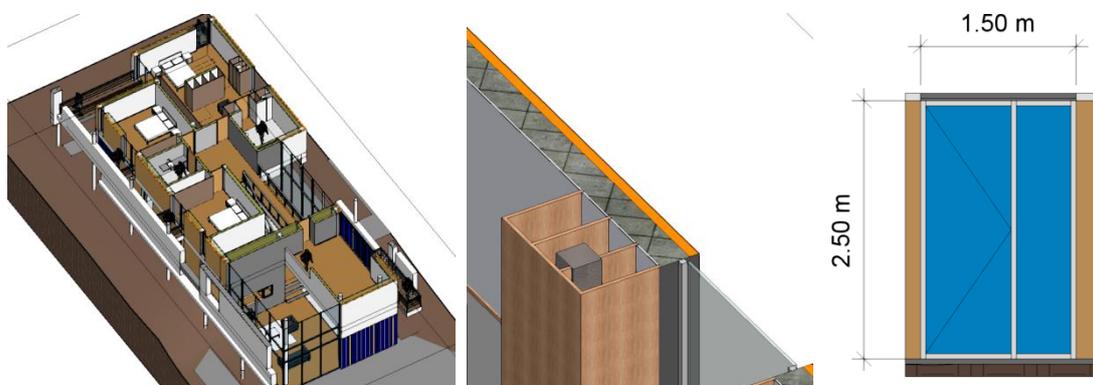


Figura 12 Modelo global de um edifício integrando todos os elementos construtivos e as suas propriedades. (a) Edifício geral, (b) Pormenor de um armário/parede exterior e (c) Vão exterior.

Com o modelo BIM construção podemos de forma automática obter a espessura do isolamento exterior do sistema ETICS, figura 12.b, as propriedades da caixilharia e o tipo de vidro, figura 12.c e qualquer propriedade e dimensão da obra em execução, otimizando o seu planeamento e custo.

Com o BIM construção podemos obter de forma exata os movimentos de terra existentes no edifício a construir, reformular o modelo e verificar as incompatibilidades inerentes sobre alguma alteração proposta pelo cliente e atualizar em tempo real todas as informações sobre os custos e prazos de execução.

Através do formato IFC os projetistas e o construtor comunicam e partilham o modelo de forma automática, registando qualquer alteração efetuada por qualquer autor de uma especialidade, permitindo otimizar mão-de-obra e material e evitando erros e omissões.

2.6.1 Níveis de desenvolvimento

Level of Development (LOD), ou em português nível de desenvolvimento, é um critério para definir a maturidade e usabilidade de um BIM em diferentes fases de um projeto. É geralmente expresso como uma série progressiva de números que correspondem a níveis de pormenorização distintos e gradualmente crescentes, relacionados com diferentes etapas da conceção e utilização de um edifício. Assim os primeiros três níveis são aplicados à fase de projeto, o quarto à construção e o quinto à operação e manutenção do edifício (Silva 2013).

O *Structural Engineering Institute - Council of American Structural Engineers* publicou um documento, (SEI-CASE, 2011), onde estabelece e enquadra os cinco LOD definidos pelo *AIA Document E202* que se apresentam nos pontos seguintes: (Silva 2013)

- LOD 100 – Este modelo básico pode ser adotado ao nível do Projeto Esquemático que fornece informação sobre as massas e volumes. Com apenas a informação mais básica disponível o uso prático deste tipo de modelo é limitado à revisão da disposição básica dos espaços, cálculo de volumes, áreas e orientação dos espaços. Os engenheiros de estruturas podem preparar os modelos em LOD 100 usando massas básicas apenas, como lajes uniformes com uma espessura genérica que represente as vigas suportadas por paredes e pilares genéricos;

- LOD 200 – Este modelo é um pouco mais desenvolvido. Tem, em geral, informação suficiente para permitir uma análise básica do sistema estrutural nomeadamente através da exportação para ferramentas específicas de cálculo automático de estruturas. Alguns elementos do modelo podem incluir informação não geométrica que possa ser usada para a estimativa de custos. O modelo pode incluir uma aparência escalada no tempo dos elementos principais com o intuito de assistir o faseamento e planeamento da obra;
- LOD 300 – Neste nível de desenvolvimento deveria existir informação suficiente para a preparação dos documentos tradicionais da construção ao nível de projeto de execução. Os elementos podem incluir informação adicional não geométrica que pode ser usada pela equipa de projeto ou construção. Este modelo pode ser usado para criar modelos analíticos para o projeto de estruturas, podendo também ser usado como base para a preparação de desenhos para fornecedores, e para a compilação de mapas de trabalhos, quantidades da obra e estimativa de custos para a construção;
- LOD 400 – Neste nível o modelo deve incluir detalhes adicionais e todas as estruturas primárias e secundárias de suporte. Deve conter informação completa sobre a fabricação, montagem ou construção. Deve ser uma representação virtual da estrutura que pode ser usada durante a construção. É possível fazer uma estimativa de custos detalhada baseada nos elementos do modelo. Planeamento detalhado pode ser conseguido mostrando uma aparência escalada de elementos específicos;
- LOD 500 – Todos os elementos e sistemas são modelados de acordo com a construção e precisos em todos os detalhes. Este modelo tem os mesmos propósitos de LOD 400 mas pode ser usado para a manutenção quando assim autorizado.

Partindo do conceito de nível de desenvolvimento BIM apresentado pelo (AIA Document E202 2008) é possível estabelecer um paralelismo entre os níveis referidos e as diversas fases de projeto definidas na Portaria 701-H/2008, publicada em Diário da República em 29 de julho, figura 13.

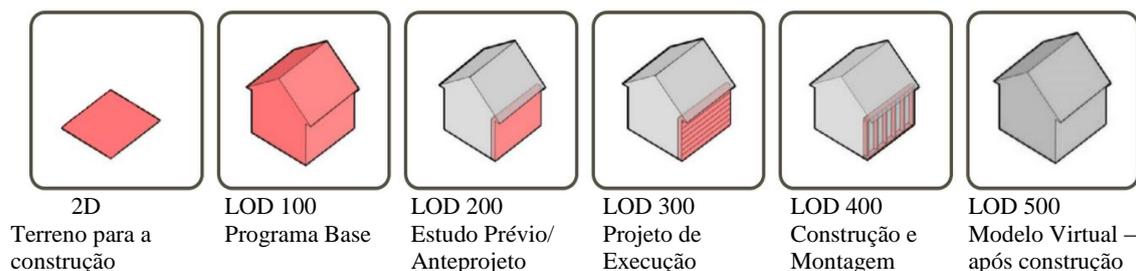


Figura 13 Nível de Desenvolvimento (LOD).

Seguindo as recomendações da divisão em vários níveis de desenvolvimento e fazendo uma sobreposição com as fases definidas na portaria nacional é possível estruturar os vários níveis em fases, adaptando assim este conceito à realidade portuguesa (Silva 2013).

2.7 BIM-IPD

Na indústria da metalomecânica é normal as práticas da engenharia integrada juntamente com modelos digitais para controlar os resultados do produto. Em empresas como a Boeing e a Toyota, equipas de produtos compostas por várias disciplinas colaboram desde o início até ao ciclo de vida para assegurar que o design do produto emergente inclui as características desejadas que são necessárias para trazer um produto ao mercado. Os seus processos de desenvolvimento de produtos dependem de modelos digitais ricos em informações que são utilizados para a sua conceção (Autodesk Whitepaper s.d.).

O projeto integrado (IPD), ativado pelo BIM, é baseado numa estratégia semelhante: equipas multifuncionais de projetos que colaboram na conceção de um edifício, construção e manutenção durante o seu ciclo de vida (Autodesk, Inc. 2008).

O Instituto Americano de Arquitetos (AIA) define IPD como "uma abordagem de entrega do projeto que integra pessoas, sistemas, estruturas e práticas empresariais em um processo colaborativo que explora os talentos e ideias de todos os intervenientes para otimizar os resultados do projeto, aumentar o valor para o proprietário, reduzir o desperdício e maximizar a eficiência em todas as fases de projeto, fabricação e construção" (The American Institute of Architects (AIA) and AIA California Council 2007).

De acordo com Instituto Americano de Arquitetos as características que definem o IPD incluem:

- Processos altamente colaborativos que abrangem a conceção, construção e entrega do projeto;
- Partilha da informação entre os participantes do projeto;
- O sucesso da equipa está ligado ao sucesso do projeto, com risco partilhado e recompensa;
- Valor baseado na tomada de decisão;
- Utilização completa da capacidade tecnológica e de apoio.

2.7.1 Metodologia concepção-licitação-construção

Na indústria da construção o método mais usual é o de concepção-licitação-construção (*Design-Bid-Build*). Conforme a figura 14 o cliente contrata uma equipa de projetistas (arquiteto e engenheiros) para desenvolver um projeto, depois, esse projeto é orçamentado pelos empreiteiros, que muitas vezes trabalham com subempreiteiros, sendo posteriormente escolhido pelo cliente para construir a obra.

As características principais deste método são (Ribeiro 2012):

- Três fases distintas e lineares: concepção, licitação e construção;
- Papéis dos intervenientes bem definidos e geralmente documentados;
- Diretrizes processuais e legais claramente definidas;
- Concorrência saudável devido à competitividade do concurso;
- A documentação contratual é muitas vezes completada antes da execução do projeto começar;
- Oportunidade para um planeamento da construção auxiliada numa documentação completa;
- Especificações a produzir sobre os padrões de qualidade;
- Detalhe exigido do produto final acordado por todas as partes antes do começo da execução do projeto.

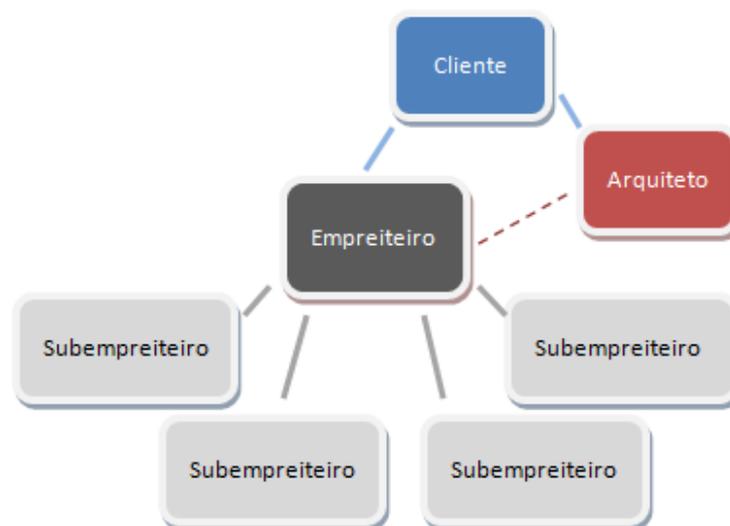


Figura 14 Método tradicional do processo Concepção-Licitação-Construção (Ribeiro 2012).

A vantagem inerente a esta metodologia reside no seu histórico, pois sendo o método mais usado já provou as suas capacidades. As entregas de projetos tradicionais sofrem devido ao sucesso dos

participantes não estar relacionado com o sucesso do projeto, é possível que alguns participantes tenham "sucesso financeiro" não obstante do insucesso global do projeto (Ribeiro 2012).

Segundo Ribeiro (2012) as principais problemáticas da metodologia tradicional são:

- Se um empreiteiro é consultado para orçamentar o projeto durante a concepção, o projeto pode desviar-se dos prazos devido à adaptação da informação adicional;
- O cliente escolhe frequentemente a proposta mais barata, contudo essa opção peca nos aspetos da qualidade dos trabalhos pretendidos;
- Podem existir erros de projeto e de construção que recaem financeiramente no cliente;
- Assume que por promover a competição entre os empreiteiros, através da fase de licitação, o melhor preço será obtido.

Esta metodologia representa o perfeito exemplo de um sistema rígido de gestão de informação e partilha, onde o principal aspeto é evitar litígios entre os participantes.

Em geral não existe partilha de informação nas fases iniciais entre o arquiteto e o empreiteiro, sendo que na maioria dos casos a informação só é partilhada ao empreiteiro depois da conclusão do projeto de execução.

2.7.2 Metodologia concepção-construção

A metodologia concepção-construção (*Design-Build*) consiste na relação entre o cliente, empreiteiro e projetistas. Conforme demonstrado na figura 15, o cliente apresenta um contrato onde o empreiteiro providencia a execução da obra fazendo parte do projeto. A equipa de projeto passa a ser consultora do empreiteiro e prepara os documentos associados ao projeto e construção.

As características principais deste método são (Ribeiro 2012):

- Projeto baseado no estabelecimento de papéis de ação;
- Execução contínua da concepção e construção;
- Sobreposição das fases de concepção e construção;
- Procedimentos legais e processuais claramente definidos para a disponibilização pública;

- Programação e planeamento realizados antes da execução pela entidade responsável pela conceção e construção.

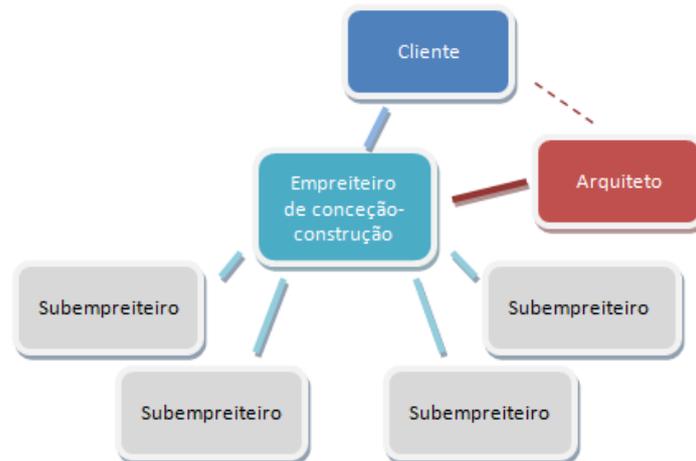


Figura 15 Método do processo Conceção -Construção (Ribeiro 2012).

Esta metodologia aponta para a colaboração, aumento da viabilidade e precisão no projeto mas compromete o empreiteiro com as dificuldades da falta de interpretação das peças desenhadas.

Representa um uso acrescido das novas ferramentas digitais na criação de um modelo global que está constantemente a ser atualizado com nova informação, proveniente da equipa projetista ou do empreiteiro. A fase de revisão do projeto é pouca desenvolvida e as peças desenhadas ainda estão a ser completadas quando o projeto já se encontra a ser construído.

Segundo (Ribeiro 2012) este método representa a origem de um projeto que procura, de forma colaborada, soluções para a realização de um projeto eficiente, com lucro e tem uma estrutura que favorece a utilização de novas ferramentas informáticas para a construção.

2.7.3 Metodologia CM-AT-RISK

Esta metodologia inclui um novo interveniente, figura 16, denominado de *Construction Manager*, CM, tendo o compromisso de entregar o projeto dentro do prazo máximo garantido (Ribeiro 2012).

O CM ajuda a analisar os projetos das instalações num prisma construtivo, define a quantidade de trabalho segundo as necessidades do cliente e os custos associados, estabelece prazos realistas e marcos no desempenho.

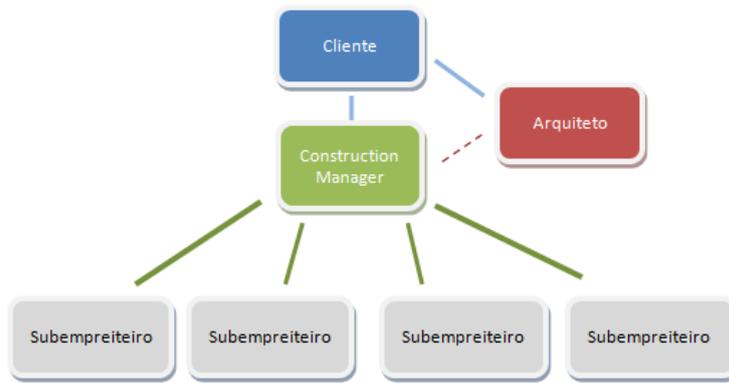


Figura 16 Esquema do processo CM-AT-RISK (Ribeiro 2012).

O CM é consultor na fase de conceção e empreiteiro na fase de execução e procura gerir e controlar os custos da construção para que não excedam o preço máximo.

2.7.4 Metodologia BIM-IPD

As vantagens na gestão da comunicação inerentes ao BIM estão presentes na figura 17, onde é possível verificar os canais de comunicação existentes no modelo tradicional comparativamente com o modelo BIM. Em (a) os canais de comunicação são 28, enquanto no modelo (b) existem apenas 8 canais de comunicação reduzindo para cerca de 1/3 as potenciais falhas de comunicação (Eastman, Teicholz e Sacks 2011).

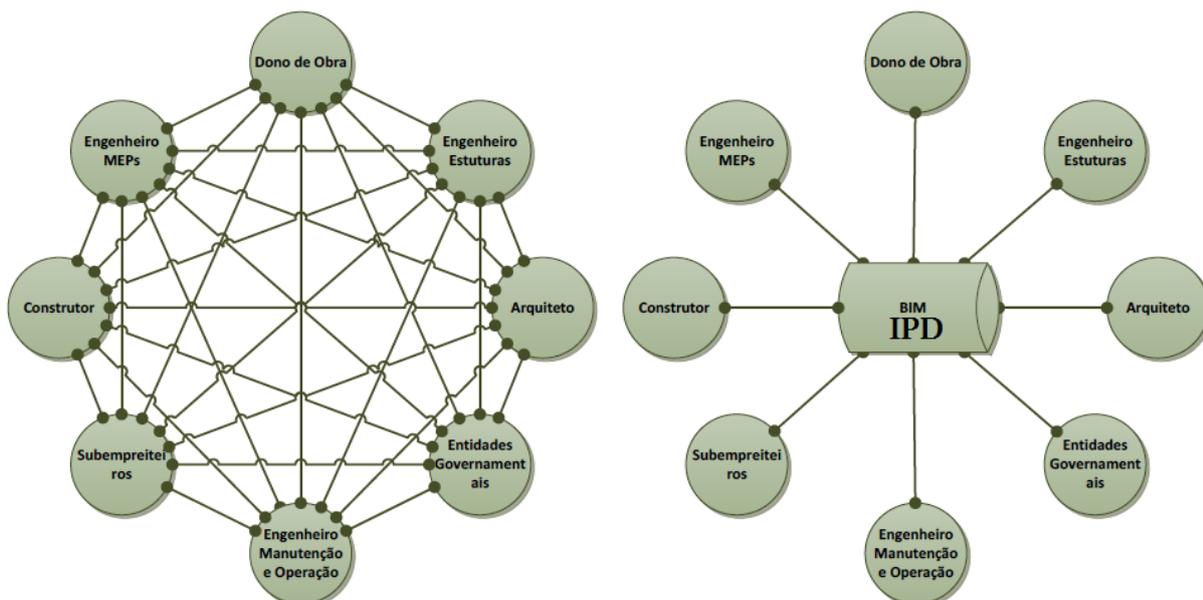


Figura 17 Comunicação no (a) modelo tradicional (esquerda) e (b) modelo BIM (direita) (Parreira 2013) [Adaptado: (Eastman, Teicholz e Sacks 2011)].

O projeto integrado distingue-se dos outros métodos pela total integração de todos os intervenientes na sua conceção, de modo a utilizar a experiência e o conhecimento de cada um para adicionar valor ao projeto. A utilização de BIM é considerada e aplicada nas restantes metodologias, mas associado ao IPD é muito recomendada e profundamente aproveitada (Ribeiro 2012).

O projeto integrado consiste numa maior integração entre os autores das diferentes disciplinas desde o início do processo, que resulta num sistema de oportunidades para o desenvolvimento de soluções na engenharia reduzindo custos e obtenção da informação com maior qualidade.

Na fase da construção o BIM-IPD permite verificar os conflitos e interferências existentes nas diferentes especialidades, resultando numa melhor qualidade do projeto, obter o levantamento das quantidades e estimativas de custo ao longo do ciclo de vida do empreendimento.

A produção de mapa de quantidades exige a capacidade, não somente de contar blocos cerâmicos, portas, janelas, acessórios, mas também a visualização desses elementos. Com a utilização do modelo BIM, que contém propriedades predefinidas ou definidas pelo usuário as quantidades são obtidas de forma automática.

O intercâmbio de dados digitais sobre o projeto de construção pode substituir a base de processos impressos e aumentar a velocidade e a eficiência da comunicação, bem como melhorar a gestão dos custos da conceção à conclusão. O objetivo, no entanto, é integrar todos os dados multidisciplinares gerados pela obra e otimizar a sua utilização (Matipa 2008).

A integração com todas as disciplinas, deteção automática de conflitos e a informação inserida dentro dos objetos BIM, resulta em múltiplas informações de cada elemento ou componente, bem como a sua classificação, figura 18, (Amorim 2010), assim, os orçamentistas compreendem e visualizam exatamente o que está a ser quantificado (Alder 2006).

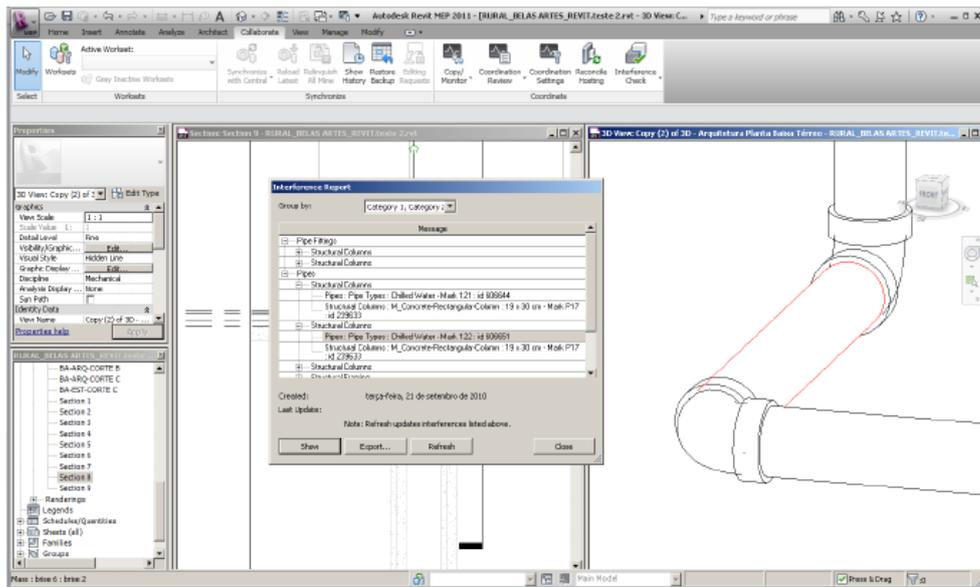


Figura 18 Demonstração da compatibilização de todas as disciplinas e detecção automática de conflitos [Fonte: (Amorim 2010)].

O BIM engloba várias especialidades da construção, permitindo a construção de modelos de arquitetura e as especialidades. Existem determinadas aplicações, como por exemplo o Autodesk Revit® que separam os módulos por diferentes aplicações (Revit Structural®, MEP®, entre outros), no entanto, este tipo de *softwares* permite sincronizar os vários modelos de modo a centralizar a informação e a permitir a sobreposição de projetos com vista à detecção de erros (Autodesk s.d.).

Entretanto devido a razões de direitos de autor os projetistas não partilham o modelo, impossibilitando o fluxo de trabalho.

Especialistas do setor trabalham em conjunto para desenvolver vários métodos de entrega do projeto onde o risco de responsabilidade, licenciamento e direitos de uso para a distribuição de dados digitais seja em modelos BIM.

2.7.5 Exemplo da metodologia do BIM-IPD

Segundo Bennett (2010) o IPD decorre de desafios atuais enfrentados pela indústria de projeto e construção, a necessidade de uma visão mais holística e percepção do projeto a partir das três perspetivas fundamentais: o projetista, o empreiteiro e o proprietário.

O exemplo que se segue foi baseado na metodologia BIM-IPD, a figura 19 apresenta uma representação virtual de uma moradia unifamiliar realizada através da modelação paramétrica,

software Autodesk Revit[®], a figura 20 representa a modelação estrutural utilizando o *software* CypeCAD[®] e a figura 21 representa a moradia na sua fase de construção.



Figura 19 Arquitetura de uma moradia isolada utilizando o *Software* Autodesk Revit[®].



Figura 20 Estabilidade de uma moradia isolada utilizando o *Software* CypeCAD[®].



Figura 21 Construção da moradia unifamiliar através do processo BIM-IPD.

A utilização do BIM-IPD permitiu obter:

- Redução significativa de erros e incompatibilidades no projeto devido à comunicação entre o arquiteto, cliente e empreiteiro;
- O cliente conseguiu visualizar o produto final antes deste ser construído;
- Otimização da eficiência;

- Redução dos desperdícios dos materiais usados;
- Base de dados importante e confiável para todo o ciclo de vida da obra.

2.8 Retorno do Investimento (ROI)

Os benefícios iniciais do BIM foram vistos através da economia originando um projeto, construção e manutenção mais eficiente. Podemos, finalmente, entregar um melhor projeto, a um custo de construção menor e mais sustentável (Rajendran, Wee e Chen 2012).

Desde o início da tecnologia BIM as empresas que adotam o BIM têm procurado compreender o impacto da tecnologia e da transição de *software* em termos de fatores quantitativos e qualitativos.

Uma análise do retorno do investimento (ROI) é uma das muitas maneiras de avaliar uma proposta de investimento. Ele compara os ganhos esperados de um investimento em relação ao custo do investimento.

$$\text{ROI} = \text{Lucro} / \text{Custo}$$

Mesmo com todos os seus pontos fortes, a análise de ROI é muitas vezes incapaz de representar fatores intangíveis que são importantes para um projeto ou uma empresa, tais como os custos evitados ou a melhoria da segurança. Além disso, os sistemas e pessoal necessários para mensurar e monitorar o ROI podem exigir, por si só, muito tempo e dinheiro (Autodesk 2014).

Os investimentos ocorrem em diferentes pontos ao longo de uma linha do tempo de adoção do BIM à medida que as empresas se tornam mais sofisticadas e o seu uso nos projetos se expande. Há 3 tipos de investimentos em BIM (Autodesk 2014), (tabela 1):

1. Custos iniciais para implementar a tecnologia;
2. Despesas de adaptar a inovação a um projeto específico;
3. Gastos de longo prazo para dar suporte a alterações estratégicas do negócio.

Tabela 1 Fatores do ROI (Autodesk 2014).

| (1) Investimento Inicial | (2) Gastos estratégicos | (3) Gastos de longo prazo |
|--|---|---|
| Plataforma tecnológica (hardware, rede, capacidade de armazenamento e na nuvem). | Adaptações na gestão de projetos. | Iniciativas de planejamento. |
| Custo pela aquisição de <i>software</i> . | Alterações nos fluxos de trabalho. | Desenvolvimento de normas. |
| Formação de BIM. | Alterações nos processos das equipas de trabalho. | Monitoramento, documentação e mensuração de impactos. |
| Comunicações, infraestrutura de partilha de dados. | Ajuste de requisitos de dados/modelos. | Personalização, inovação. |
| Modificações no local de trabalho. | - | Mão-de-obra adicional e/ou novas funções (por ex. gerente de BIM, suporte de TI). |

Entrevistas realizadas pela Autodesk BIM ROI *Customer Perception Study* (Autodesk 2014), a 28 profissionais da indústria que trabalham com projeto, construção e desenvolvimento imobiliário indicam que as empresas compreendem os custos associados à adoção do BIM como um custo separado, distinto das operações de negócios como um todo - tabela 1.

Conforme esse estudo, o investimento inicial em tecnologia é considerado uma despesa significativa por mais de 50% dos entrevistados, considerado também um custo inevitável para se manter competitivo e atualizado na indústria.

Analisando a tabela 1 os gastos de longo prazo, tais como o investimento em desenvolvimento de normas ou personalização, fazem parte do cálculo, mas pode ser difícil a sua quantificação.

Dependendo do seu papel em projeto, tabela 2, os proprietários reconhecem a comunicação entre as várias partes e a melhoria do processo de projeto e dos resultados como principais benefícios,

a equipa de projeto prioriza a produtividade e a comunicação e os empreiteiros a produtividade e o custo de construção menor.

A tabela seguinte consolida como os papéis das partes interessadas afetam a avaliação do BIM (Autodesk 2014).

Tabela 2 Avaliação do BIM através dos diversos intervenientes do projeto (Autodesk 2014).

| | Projeto | Construção | Proprietários |
|------------------------------|---|---|--|
| Adoção de BIM | Difundido, | Emergente e cada vez mais apreciado; | Muitos especificam o BIM, mas poucos usam ativamente ou o entendem plenamente. |
| Principais benefícios | Melhor a colaboração com as partes contribuintes do projeto; Menos retrabalho, menos pedidos de mudança. | Minimiza/elimina uma quantidade significativa de alterações; Melhora o planeamento da construção; Ótimo para estimativa de quantidades e materiais. | Pode reduzir o tempo de conclusão do projeto como um todo; Permite mais efetividade em planeamento, operações e atualizações. |
| Custos associados | Requer mais tempo para preencher totalmente o modelo; Os projetistas podem gastar mais tempo explorando as alternativas de projeto. | Requer uma mudança no processo de negócio e investimento na tecnologia. | Incerto no presente, exceto o investimento no software. |
| Interesse no ROI | Não é particularmente útil quando vinculado a uma decisão de usar ou não o BIM; Interessado em entender custos ocultos, bem como possíveis oportunidades de receita. | Não diretamente relevante, já que a decisão sobre a BIM em geral não é tomada por eles. | Interessado e precisa de educação sobre como aproveitar ao máximo os recursos projetados em BIM. |
| Panorama do BIM | Veio para ficar. Torna o trabalho mais complexo. | Bem-vindo, que deve ser aplicado a todos os projetos. | Potencial significativo e cada vez mais um requisito padrão imposto às partes contribuintes do projeto. |

Relativamente aos benefícios do BIM apontados para os agentes da construção a *Stanford University Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE)* baseada em 32 grandes projetos realizados em BIM indica benefícios como (Kunz e Ficher 2012) adaptado por (Parreira 2013):

- Redução em 40% de trabalhos não orçamentados;
- Erro na estimativa dentro dos 3%;
- Redução em 80% no tempo de orçamentação;
- Economia de 10% do valor de contrato resultantes da resolução de conflitos;
- Redução de 7% no tempo de projeto.

2.9 BIM na sustentabilidade

O conceito da sustentabilidade, redução de emissões de CO₂ e melhorias de eficiência energética traduz numa análise integral do edifício de acordo com o seu ciclo de vida.

O recurso ao BIM permite, conforme figura 22:

- Otimizar o uso de energia, água, materiais e do solo com análises integradas e precisas de energia e ambiente;
- Estudar as diversas alternativas de projeto com mais antecedência no processo;
- Monitorizar, acompanhar e melhorar o desempenho usando modelos 3D inteligentes.

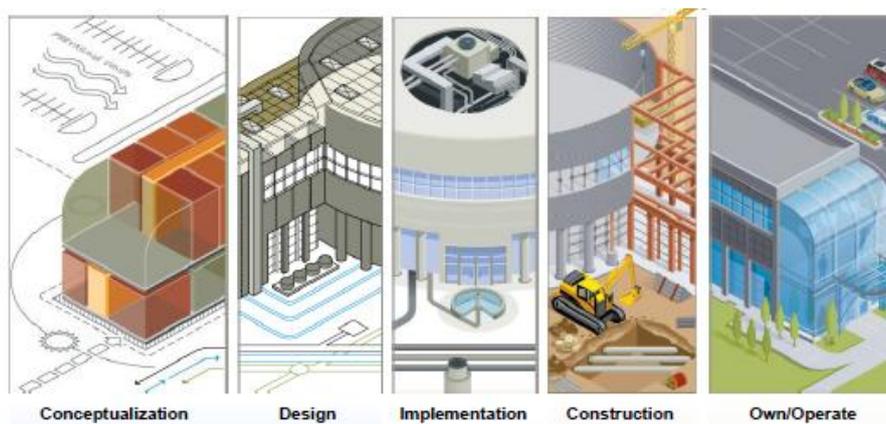


Figura 22 Aplicação do BIM na sustentabilidade dos edifícios [Fonte: (Autodesk, Inc. 2008)]

De acordo com Amorim (2010), as aplicações BIM permitem obter um edifício mais sustentável, através de uma maior facilidade na análise de soluções construtivas, absorção da radiação solar, desempenho energético, sustentabilidade e projetos mais precisos e eficientes. Como resultados da integração do BIM teremos menores perdas de recursos naturais e menor impacto da obra.

Alguns autores indicaram os fatores que contribuem para a capacidade do BIM, nomeadamente o uso do BIM como uma ferramenta de fácil produção em nD de qualquer compartimento do edifício para melhorar a compreensão e ajudar na tomada de decisão em todas as fases do projeto de modo a (Liu 2011), (Rajendran, Wee e Chen 2012), (Biotto, Formoso e Isatto 2012):

- Garantir um melhor planeamento e gestão de obra (4D) por meio da análise do modelo de construção em relação aos requisitos do proprietário (Solibri®);
- Integração da componente térmica e energética, sustentabilidade e ferramentas de iluminação, resultando em edifícios de elevado desempenho energético (Ecotec® e Graphisoft®);
- Melhor controlo de custos (5D) com base em estimativa inicial e durante o projeto (Beck Technology®);
- Técnicas avançadas de visualização que podem ser usadas para estudos de energia solar e produção de imagens tridimensionais para animações de construção (Revit® e o Ecotec®);
- Aplicação da gestão das instalações com recurso ao modelo BIM para rápida partilha de informação, melhoria da gestão dos espaços, uso eficiente da energia, aprimoramento do ciclo de gestão e simulações integrando a manutenção e operação do edifício (6D), *Facility Management* (FM).

Acompanhando todo o ciclo de vida do edifício e contribuindo para a sustentabilidade dos edifícios. Na figura 23 podemos ver as funcionalidades e potencialidades associada à capacidade do BIM.

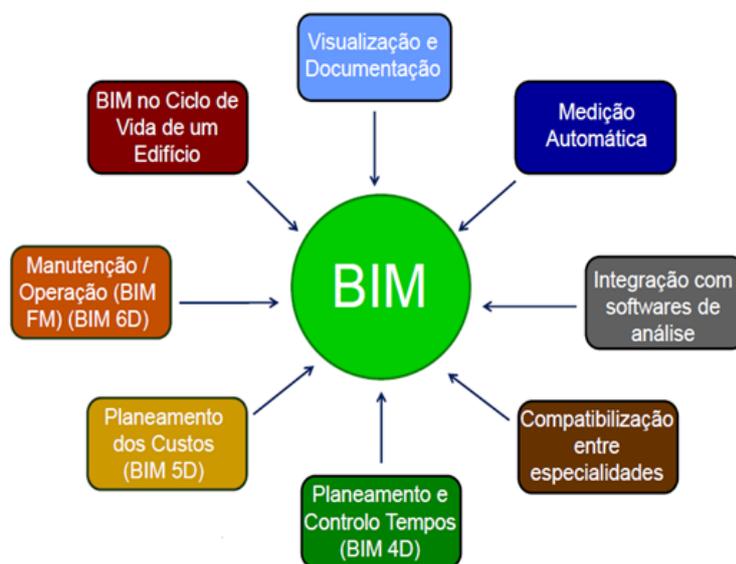


Figura 23 Funcionalidades e potencialidades do BIM [Fonte: (Bruno Caires 2013)].

A sustentabilidade de um edifício é determinada segundo vários fatores, desde a economia de água, eficiência energética, seleção de materiais, etc. Esses fatores são influenciados pelo projeto de diferentes intervenientes, desde a arquitetura, projeto estrutural, instalações hidráulicas, térmica, qualidade do ar interior, entre outros.

Como resultado a importação BIM em programas como o 3DS Max Design[®], Ecotect[®] e Revit Architecture[®], origina numa relação entre as especialidades de forma automática de modo a permitir a alteração dos materiais e alterar a orientação (Rajendran, Wee e Chen 2012).

Além disso, não há nenhuma aplicação de *software* perfeita, que é capaz de conter todas as informações criadas sobre todo o ciclo de vida de um edifício. BIM é uma ferramenta especializada que é projetada para resolver este problema, embora haja alguma imperfeição devido às seguintes questões legais incorridas, pode ser resolvido fazendo algumas alterações no contrato atual usado ou desenvolver alguns novos termos para proteger o usuário BIM que está a tornar-se cada vez mais importante na sustentabilidade (Rajendran, Wee e Chen 2012), (Hergunsel 2011).

O uso desta tecnologia pode revelar-se extremamente útil pois pode potencializar a redução do custo de um projeto sustentável. Isto é possível porque o BIM permite que a informação seja facilmente acessível para o projeto, análise e certificação.

2.10 *Software* BIM

Dos principais *softwares* existentes no mercado o Revit Architecture[®] da Autodesk, figura 24, é um *software* específico para a modelação de informação para a construção (BIM), qualquer alteração reflete-se automaticamente em todo o projeto. Os recursos principais do *software* são (Autodesk s.d.):

- Componentes paramétricos;
- Quantidades dos materiais;
- Vistas 3D e sombreamento instantâneo;
- Verificação de interferências;
- Renderização integrada
- Opções de importação e exportação.

Um outro *software* de arquitetura é o ArchiCAD® da Graphisoft que pertence ao grupo Nemetschek, integrando também o *software* Allplan®, ambos com plataforma BIM.

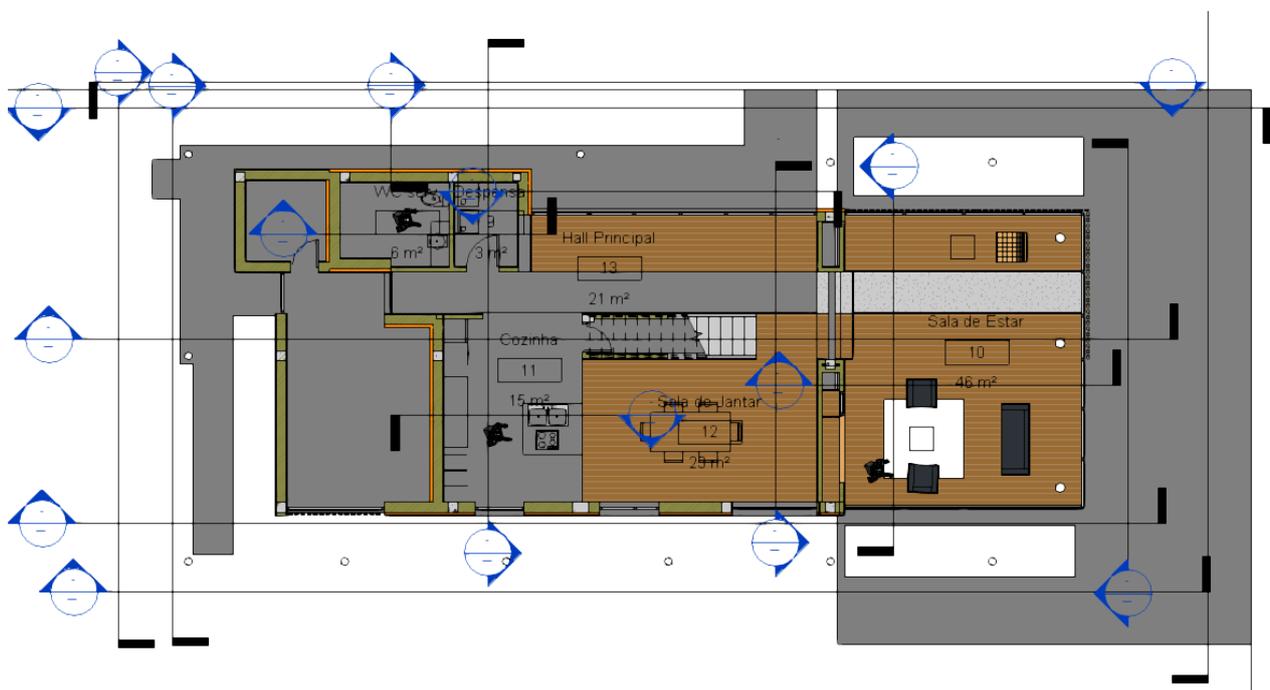


Figura 24 Planta extraída pelo Revit Architecture®.

Na disciplina estrutural o *software* Bentley Structural® da Bentley Systems proporciona uma integração entre a arquitetura, engenharia, análise, construção e operações para todo o ciclo de vida do edifício. Um outro *software* de análise estrutural e modelação é o Tekla Structure® da Tekla produto que pode ser utilizado para gerir todo o processo de construção desde a conceção até à fabricação, montagem e gestão da construção. O CypeCAD® da Cype proporciona uma boa interoperabilidade entre o Revit® e o ArchiCAD®, identificando os elementos como sendo estruturais facilitando o seu cálculo e não realizando uma análise não linear.

Já para a análise térmica e instalações hidráulicas temos o CypeMEP® da Cype, apresenta uma boa interoperabilidade com os *software* de arquitetura mais comuns do mercado, identificando grande parte dos elementos do edifício.

Para a fase da construção do edifício o Vico® *Software* fornece desde o 3D *Quantity Takeoff* para exportação de quantidades da geometria BIM, o 4D integrando as quantidades baseadas em localização do edifício, os recursos necessários, as taxas de produtividade e os custos associados sempre de acordo com o modelo BIM. Com o 4D o Vico® produz cronogramas de custos e recursos associados ao modelo sendo depois comparado com o progresso obtido na fase da construção 5D.

Segue uma lista de aplicações comerciais BIM mais utilizadas no mercado nacional, organizada por especialidade.

Tabela 3 Listagem das aplicações comerciais utilizando modelos BIM (Simões 2013).

| Especialidade | Aplicativo | Fornecedor |
|--------------------------------|--|--------------------------|
| Arquitetura | Revit Architecture [®] | Autodesk |
| | ArchiCAD [®] | Graphisoft |
| | Vectorworks [®] | Nemetschek / Vectorworks |
| | Bentley Architecture [®] | Bentley Systems |
| | Allplan [®] | Nemetschek Allplan |
| | DDS-CAD Architecture [®] | Data Design System |
| | Digital Project [®] | Gehry Technologies |
| | Arriba CA3D [®] | RIB |
| Estruturas | Revit Structure [®] | Autodesk |
| | CypeCAD [®] | Cype |
| | SDS/2 [®] | Design Data |
| | Scia Engineer [®] | Nemetschek Scia |
| | Tekla Structures [®] | Tekla |
| | CAD/TQS [®] | TQS |
| | Bentley Structural [®] | Bentley Systems |
| Eletricidade | Revit MEP [®] | Autodesk |
| | Building Electrical Systems [®] | Bentley Systems |
| | DDS-CAD Electrical [®] | Data Design System |
| Águas e AVAC | Revit MEP [®] | Autodesk |
| | Bentley Mechanical Systems [®] | Bentley Systems |
| | CypeMEP [®] | Cype |
| Gestão de Projeto | Navisworks [®] | Autodesk |
| | Synchro [®] | Synchro Software |
| | Solibri Model Checker [®] | Solibri |
| Gestão e Orçamentação de Obras | Vico Office [®] | Vico |
| | Volare/TCPO [®] | Engenvertis |

O custo estimável da construção continua a confiar principalmente em documentos impressos e folhas de cálculo como o Microsoft Excel™, com uma percentagem relativamente pequena dedicada a *softwares* personalizados ou tecnologia de base de dados.

A realização do orçamento/planeamento através de ferramentas BIM eliminaria os atrasos provocados pela escassez de equipas e por planeamentos irrealistas. As perdas de material motivadas por erros de medição de quantidade, embora não sendo eliminadas completamente, poderão ser atenuadas (Vasconcelos 2010).

O "*Building Information Management*", na sua definição mais simples, é o planeamento do ciclo de vida do edifício construído, suportado pela tecnologia digital, figura 25, (Cholakis e Trebas 2013).

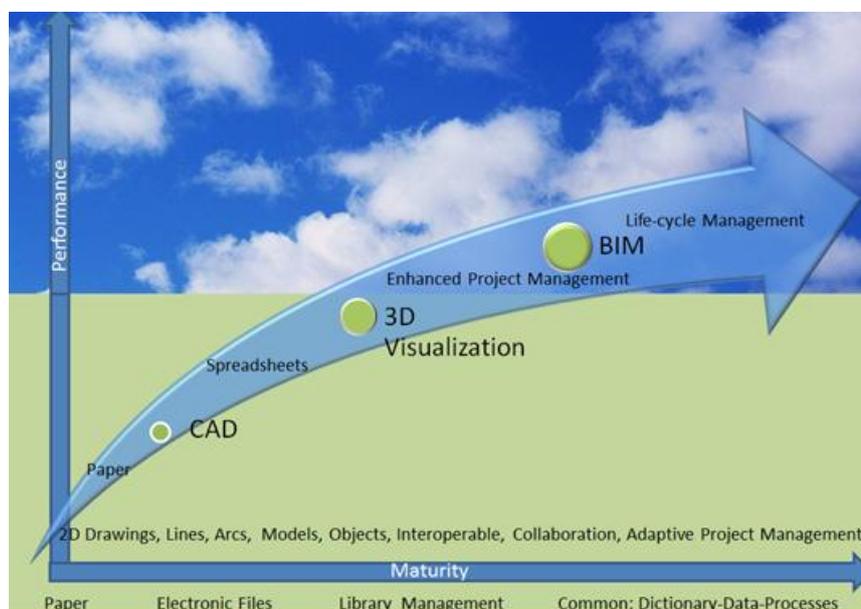


Figura 25 Planeamento do ciclo de vida do edifício [Fonte: (Cholakis e Trebas 2013)].

3 Metodologia

Foi proposto a realização de um caso prático referente à execução de uma moradia unifamiliar isolada, utilizando a metodologia BIM-IPD, desde a sua concessão à construção.

Os *softwares* utilizados para a modelação, dimensionamento e planeamento de obra foram o Revit[®] da Autodesk para modelação da arquitetura e elementos estruturais, o CypeCAD[®] da Cype para dimensionamento estrutural e o CypeMEP[®] para análise térmica, dimensionamento e verificação das instalações hidráulicas, o NavisWork[®] da Autodesk com o Project[®] da Microsoft para o planeamento e gestão da obra e o Excel[®] da Microsoft, o Revit[®] e o NavisWork[®] para a orçamentação.

Durante a sua construção é proposto a utilização da informação do modelo BIM como base para a execução do edifício, resposta rápida a eventuais mudanças do projeto, deteção de erros e omissões antes da construção e a sincronização entre o projeto e a gestão da construção.

A metodologia adotada para a implementação do BIM está de acordo com o modelo de Succar (n.d.). Este autor define as seguintes fases: Pré BIM, Modelação, Colaboração, Integração e IPD. Nesta metodologia todas as fases se encontram intercorrelacionadas. (Succar n.d.).

- **Pré BIM:** Baseado em desenhos CAD 2D com algumas visualizações em 3D, sem integração entre os diferentes documentos gerados. Esta fase consiste na análise das plantas do edifício e suas renderizações;
- **Modelação:** Esta é a fase inicial da implementação do BIM e baseia-se na modelação individual das disciplinas com os *softwares* Revit Architecture[®], Revit MEP[®] e o Revit Structure[®]. Estes modelos são utilizados na fase de projeto e construção, obtendo a criação automática de desenhos, compatibilização de projetos, visualizações 3D e tabelas simples de quantidades.
- **Colaboração/Integração:** Após a modelação realizada será iniciado o processo de interoperabilidade entre os diversos *softwares* BIM no formato IFC para geração do 4D e 5D utilizando o *software* NavisWork[®]. Salienta-se a reciprocidade entre a modelação e a colaboração/integração.
- **IPD:** Baseando-se na colaboração dos diferentes agentes envolvidos será obtido um modelo global, que serve de apoio à fase de construção.

4 Caso de Estudo: Uso de ferramentas BIM

4.1 Integração e criação de um modelo digital 3D

O caso de estudo trata de uma habitação unifamiliar composta por 2 pisos, um dos quais com um desnível de 80cm (r/c), localizada no concelho de Celorico de Basto. A fração autónoma é de tipologia T3, possuindo fachadas na orientação Nascente, Sul, Poente e Norte, conforme documenta a figura 26.



Figura 26 Renderização do caso de estudo (LOD 100).

– Arquitetura

A arquitetura foi realizada com base na criação de um modelo paramétrico BIM, para relacionar a arquitetura das diversas especialidades. Já que o projeto de arquitetura foi fornecido em 2D foi necessário a sua análise e verificação relativamente a pormenores que não se encontravam explícitos nas peças desenhadas.

As figuras 27 e 28 evidenciam o modelo do edifício utilizando o *software* Revit[®] v2014 da Autodesk com um LOD 200.

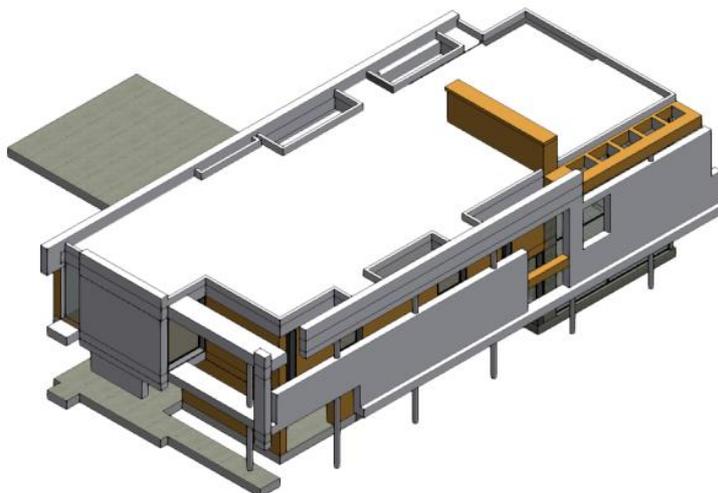


Figura 27 Modelação paramétrica do Edifício (LOD 200).

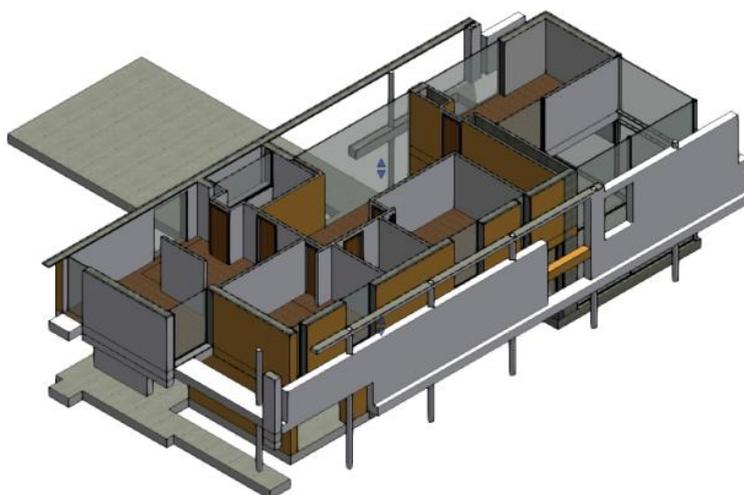


Figura 28 Corte Horizontal do modelo paramétrico (LOD 200).

Após a verificação, análise e conclusão da modelação paramétrica do modelo de arquitetura em colaboração com o autor do projeto verificou-se a existência de alguns erros e omissões nas peças desenhadas que não correspondiam ao pretendido.

As figuras 29, 30, 31 e 32 evidenciam algumas diferenças encontradas na modelação sobre as peças desenhadas entregues em formado CAD.

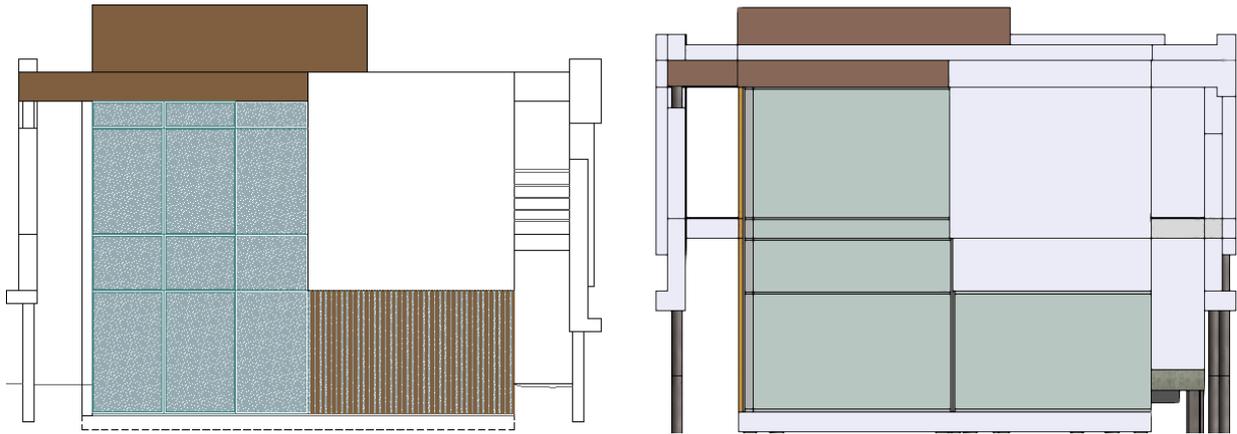


Figura 29 Representação do Alçado Nascente (a) Desenhos em CAD (esquerda) e (b) Desenho em BIM (direita).

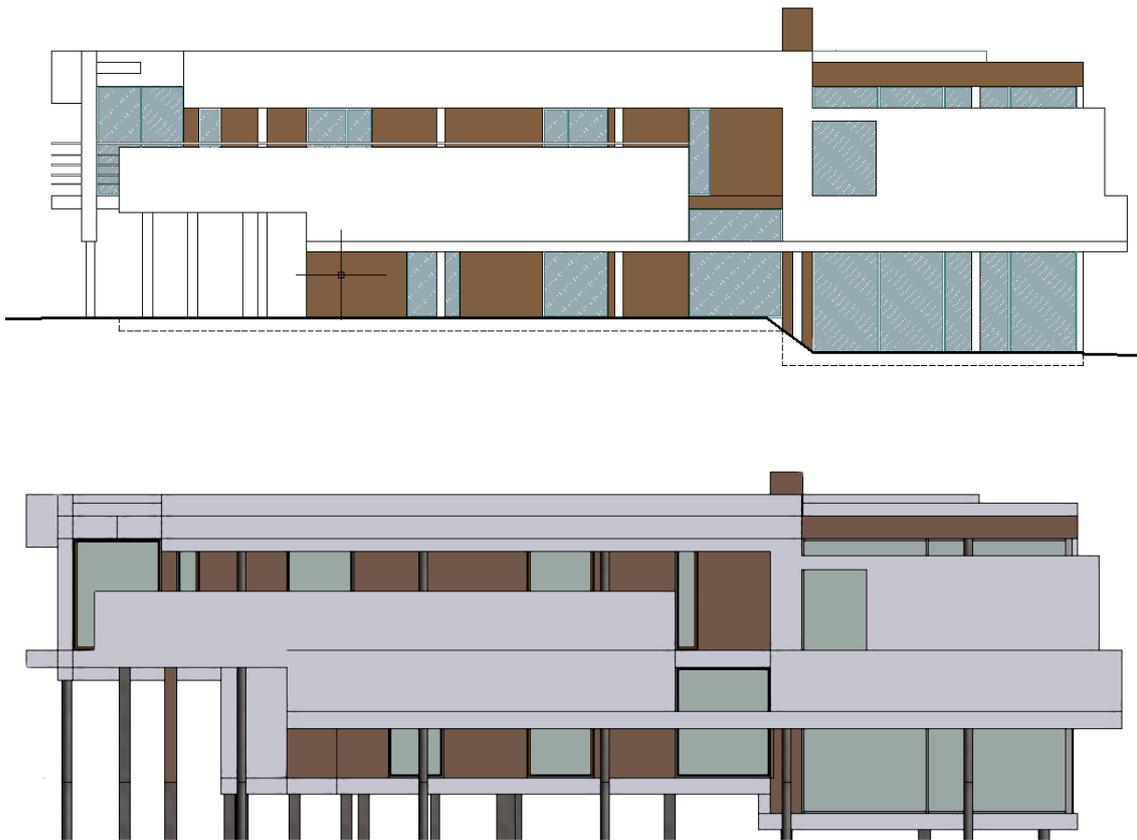


Figura 30 Representação do Alçado Sul (a) Desenhos em CAD (superior) e (b) Desenho em BIM (inferior).

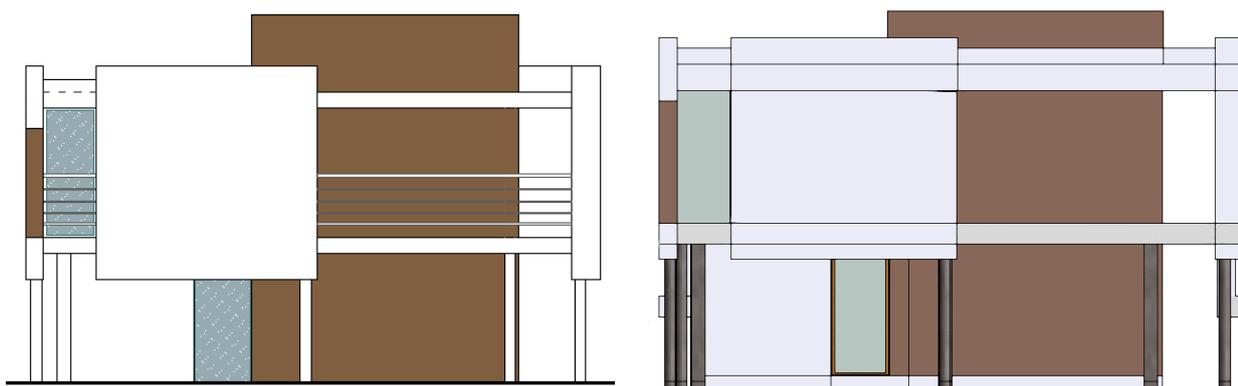


Figura 31 Representação do Alçado Oeste (a) Desenhos em CAD (esquerda) e (b) Desenho em BIM (direita).



Figura 32 Representação do Alçado Norte (a) Desenhos em CAD (superior) e (b) Desenho em BIM (inferior).

São notáveis as diferenças das peças desenhadas obtidas com base na modelação paramétrica. Salienta-se que esta comparação é obtida unicamente através do *software* de modelação, sem recurso a outro *software* de desenho assistido por computador.

O passo seguinte foi a colaboração com a arquitetura e as especialidades, procedendo-se à modelação estrutural e posterior dimensionamento.

– Estabilidade

A modelação dos elementos estruturais foi executada no mesmo *software* que a arquitetura, sendo posteriormente exportado para um *software* de cálculo estrutural CypeCAD[®] da Cype.

O procedimento (rotina) adotado para o dimensionamento e validação do sistema estrutural foi:

- Modelação dos pilares, lajes e pórticos através do Revit[®];
- Exportação através de IFC do Revit[®] para o CypeCAD[®];
- Análise e Dimensionamento no CypeCAD[®];
- Exportação através de IFC do CypeCAD[®] para o Revit[®];
- Verificação e validação do modelo estrutural obtido com a Arquitetura;
- Se não estiver de acordo com o modelo de Arquitetura, voltar para o ponto inicial.

Este é um processo iterativo e colaborativo com o autor do projeto de arquitetura, de modo a proporcionar uma estrutura otimizada, evitando erros de projeto que condicionem a evolução dos trabalhos na sua execução, bem como a Arquitetura do edifício.

Conforme demonstrado na figura 33, existem algumas diferenças significativas e importantes comparando o modelo inicial com o modelo final, o que originou uma maior redução de custos, inerentes ao modelo estrutural.

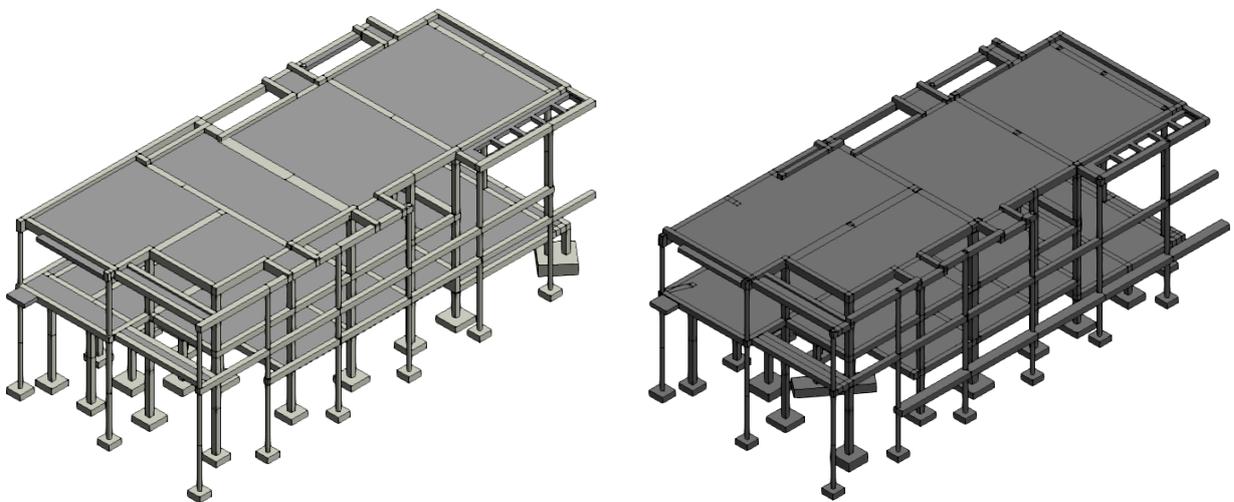


Figura 33 Representação da modelação estrutural (a) modelação inicial (esquerda) e (b) modelação final destinada à sua execução (direita).

As vantagens da utilização do BIM no dimensionamento estrutural foram principalmente:

- Verificação dos elementos estruturais de acordo com a arquitetura;
- Visualização mais rápida e eficaz do sistema estrutural - pilar x viga;
- Verificação de elementos estruturais necessários como apoio de alvenarias;
- Análise e validação do sistema estrutural com as diversas especialidades;
- Análise colaborativa entre os diferentes autores envolvidos;
- Análise de forma automática dos custos inerentes à sua execução;
- Comparação rápida dos diversos estudos efetuados.

Com base nas vantagens analisadas através da utilização do BIM na modelação e dimensionamento estrutural verificou-se que foram realizadas alterações que resultaram numa versão final do modelo estrutural 7% mais económico (Quadro 1).

Quadro 1 Análise comparativa orçamental da primeira versão do modelo paramétrico estrutural e da versão final.

| Elementos Estruturais | Análise Orçamental | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------------|----------------|--------------------|
| | 1.ª Versão | | | Versão Final | | |
| | Quantidades | Preço Unitário | Valor Final | Quantidades | Preço Unitário | Valor Final |
| Betão C20/25 | 97,04 m ³ | 64,05 € | 6.215,69 € | 91,00 m ³ | 64,05 € | 5.828,81 € |
| Aço A400 NR | 6.945,76 kg | 1,07 € | 7.454,88 € | 6.080,00 kg | 1,07 € | 6.525,66 € |
| Material de Cofragem | 983,48 m ² | 10,00 € | 9.834,80 € | 962,00 m ² | 10,00 € | 9.620,00 € |
| Total | | | 23.505,38 € | Mais económica 7% | | 21.974,48 € |

Esta análise económica foi realizada através da listagem automática obtida pelo software de cálculo estrutural e com base nos preços de mercado para os materiais e equipamentos.

- MEP e Análise Térmica/Acústica

A interoperabilidade entre o Revit[®] e o Cype CypeMEP[®] v2014 não se encontra bem definida, apresentando algumas lacunas e limitações. Numa primeira fase optou-se por importar a arquitetura, já com a estabilidade utilizando o formato ifcx4, no entanto, não foi possível identificar todos os elementos da arquitetura, tornando complicada a sua interoperabilidade, figura 34.

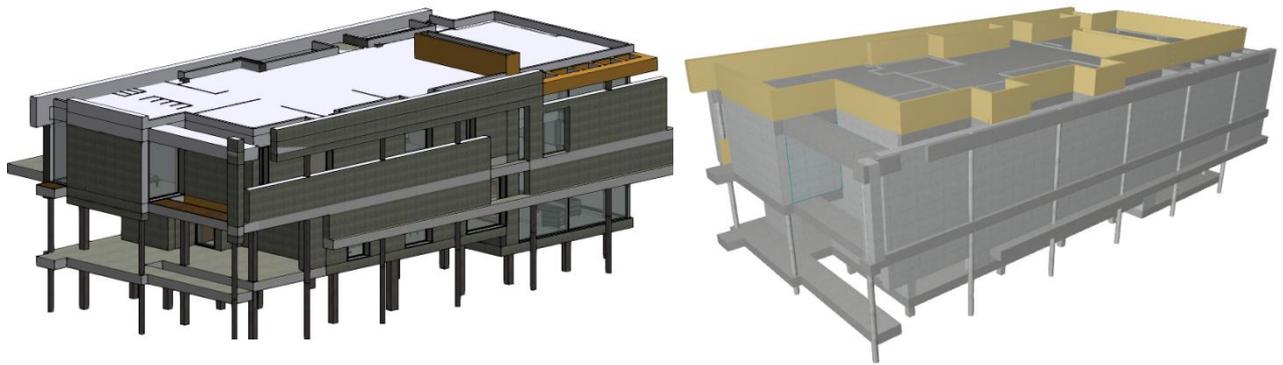


Figura 34 Representação da modelação para cálculo e verificação, (a) modelação Revit[®] (esquerda) e (b) modelação realizada por IFCx4 em CypeMEP[®] (direita).

Deste modo, optou-se por "simplificar" o modelo global para tornar viável a interoperabilidade entre *softwares*, importando apenas os elementos lajes, paredes e pavimentos.

Resultou num acréscimo de trabalho, pois foi necessário modelar novamente o edifício para posteriormente proceder á sua análise e dimensionamento. A figura 35 representa o modelo final obtido pelo *software* CypeMEP[®] v2014.

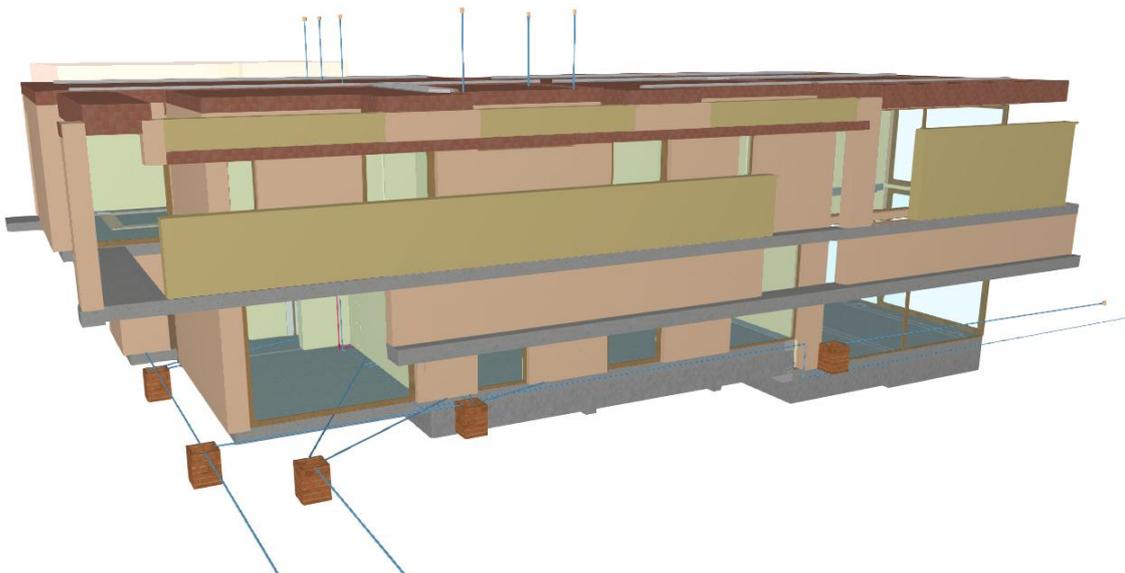


Figura 35 Representação da modelação final do CypeMEP[®].

Após a sua análise, através do formato IFC, foi exportado o modelo final obtido no CypeMEP[®] para o modelo inicial da Arquitetura. Esta exportação também se mostrou ineficiente, pois o Revit[®] não reconheceu as famílias dos elementos hidráulicos, figura 36, foi portanto necessário reformular os elementos importados gerando, deste modo, um modelo global do edifício.

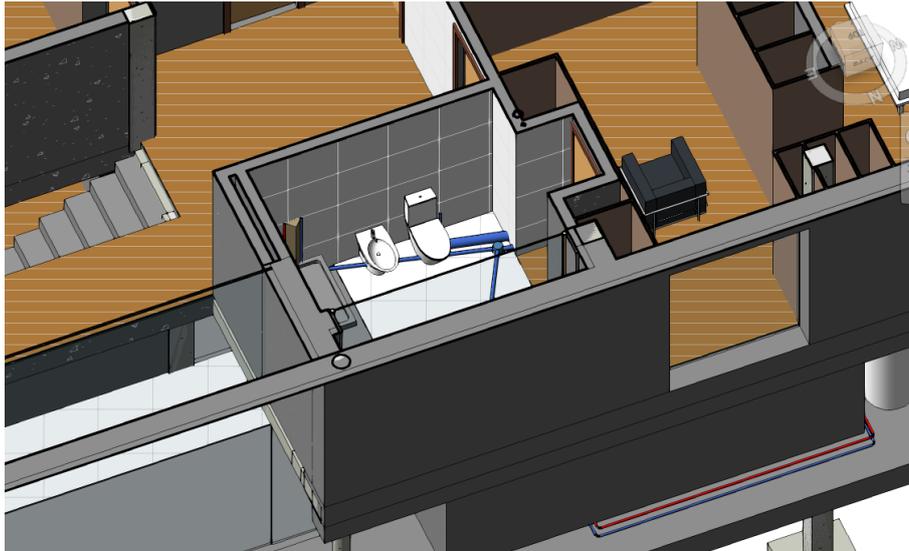


Figura 36 Representação da modelação resultante da exportação do CypeMEP® para o Revit®.

– Análise das colisões e interferências do modelo gerado

Para verificar as colisões e interferências do modelo gerado foi utilizado o *software* NavisWork® da Autodesk. Depois de gerado o modelo global que agrupou todas as especialidades no Revit®, foi exportado por *DWFx* para o *software* NavisWork® da Autodesk, conforme figura 37. Optou-se pela exportação em *DWFx* pois o IFC mostrou-se menos eficiente.

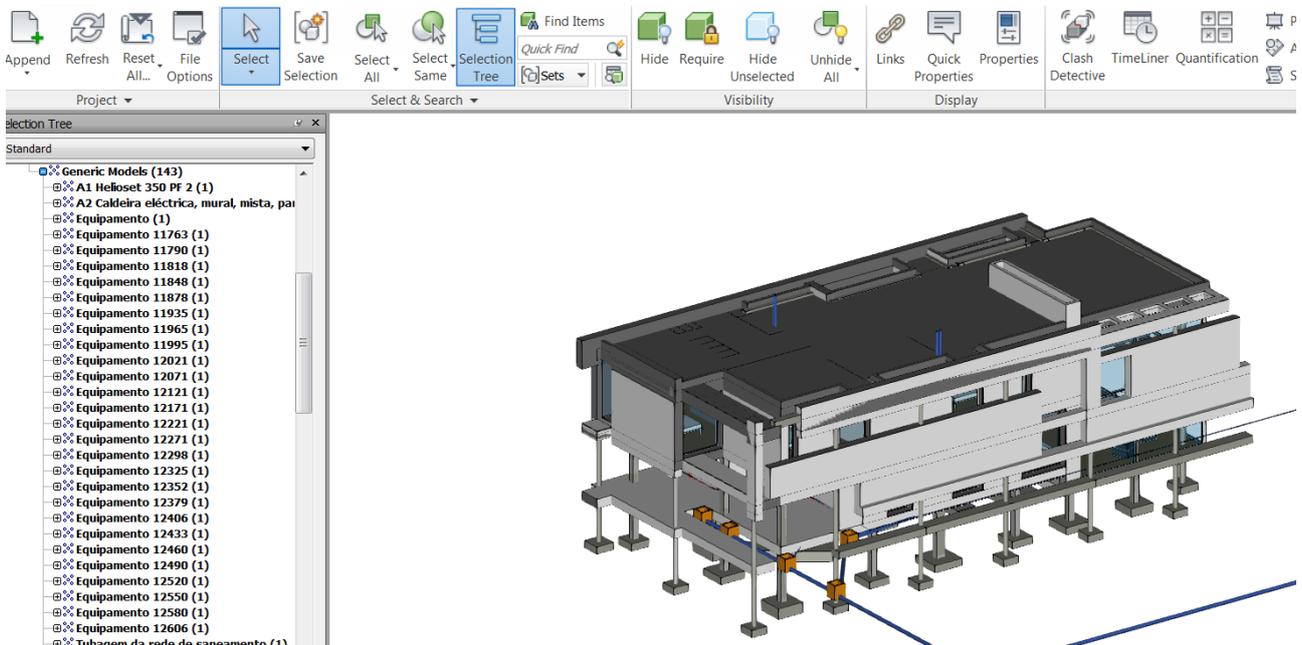


Figura 37 Representação da modelação resultante da exportação do Revit® para o NavisWork®.

Esta análise permitiu identificar coretes, interferências, erros de projeto e incompatibilidades entre as diversas especialidades, resultando num modelo mais eficiente e completo.

Este foi um processo iterativo com vista à execução do modelo final e com propósito de otimizar custos, materiais e processos de trabalho.

4.2 Orçamentação e planeamento da obra

Após realizadas as alterações necessárias procedeu-se à extração das peças desenhadas e quantificação das quantidades para a orçamentação e planeamento de obra na execução do betão armado e alvenarias.

Para a exportação e quantificação das quantidades necessárias à elaboração do orçamento foi necessário reformular o modelo global, figura 38, atribuindo um nível de detalhe superior (LOD 400) e utilizando esse mesmo modelo para a fase de construção.

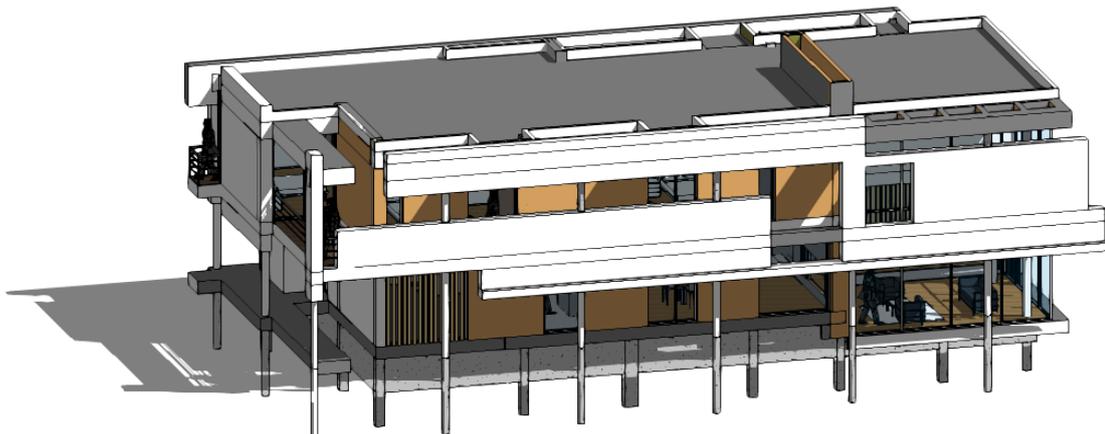


Figura 38 Representação paramétrica do modelo final

Foi gerada, de forma automática, a listagem de peças desenhadas, figura 39, peças escritas e listagem das quantidades de obra necessárias para a realização do orçamento e encomendas.

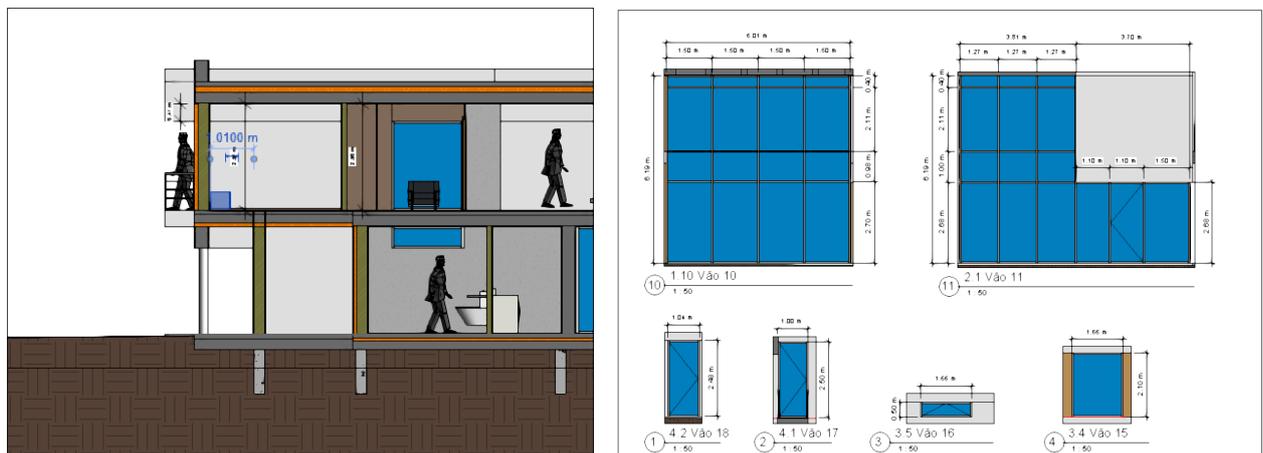


Figura 39 Exemplo da representação de (a) cortes identificando pormenores construtivos necessários para a execução do betão armado e (b) mapa de vãos.

Permite esmiuçar e detetar pormenores construtivos e elementos necessários à execução da obra, extrair e quantificar as quantidades necessárias à sua orçamentação e gestão da construção. A figura 40 representa a extração automática das quantidades de obra utilizando o NavisWork[®].



Figura 40 Listagem automática das quantidades através do NavisWork[®].

Por fim foi obtido o orçamento previsto para a execução da obra, com base nas quantidades extraídas nos *softwares* CypeCAD[®], Revit[®] e NavisWork[®], conforme a figura 41 e introduzidas numa folha de cálculo para posterior orçamentação.

| | | | | | |
|-------|---|----|----------|----------|------------|
| 3.2 | Fornecimento e betonagem de elementos em infra-estrutura, com betão C20/25, incluindo armadura em aço A400NR, aditivo hidrófugo, cofragem e descofragem, conforme pormenores. | | | | |
| 3.2.1 | Sapatas isoladas | m3 | 12,53 | 148,38 € | 1.859,14 € |
| | Betão C20/25 | m3 | 12,53 | 64,05 € | |
| | Cofragem | m2 | 47,62 | 8,50 € | |
| | Ø6 | kg | 23,09 | 0,91 € | |
| | Ø12 | kg | 475,85 | 0,85 € | |
| | Ø16 | kg | 269,45 | 0,84 € | |
| 3.3 | Fornecimento e betonagem de elementos em super-estrutura, com betão C20/25, incluindo armadura em aço A400NR, cofragem e descofragem, conforme pormenores. | | | | |
| 3.3.1 | Em pilares. | m3 | 10,75 | 446,80 € | 4.803,05 € |
| | Betão C20/25 | m3 | 10,75 | 64,05 € | |
| | Cofragem | m2 | 183,40 | 10,75 € | |
| | Ø6 | kg | 341,00 | 0,91 € | |
| | Ø12 | kg | 1.153,00 | 0,85 € | |
| | Ø16 | kg | 1.015,00 | 0,84 € | |
| 3.3.3 | Em vigas. | m3 | 36,18 | 235,31 € | 8.513,45 € |
| | Betão C20/25 | m3 | 36,18 | 75,12 € | |
| | Cofragem | m2 | 269,19 | 11,40 € | |
| | Ø6 | kg | 617,10 | 0,91 € | |
| | Ø8 | kg | 120,80 | 0,89 € | |
| | Ø10 | kg | 1.349,50 | 0,87 € | |
| | Ø12 | kg | 582,50 | 0,85 € | |
| | Ø16 | kg | 252,70 | 0,84 € | |
| | Ø20 | kg | 209,90 | 0,84 € | |

Figura 41 Extrato da medição e orçamentação realizada ao modelo global.

A gestão da obra foi realizada através do NavisWork® com o auxílio do Microsoft Project®, sendo possível simular a construção da obra, figura 42.

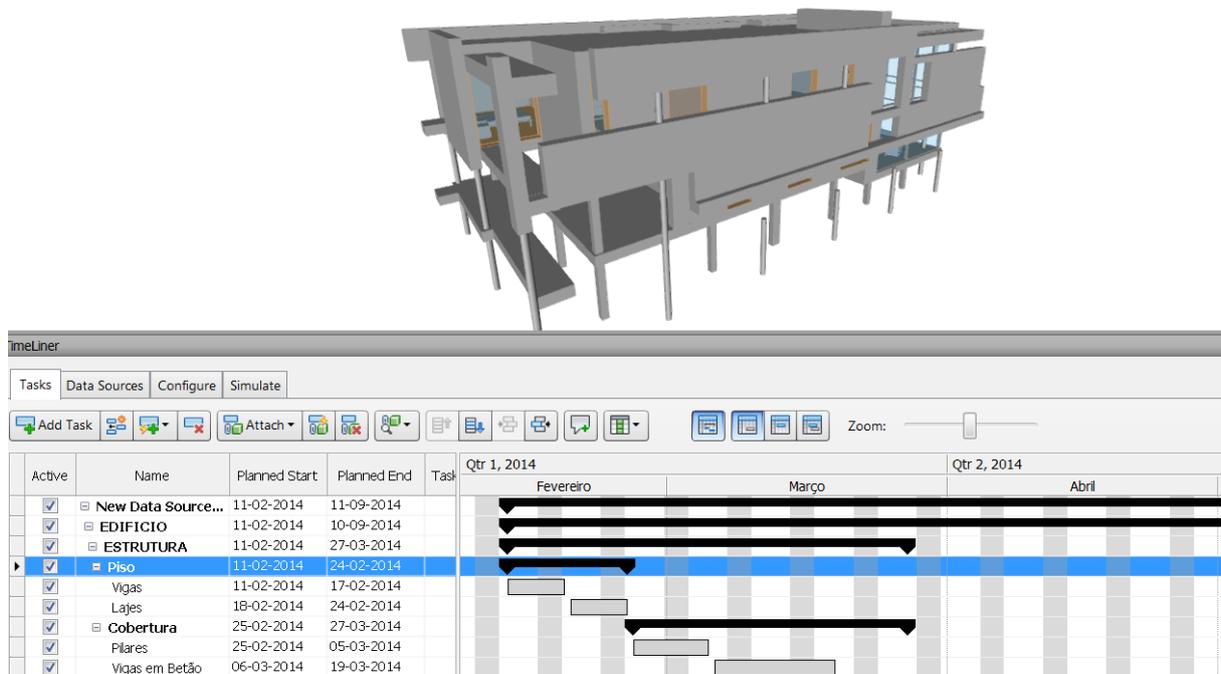


Figura 42 Planeamento de obra utilizando o NavisWork® e o Microsoft Project®.

4.3 Execução da obra através do modelo BIM

A adjudicação e execução da obra teve como princípio o modelo BIM-IPD. A execução da obra ocorreu dentro do esperado, evidenciando uma redução significativa no tempo previsto e no tempo utilizado. Facilmente se verificou a necessidade de obter pormenores construtivos e a vantagem do BIM como resposta imediata à sua realização.

A figura 43 evidencia o desnível no pavimento realizado nos locais onde é necessário colocar isolamento, com base no projeto térmico (a) e a realização de negativos necessários para as instalações hidráulicas (b) e (c).



Figura 43 (a) Desnível do pavimento (esquerda), (b) e (c) Negativo para águas residuais (central e direita, respetivamente).

A figura 44 representa uma otimização dos pilares circulares, uma vez que não havia necessidade de estes serem feitos com a altura total, sendo posteriormente revestido a alvenaria.

Assim foram executados de forma a minimizar o seu custo, quer no pedido da cofragem quer na sua execução.



Figura 44 Representação dos pilares circulares de forma otimizada (a) - esquerda, (b) - central e (c) - direita.

A figura 45.a evidencia um erro construtivo executado na continuidade de um pórtico entre os pilares circulares. Na figura 45.c verifica-se que o modelo BIM não apresenta uma continuidade no pórtico na zona inferior á varanda. A figura 45.b representa a sua correção, que foi possível devido á rápida análise e interpretação do modelo BIM.



Figura 45 Representação do erro construtivo executado em obra, (a) representação inicial (esquerda), (b) representação final corrigida (central) e (c) representação digital do modelo (direita).

A evolução no decorrer dos trabalhos mostrou a importância do BIM como ferramenta para o acompanhamento na fase de construção. A figura 46 mostra o edifício na fase final da execução da estrutura e alvenarias, evidenciando a sua complexidade, que foi minimizada, assim como os erros de projeto e derrapagem orçamental devido à utilização do modelo BIM.



Figura 46 Exemplo da representação de cortes identificando pormenores construtivos necessários para a execução do betão armado e alvenarias e mapa de vãos.

4.4 Discussão dos resultados

Tendo por base um correto planejamento e execução da obra foi possível apurar os seguintes resultados:

- A permanência dos trabalhadores em obra conforme o tempo e planejamento previstos;
- Relativamente aos materiais, analisados em pormenor no quadro 2, houve um aumento do calculado face ao previsto de 8% no betão C20/25, de 3% no aço e de 4% nas alvenarias.

De um modo geral, nas alvenarias acontece um aumento das quantidades porque o *software* determina a quantidade exata necessária, e não considera possíveis desperdícios.

Já para os varões de aço esta discrepância deve-se a alguns reforços pontuais exigidos em obra e possíveis desperdícios. No caso do betão esta diferença deve-se sobretudo à quantificação de possíveis desperdícios e ao aumento do betão na fase das fundações, visto não se ter realizado ensaios geotécnicos houve a necessidade de fazerem sapatas maiores.

Quadro 2 Análise das quantidades previstas no BIM e das quantidades necessárias em obra

| Elementos | Análise Orçamental - Quantidades | | |
|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------|
| | Previsto | Executado | Rácio (%) |
| Betão C20/25 (m ³) | 97,04 m ³ | 105,00 m ³ | 8% |
| Aço A400 NR (kg) | 6.945,76 kg | 7.160,00 kg | 3% |
| Alvenarias (un) | 6.670,00 un | 6.966,00 un | 4% |

O quadro 3 demonstra a variação prevista face à executada relativamente à mão de obra, o que originou uma redução de 21%. A determinação dos valores previstos na execução desta obra foi obtida através da contabilização e análise dos trabalhos executados na empresa em obras similares.

A redução deve-se ao fato de não ter havido paragens na obra, na entrega de planos de execução (cortes, alçados e figuras 3D da especialidade), sendo possível apenas através da utilização do BIM como ferramenta necessária para esclarecer e facilitar a sua disponibilização.

Quadro 3 Análise do tempo previsto e o necessário para a execução da obra

| | Análise Orçamental - Mão-de-obra | | |
|-------------|----------------------------------|------------|-----------|
| | Previsto | Executado | Rácio (%) |
| Mão-de-obra | 2700 horas | 2130 horas | -21% |

A realização do caso prático com base no BIM-IPD foi possível atendendo a que os intervenientes já possuíam conhecimento de modelação paramétrica e a empresa funciona com base na metodologia Conceção-Construção. Deste modo, foi facilmente possível integrar a metodologia do BIM-IPD, registando benefícios e inconvenientes, de seguida apresentados.

Os benefícios da aplicação BIM-IPD foram:

- Melhor visualização e compreensão do projeto em fases iniciais;
- Melhor colaboração entre subempreiteiros;
- Visualização 3D das especialidades;
- Detecção de anomalias de projeto, antecipando problemas;
- Aumento da produtividade;
- Obtenção de quantidades de materiais e orçamento na fase inicial do projeto, possibilitando a execução de análise económica;
- Interligação do modelo global do edifício com o planeamento e cronograma financeiro da obra.

Os inconvenientes da aplicação do BIM-IPD foram:

- Mudança organizacional e intelectual dos intervenientes;
- Necessidade de formação avançada;
- Domínio e conhecimento das ferramentas de planeamento e custo;
- Metodologia pouco desenvolvida em Portugal.

A aquisição do *software* não se encontra enunciada pois a empresa já possuía o Revit[®] e o Cype[®], não sendo viável uma análise do ROI.

5 Conclusão e proposta para trabalhos futuros

O presente capítulo pretende resumir as principais conclusões e dar resposta á questão central da investigação "a implementação e aplicação do *Building Information Modeling* desde a conceção à construção trará vantagens relevantes para a gestão de projetos de moradias unifamiliares?".

5.1 Conclusão

A implementação do BIM-IPD demonstra claramente uma vantagem para as empresas de construção. A elevada colaboração inicial entre os intervenientes nas diversas fases do projeto, a capacidade das ferramentas BIM e a preocupação em realizar práticas e edifícios mais sustentáveis representa um passo importante para acelerar a convergência do nosso país em relação aos países mais desenvolvidos no que toca à sustentabilidade e eficiência de recursos.

Para uma transmissão de informação correta e facilmente interpretável é fundamental a existência de procedimentos de normalização. Tendo em consideração que a transmissão da informação contida no IFC entre aplicações varia com a forma como a informação é criada, é imprescindível a normalização do processo, a criação de standards e definições de formas de trabalho para uma transmissão de dados o mais correta possível.

A interoperabilidade neste processo apresenta ainda muitas lacunas, pois o formato IFC apesar de ser utilizado ainda não foi inteiramente aceite pelos fabricantes dos *softwares*. Verifica-se que o IFC apresenta problemas, pois não abrange completamente todos os tipos de elementos de todas as disciplinas, resultando na perda de propriedades, funcionalidades e alguns elementos importados não podem ser modificados.

O aumento do esforço de modelação está associado ao incremento do nível de modelação, deste modo, para a fase de construção e sendo necessário um LOD 400, há um acréscimo exponencial do tempo requerido para a realização do modelo. Só este nível de modelação é que permite de forma automática a extração de quantidades de forma fiável e a medição integral dos projetos para posterior aplicação em obra.

Constata-se que durante a fase de construção facilmente são obtidos pormenores construtivos necessários para a continuidade dos trabalhos, rápida análise das quantidades e estimativa de custo, otimizando a elaboração do planeamento e gestão da obra.

A implementação do BIM-IPD melhora a colaboração com os diversos autores de projeto, verificando um aumento de produtividade, prevenção das repetições de trabalhos, detecção antecipada de incongruências do projeto e melhor colaboração e visualização.

Em suma, considera-se que é viável a implementação do BIM-IPD como base para a concepção e construção de moradias unifamiliares. Por isso no futuro, as empresas que rapidamente se adaptarem a esta metodologia de trabalho serão aquelas que num mercado competitivo, teoricamente, têm mais hipóteses de evoluir e de se distinguirem.

5.2 Propostas para trabalhos futuros

Recomenda-se para futuros trabalhos a integração do *Lean Construction* à metodologia BIM-IPD como base para a concepção e construção de moradias unifamiliares, analisando o impacto na sustentabilidade do edifício.

Proponho ainda o desenvolvimento de normas de implementação da metodologia BIM-IPD em empresas de construção.

6 Bibliografia

Addor, Miriam Roux A., Miriam Dardes de Almeida Castanho, Henrique Cambiaghi, Joyce Paula Martin Delatorre, Eduardo Sampaio Nardelli, e André Lompreta de Oliveira. “Colocando o “i” no BIM.” *usjt - arq.urb* (usjt - arq.urb), 2010: 4-15.

AIA Document E202 . “Building Information Modeling Protocol Exhibit.” 2008.

Alder, M. A. *Comparing time and accuracy of building information modeling to onscreen take off for a quantity takeoff on a conceptual estimate*. Tese de Mestrado, Inglaterra: Escola Superior de Tecnologia da Universidade Nova de Brigham, 2006.

Amorim, Sergio Leusin de. “BIM – Building Information Modelling: Uma tecnologia para o futuro imediato da construção.” *Sinduscon-Rio*. Rio de Janeiro, Brasil: Sinduscon-Rio - Sindicato da Industria da Construção Civil no Estado do Rio de Janeiro, 2010. 13-31.

Andrade, Max Lira Veras X. de, e Regina Coeli Ruschel. “Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em Arquitetura por meio do formato IFC.” *Gestão & Tecnologia de Projetos [ISSN 19811543]* Vol. 4, nº 2 (Novembro 2009): 76-111.

Autodesk. *Autodesk*. www.autodesk.com (acedido em 1 de Julho de 2013).

—. <http://www.autodesk.com.br>.

<http://www.autodesk.com.br/adsk/servlet/index?siteID=1003425&id=16162683> (acedido em 14 de Agosto de 2014).

—. “Medindo o valor do BIM: Obtendo ROI Estratégico.” 23 de Abril de 2014.

http://wam.autodesk.com/latin_am_main/files/fy15-q1-aec-btt-ebook-roi-bim-APR2014BR.pdf (acedido em 14 de Novembro de 2014).

Autodesk Whitepaper. *Improving Building Industry Results through Integrated Project Delivery and Building Information Modeling*.

Autodesk, Inc. “Integrated Project Delivery and Building Information Modeling.” *Autodesk Whitepaper*, 2008.

Best Sul Software. *Building Information Modeling (BIM)*. <http://www.bestsul.com.br/> (acedido em 20 de junho de 2013).

Biotto, Clarissa Notariano, Carlos Torres Formoso, e Eduardo Luis Isatto. “O Uso da Modelagem BIM 4D no projeto e gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção.” *ENTAC juiz de fora - XIV encontro nacional de tecnologia do ambiente construído*, 2012.

Bruno Caires, José Carlos Lino, Miguel Azenha. “Building Information Modeling: Conceção, Projeto e Construção.” Guimarães, Portugal: Universidade do Minho - Escola de Engenharia, 2013.

Building and Construction. “Build Smart .” *BIM your way to higer productivity*, 2011: 3.

Buildipedia. *Buildipedia.com*. <http://buildipedia.com> (acedido em 24 de Junho de 2013).

Cholakis, Peter, e Dave Trebas. “Culture, Technology/social Media, & BIM.” LLC Colorado Springs, 2013.

Coelho, Sérgio Salles, e Celso Carlos Novaes. “Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil.” Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix, Brasil, 2008.

Davis Langdon. “Getting the most out of BIM - A guide for clients.” *An AECOM Company*, 2012.

Delatorres, J. “Tecnologia BIM: Do Projeto à Construção.” *Autodesk University* (Autodesk University), 2012.

Eastman, C, P. Teicholz, e R. e Liston, K. Sacks. *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling. Segunda Edição*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2011.

Eastman, C., P. Teicholz, R. Sacks, e K. Liston. *BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.

Eastman, Chuck. “Building Product Models: computer environments supporting design and construction.” *Boca Raton: CRC Press*, 1996: 441.

Ferreira, Ana. “Interoperabilidade e Normalização BIM em Ambiente Colaborativo.” *Magazine Digital eUAU*, 2010: 6.

Fradique, N. M. *A importância do Programa Preliminar e do Projeto no âmbito da Contratação Pública*. . Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil - Edificações, Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.

International Alliance for Interoperability. *BuildingSMART*. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/> (acedido em 18 de Junho de 2013).

Jacoski, Claudio Alcides. *Integração e interoperabilidade em projetos de*. Tese de Doutoramento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2003.

Knolseisen, P. C. *Compatibilização de orçamento com o planejamento do processo de trabalho para obras de edificações*. Dissertação (Mestrado), Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

Kunz, J, e M Ficher. *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions*. Center for integrated facility engineering, 2012.

Liu, Z. “The Potential Use of BIM to Aid Construction Waste Minimisation.” *CIB W78 W102 2011: International Conference*. França: Sophia Antipolis, 2011.

Manzione, Leonardo. *Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM*. Tese de Doutoramento, São Paulo, Brasil: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2013.

Matipa, W. M. *Total cost management at the design stage using a building product model*. Tese (Doutorado em Philosophy Engineering), Cork, Ireland: Faculty of Engineering, Department of Civil ND Environmental Engineering of National University of Ireland, 2008.

Mattei, Pier Luiz de Resende. *Bim e a Informação no subsetor de edificações da indústria da construção civil*. Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Escola de Engenharia, 2008.

Nardelli, Eduardo Sampaio, et al. “Teste de assertividade da biblioteca de componentes BIM do MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio do Brasil.” *XV Congreso de la sociedad Iberoamericana de gráfica digital*. Santa Fé Argentina, 2011.

NemetschekAllplan. *Allplan & iTWO: Best-in-Class solution for digital design and construction*. 11 de Maio de 2012.

<http://www.youtube.com/watch?v=igkom3hL6YY&feature=youtu.be&hd=1> (acedido em 20 de Junho de 2013).

Parreira, João Pedro de Castro. *Implementação BIM nos processos organizacionais em empresas de construção – um caso de estudo*. Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção, Universidade Nova de Lisboa, 2013.

Pissarra, Nuno Miguel de Matos. *Utilização de Plataformas Colaborativas para o Desenvolvimento de Empreendimentos de Engenharia Civil*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, 2010.

Portaria 701-H/2008. “Portaria 701-H/2008.” 29 de Julho de 2008.

Rajendran, Punitha, Seow Ta Wee, e Goh Kai Chen. “Application of BIM for Managing Sustainable Construction.” *Proceedings International Conference of Technology Management, Business and Entrepreneurship*. Malásia, 2012.

Ribeiro, David Correia. *Avaliação da Aplicabilidade do IPD em Portugal*. Tese de Mestrado, Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

Silva, Jorge Miguel Santos. “Princípios para o Desenvolvimento de Projetos com Recurso a Ferramentas BIM.” Mestre em Engenharia Civil — Especialização em Construções, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

Simões, Diogo Gonçalves. *Manutenção de edifícios apoiada no modelo BIM*. Tese de Mestrado, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2013.

SmartMarket Report. “McGraw Hill Construction.” *The business value of BIM for construction in major global markets*, 1 de Julho de 2014.

Stehling, Miguel Pereira. *A utilização de modelagem da informação da construção em empresas de arquitetura e engenharia de Belo Horizonte*. Mestrado em Construção Civil, Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia, 2012.

Succar, Bilal. *The Five Components of BIM Performance Measurement*. Artigo, University of Newcastle, NSW Australia: University of Newcastle, (s.d.).

The American Institute of Architects (AIA) and AIA California Council. “Integrated Project Delivery: A Guide.” 2007. www.aia.org/ipdg.

Vasconcelos, Tiago Miguel Nunes Rolo Ferreira de. *building Information Model - Avaliação do seu potencial como solução para os principais atrasos e desperdícios na construção Portuguesa*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – perfil de Construção, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010.