

APLICAÇÃO DE CONCEITOS BIM À INSTRUMENTAÇÃO DE ESTRUTURAS

BRUNO FILIPE VIEIRA FERREIRA

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

Orientador: Professor Doutor João Pedro da Silva Poças Martins

Co-Orientador: Professor Doutor João Filipe Meneses Espinheira Rio

JULHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miiec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

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

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais e Irmã

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor João Poças Martins, o profundo reconhecimento pelos ensinamentos, pelas suas orientações, disponibilidade, apoio permanente e motivação que sempre manifestou.

Ao meu co-orientador, João Rio, um agradecimento especial pela disponibilidade na troca de impressões, pelas longas trocas de ideias, discussões e interpretações dos mais variados problemas, pela motivação e incentivo dados no decorrer do meu trabalho e cujo entusiasmo me motivou a ir sempre um pouco mais além.

Ao Engenheiro André Monteiro, pela disponibilidade e ajuda necessária na elaboração do caso de estudo deste trabalho.

Ao INEGI pela informação disponibilizada sobre o seu edifício e pela disponibilidade para prontamente me mostrarem as instalações.

Aos meus amigos e colegas de curso, por terem feito parte de tamanha etapa da minha vida. Sou obrigado a destacar a amizade e o companheirismo do André Dias, Bruno Nascimento, Francisco Sousa, Inês Madureira, João Torres, Jorge Ribeiro, Nuno Moreira e Rui Ribeiro, que estiveram sempre presentes nos cinco anos do Mestrado Integrado e com os quais passei momentos únicos.

Aos meus amigos de longa data por toda a sua paciência e compreensão durante todo este tempo e em especial pela sua amizade.

Por fim, queria agradecer à minha família, em particular aos meus pais e irmã a quem dedico este trabalho. Pelo acompanhamento em toda esta fase, pelo de incentivo, apoio incondicional e carinho nesta e em tantas outras etapas, o meu mais sincero obrigado.

A todos aqueles que colaboraram de alguma forma para que este trabalho se pudesse realizar.

A todos o meu muito obrigado.

RESUMO

A instrumentação e monitorização estrutural têm vindo a ganhar uma importância crescente na área da construção civil. No entanto, a informação dela resultante nem sempre é devidamente organizada, armazenada e utilizada. Pretende-se por isso integrar os dados recolhidos em sistemas de gestão de informação como os BIM (*Building Information Model*). Os BIM assentam na ideia de integrar toda a informação relacionada com um edifício ou projecto num único modelo digital. Essa informação pode ser prévia ou ser associada durante a construção do edifício ou durante a sua vida útil. Estas ferramentas têm-se desenvolvido rapidamente, aumentando a possibilidade de gestão de informação na indústria da construção.

O objectivo deste estudo passa por manipular a informação decorrente da instrumentação e monitorização estrutural e integrá-la num modelo padrão de construção, com a utilização de uma linguagem comum que serve de *standard* (padrão) para a indústria da construção, conhecido como IFC (*Industry Foundation Classes*). Neste trabalho, é feita uma avaliação da aplicabilidade do *standard* IFC, como formato para troca de informação entre os sensores e as aplicações BIM. Propõe-se também a extensão do modelo IFC existente para passar a incluir sensores cinemáticos, uma vez que este só engloba sensores ambientais, actualmente.

Com base no modelo exposto e recorrendo a programas BIM, realizou-se um caso de estudo real relativo ao edifício da Nave do INEGI, no campus da FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), utilizando dados provenientes de medições reais. Realizou-se um modelo tridimensional do edifício, verificou-se a interoperabilidade entre várias ferramentas BIM compatíveis e criaram-se propriedades dentro do modelo IFC capazes de transportar as informações registadas pelos sensores.

Aborda-se assim, o tema da monitorização e instrumentação de estruturas enquadrados nos BIM a uma escala mais próxima da real, onde as adversidades e os problemas levantados diferem substancialmente dos apresentados teoricamente. Os resultados sugerem que a gestão de informação por parte dos BIM relativamente aos dados obtidos pelos sensores é viável.

PALAVRAS-CHAVE: IFC, BIM, Sistemas de monitorização, Gestão de informação, Instrumentação estrutural.

ABSTRACT

The instrumentation and structural health monitoring has gained a growing importance in the construction industry. However, the resulting data is not always properly organized, stored and used. For this reason, is intended to integrate the data collected in an information management system such as BIM (Building Information Model). BIM is based on the idea of integrating all information related to a building or project in a single digital model. This information can be associated prior, or during, the construction of the building or even during its lifetime. These tools are being developed rapidly, increasing their chances of information management.

The purpose of this study is to manage information from the instrumentation and structural health monitoring. As to achieve this goal, it was studied a standard construction model, with the use of a common language that serves as the industry standard, known as IFC (Industry Foundation Classes). In this work is performed an assessment of the applicability of the IFC standard, as a format for information exchange between sensors and BIM. It was also proposed the extension of the model based on kinematic sensors, since it presently only includes environmental sensors.

Based on the model above, and using BIM programs, a real case study was done concerning the “Nave do INEGI” building using data from actual measurements. It was conducted a three-dimensional model of the building, studied the interoperability between various BIM tools and compatible properties were created within the IFC model capable of delivering the information recorded by the sensors.

Thus, it was studied the issue of the instrumentation and structural health monitoring framed on the BIM software on a scale closer to the real, where the adversities and the problems substantially differ from those presented theoretically. The results suggest that the management of information from the BIM with the data obtained by the sensors is achievable.

KEYWORDS: IFC, BIM, Structural health monitoring, Information management, Structural instrumentation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	 xv
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. ÂMBITO E OBJECTIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
 2. ESTADO DA ARTE	 5
2.1. GESTÃO DA INFORMAÇÃO	5
2.1.1. ASPECTOS GERAIS	5
2.1.2. BIM	6
2.1.3. INTEROPERABILIDADE	13
2.1.4. IFC	14
2.2. MONITORIZAÇÃO DE ESTRUTURAS	18
2.2.1. SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO	20
2.2.2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO	25
2.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
 3. ABORDAGEM PROPOSTA	 27
3.1. MODELO EXISTENTE	27
3.2. DEFINIÇÃO DO MODELO	37
3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
 4. CASO DE ESTUDO	 43
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	43
4.2. METODOLOGIA DE ANÁLISE	44

4.3. ELABORAÇÃO DO MODELO TRIDIMENSIONAL.....	45
4.3.1. CASO DE ESTUDO 1: MORADIA UNIFAMILIAR.....	46
4.3.2. CASO DE ESTUDO 2: EDIFÍCIO DO INEGI.....	55
4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
5. CONCLUSÃO	77
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
5.2. PERSPECTIVAS FUTURAS	79
Bibliografia.....	81
ANEXOS.....	87
ANEXO I.....	89
ANEXO II.....	93
ANEXO III.....	97
ANEXO IV	101
ANEXO V	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema DIKW. Adoptado de Wikipedia.	6
Figura 2 - Vantagens da antecipação da tomada de decisões. Curva de MacLeamy,Adaptado de (CURT 2004).	9
Figura 3 - Diferentes componentes do BIM. Adaptado de (Salman Azhar 2008).....	12
Figura 4 - Várias versões lançadas do modelo IFC, (IAI, 2011)	15
Figura 5 - Estrutura da base de dados do modelo IFC, versão 2x4 (IAI, 2010). Adoptado de (Sousa et al. 2011).....	16
Figura 6 - Relações entre camadas do modelo IFC, versão 2x4 (IAI, 2010). Adoptado de (Gequaltec 2011).	18
Figura 7 – Composição do sistema de monitorização estrutural.	20
Figura 8 - Imagem de LVDT da marca RDP Group.	23
Figura 9 - Imagem de Inclínómetro da marca US Digital à esquerda e Clinómetro da marca Schaevitz à direita.....	23
Figura 10 - Imagem de Extensómetro de Resistência Eléctrica da marca Omega à esquerda e Extensómetro de Fibra Óptica da marca FiberSensing à direita.	24
Figura 11 - Imagem de Termopar à esquerda e RTD à direita, da marca Thermotronics.....	25
Figura 12 - Esquema da hierarquia do modelo IFC. Adaptado de (Eastman et al. 2008).....	28
Figura 13 - Camada de Recursos do Modelo IFC 2x4 (Sousa et al. 2011).	29
Figura 14 - Camada Nuclear do Modelo IFC 2x4 (Sousa et al. 2011).	29
Figura 15 - Camada dos Elementos Partilhados do Modelo IFC 2x4 (Sousa et al. 2011).	30
Figura 16 - Camada dos Domínios do Modelo IFC 2x4 (Sousa et al. 2011).	31
Figura 17 - Esquema que traduz o princípio de funcionamento entre os Sensores e os <i>SensorType</i> no IFC 2x4 (IAI 2011).	34
Figura 18 - Princípio de funcionamento da <i>Property Set</i> dentro do Modelo IFC. Adoptado de (Wix 2010).	36
Figura 19 - Esquema de Análise para Extensão do Modelo IFC.....	37
Figura 20 - Integração das Aplicações de Análise Estrutural com os BIM.	44
Figura 21 - Representação do ciclo utilizado na abordagem proposta.	45
Figura 22 - Definição da Laje no ArchiCAD.	47
Figura 23 - Definição da Cobertura no ArchiCAD.	48
Figura 24 - Planta da habitação dada pelo ArchiCAD.	49
Figura 25 - Visualização do Edifício.....	50
Figura 26 - Aspecto final do Edifício.	50

Figura 27 - Visualização dos elementos estruturais.....	51
Figura 28 - Visualização de Corte (em cima) e Alçado (em baixo) do edifício.	51
Figura 29 - Definição do Tradutor IFC.....	52
Figura 30 - Visualização do modelo estrutural no Solibri Model Viewer.	53
Figura 31 - Vista geral das propriedades de uma viga e da árvore do Modelo IFC.	53
Figura 32 - Visualização do Edifício completo no Solibri Model Viewer.	54
Figura 33 - Visualização do modelo estrutural no Autodesk Robot.	54
Figura 34 - Problemas de compatibilidade detectados no Autodesk Robot.	55
Figura 35 - Mapa da FEUP com o Edifício do INEGI assinalado a vermelho.....	56
Figura 36 - Fotografia do Edifício em estudo.	56
Figura 37 - Modelação do Edifício da Nave do INEGI, apresentando os quatro lados.	57
Figura 38 - Visualização do modelo tridimensional em estudo.....	58
Figura 39 - Visualização das características de um pilar do modelo.	58
Figura 40 - Documentação possível através do ArchiCAD.	59
Figura 41 - Planta do edifício com localização do corte construtivo.	59
Figura 42 - Elaboração de um corte construtivo de acordo com a localização assinalada na planta do edifício.....	60
Figura 43 - Visualização do modelo estrutural do edifício da Nave do INEGI.	60
Figura 44 - Comparação da informação do ficheiro IFC em duas plataformas distintas.	61
Figura 45 - Tipos de Propriedades no Modelo IFC.	66
Figura 46 - Formulário para a criação de <i>Property Set</i>	67
Figura 47 - Visualização das <i>Property Sets</i>	67
Figura 48 - Visualização das informações alteradas através do Solibri Model Viewer.....	68
Figura 49 - Visualização das propriedades alteradas através do ArchiCAD.	69
Figura 50 - Preenchimento da <i>Property Set</i> pelo Bloco de Notas.	70
Figura 51 - Resultado final da <i>Property Set</i> criada.	71
Figura 52 - Visualização da informação do sensor através da selecção do mesmo no modelo tridimensional.....	72
Figura 53 - Método dos Elementos Finitos no Autodesk Robot.....	72
Figura 54 - Pequena análise estrutural no Autodesk Robot.....	73
Figura 55 - Cálculo dos momentos em “xx” através dos elementos finitos.....	73
Figura 56 - Visualização do Modelo através do Google SketchUp.....	74
Figura 57 - Exemplo de repetição do nome para elementos distintos.....	107
Figura 58 - Colocação de viga de pilar a pilar.....	107

Figura 59 - Conversão de vigas e pilares no Robot.....	108
--	-----

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de sensores existentes no modelo IFC 2x3, (IAI 2011).	35
Quadro 2 - Definição da <i>PropertySet</i>	38
Quadro 3 - Definições das Propriedades.	39
Quadro 4 - Parâmetros urbanísticos de maior relevo.	46
Quadro 5 - Definição da <i>Property Set</i>	63
Quadro 6 - Definições das Propriedades.	64
Quadro 7 - Definição da <i>Property Set</i>	64
Quadro 8 - Definição das Propriedades.	65
Quadro 9 - Dados obtidos através do Sistema de Aquisição.	65
Quadro 10 - <i>Property Set</i> em linguagem IFC.....	68
Quadro 11 - <i>Property Set</i> em linguagem IFC com alterações.	69
Quadro 12 - Características dos sensores existentes no <i>IfcSensorType</i>	89

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AEC - Arquitectura, Engenharia e Construção

API - *Application Programming Interface*

BIM - *Building Information Model*

BPM - *Building Product Model*

CAD - *Computer-Aided Design*

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GUID – *Global Unique Identifier* ou Identificação Global Única

HTML - *HyperText Markup Language*

IAI - *International Alliance for Interoperability*

IFC - *Industry Foundation Classes*

ISO - *International Standard Organization*

PDM - *Product data management*

PHP - *Hypertext Preprocessor*

PLM - *Product Lifecycle Management*

SQL - *Structured Query Language* ou Linguagem de Consulta Estruturada

STEP - *Standard for Exchange of Product Model Data*

TI - Tecnologias de Informação

TIC - Tecnologias da Informação e Comunicação

XML - *Extensible Markup Language*

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde longa data que os engenheiros civis de estruturas têm a preocupação de compreender o comportamento das suas obras após a entrada destas em serviço. No entanto, as primeiras técnicas de experimentação apresentavam grande limitação. A sua avaliação era na maioria dos casos executada recorrendo a inspecções visuais auxiliadas por medições reduzidas e localizadas. Estes métodos rústicos levavam, nalguns casos, a conclusões grosseiras e muito pessoais. A juntar a este facto, muitas das infra-estruturas de serviço público, como pontes e edifícios sofreram de desleixo e usos descontrolados, o que, invariavelmente, levou à sua rápida deterioração. Geralmente, os danos estruturais apenas eram perceptíveis quando a degradação estava já em estado avançado.

Actualmente, as tecnologias associadas aos sistemas de monitorização de estruturas estão bastante mais evoluídas. Esta evolução deve-se à necessidade da monitorização a longo prazo de forma a proporcionar uma melhor gestão das estruturas existentes, da monitorização de novas soluções arquitectónicas, materiais, tecnológicas, tais como novos tipos de sensores, sistemas de aquisição e comunicação e ainda o progresso verificado no processamento de informação retirada das leituras, como é o caso de algoritmos de detecção de dano. O sistema de monitorização pode ser definido como um processo não destrutivo de avaliação *in situ* do comportamento estrutural. Para tal, este método emprega na estrutura diferentes tipos de sensores instalados, os quais são responsáveis pela recolha contínua ou periódica de informação. Esta informação é futuramente colectada, analisada e guardada para análises, em que o principal objectivo é utilizá-la para avaliar a segurança, a integridade e o comportamento da estrutura, bem como eventuais danos que esta possa exhibir.

A indústria da construção adopta de forma lenta e cautelosa as novas tecnologias e métodos de gestão, sendo por isso, com alguma frequência, criticada. Porém, com o aumento de competitividade, o caminho das empresas do sector da construção passa pela automatização e informatização de tarefas tradicionalmente lentas e complexas. A implementação de novos processos requer sempre esforço, a nível financeiro, a nível de aprendizagem e a nível de declínio produtivo inicial, embora, a mudança seja positiva pela necessidade de tratamento de problemas cada vez mais complexos e de contínuo melhoramento de produtividade no processo construtivo. Um entendimento do seu funcionamento nas várias fases permite uma actuação sobre os procedimentos de forma a melhorá-los.

Neste sentido, as tecnologias de informação e comunicação têm potenciado o desenvolvimento de métodos de trabalho inovadores em todos os sectores da economia, incluindo a construção civil. Estão englobadas nas tecnologias de informação e comunicação um vasto número de aplicações utilizadas na indústria da construção sejam elas programas como AutoCAD ou um simples aparelho como o telemóvel. Apesar da sua utilização, há ainda um grande percurso a desenvolver para tornar a sua utilização mais vasta. Um dos passos que pode ser dado é a integração da

informação decorrente da monitorização de estruturas nos sistemas *Building Information Models* (BIM). Estes são sistemas de gestão de informação que têm associados o princípio, a automatização e integração da informação. Uma gestão adequada da informação é significativamente importante porque representa a base para comunicar. Os BIM surgem como uma solução para centralizar e integrar a informação do edifício num modelo virtual tridimensional, ou seja, permitem a elaboração de um modelo tridimensional de um edifício, contendo as várias disciplinas existentes num projecto, bem como a informação correspondente a cada componente e sobre o ciclo de vida da estrutura. Mesmo com a existência de algumas desvantagens e dificuldades de aplicação associadas a este tipo de tecnologias, há uma enorme potencialidade de aplicação das mesmas em variadas áreas do sector da construção.

Associado aos BIM, está o princípio da automatização e integração da informação. O conceito de automatização é muito importante no contexto da análise de dados provenientes da monitorização de estruturas. Por automatização, entende-se o facto de obter um resultado automático por introdução de um comando ou entrada, que não lhe é necessariamente directo.

A ausência de uma linguagem comum acarreta a reintrodução de dados, falta de interacção entre *softwares*, pouco entendimento entre agentes da construção e uma utilização pouco sustentável das tecnologias da informação. Logo, uma melhoria da comunicação, uma troca e integração da informação são desafios técnicos e organizacionais a ser suplantados. Um dos desafios passa pela padronização da informação na indústria da construção. Para colmatar esta lacuna, surgiram algumas iniciativas na indústria da construção para criar um *standard* para a representação e organização de produtos da construção, das quais se destaca o *Industry Foundation Classes* (IFC). Este modelo procura criar uma linguagem que possa ser comum e compatível com as várias aplicações BIM, que permita padronizar o processo construtivo, de modo a explorar ao máximo as vantagens da utilização dos BIM.

1.2. ÂMBITO E OBJECTIVOS

Ao se debruçar sobre os BIM e a monitorização estrutural, denota-se a existência de uma área por explorar. Essa área diz respeito aos dados provenientes da monitorização que não têm o melhor aproveitamento, já que muitas das vezes são armazenados sem sequer se saber como e que utilização lhes dar. Esses dados podem e devem ser melhor aproveitados e para tal pode-se recorrer às capacidades dos *softwares* BIM. Surgiu assim o problema inicial para este trabalho de MIEC.

A formulação de um problema é o ponto de partida para o processo de investigação. “*O enunciado do problema descreve o que o investigador estuda; precisa a problemática e a justificação do estudo*” (Fortin 2009). Este pode ser entendido como “*uma dificuldade, teórica ou prática, no conhecimento de alguma coisa de real importância, para a qual se deve encontrar uma solução*” (Lakatos 2008).

Perante uma sociedade em que o factor de decisão de uma solução para um problema resulta frequentemente de uma ponderação centrada na vertente económica, a própria gestão e manutenção das infraestruturas terá de obedecer a critérios que minimizem os gastos financeiros. Na gestão das edificações, a monitorização estrutural surge como um método para apoio à tomada de decisão. Tem a vantagem de identificar na estrutura as necessidades de reparação e no tempo a altura certa para o fazer.

O conceito fundamental de um sistema de monitorização é que este seja capaz de detectar:

- a) Deterioração progressiva ao longo do tempo devido a efeitos naturais;
- b) Danos devido a catástrofes naturais;

c) Danos devido a utilização indevida.

Os factores de deterioração das estruturas não são devidos a catástrofes naturais mas sim a fenómenos naturais tais como o envelhecimento, excesso de carga, fadiga, condições atmosféricas adversas ou assentamentos de apoio. Estes factores, os quais são difíceis de avaliar individualmente, contribuem isoladamente ou em simultâneo para a degradação das infraestruturas de engenharia civil.

Hoje em dia, com os recentes e contínuos desenvolvimentos tecnológicos, os desafios colocados aos projectistas, aos construtores e às entidades responsáveis pela exploração das estruturas de engenharia civil, e em particular as de maior dimensão (pontes, viadutos, túneis) impõem uma nova abordagem aos sistemas de gestão de obras de arte, com recurso a sistemas de monitorização de estruturas. Um sistema de monitorização viável e fiável é desejável para monitorizar o efeito destes factores na integridade da estrutura. Monitorizar e diagnosticar de forma precisa as infraestruturas críticas, aumenta a eficiência dos planos de manutenção e reparação, com inerente redução de custos e limitação de estragos, em caso de desastre. Para conseguir monitorizar as infraestruturas, a escolha da tecnologia a utilizar, passa pelo tipo de grandeza que queremos medir, o meio em que irá ser feito, eventuais condicionantes técnicas, legais, ambientais, a frequência, a precisão, etc. Tais sistemas assentam na instalação de sensores de base eléctrica ou óptica, ligados a equipamentos automáticos de aquisição e de transmissão de sinal, com elevado grau de fiabilidade, que associados a sistemas de gestão de dados, são capazes de relatar em permanência à entidade responsável, a informação relacionada com o estado de conservação e a segurança da estrutura. Esta informação pode ser aproveitada para completar os dados existentes nos sistemas BIM correspondentes às estruturas monitorizadas. Desta forma, torna-se possível a interpretação em tempo real destes dados no modelo virtual da estrutura, permitindo recalculer os esforços e actuar convenientemente caso seja necessário.

Após o estudo da arte realizado, o tema de partida convergiu para a capacidade de gerir a informação retirada das bases de dados da monitorização de estruturas.

A finalidade deste estudo é gerir a informação decorrente da monitorização das estruturas. Para tal é preciso identificar uma linguagem capaz de ser convertida de uma base de dados de estruturas para o modelo IFC, sendo necessário adicionar parâmetros (tensões, extensões, rotações, etc.) às propriedades de cada componente da estrutura (vigas, pilares, etc.). A base de dados de estruturas corresponde a um conjunto de registos com dados estruturais organizados de forma regular e que possibilita a reorganização dos mesmos e a produção de informação.

Com este trabalho pretende-se contribuir para estabelecer uma linguagem comum na interpretação das bases de dados decorrentes da monitorização das estruturas, representar conceitos, utilizados na prática local, em plataformas informáticas e incentivar a investigação nesta área para fomentar o seu desenvolvimento.

Para tal, torna-se necessário definir um modelo suportado pelo IFC, para ser possível a conversão do sinal do sistema de monitorização para as aplicações BIM.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação desenvolve-se em cinco capítulos, o primeiro dos quais é a presente introdução, onde se faz um enquadramento geral do tema a desenvolver e se apresentam os objectivos que se pretende atingir.

No segundo capítulo procura-se contextualizar o âmbito onde se inserem as tecnologias aqui analisadas, através de uma caracterização genérica no campo da gestão da informação na construção,

dos BIM e do modelo IFC. Procede-se ainda à descrição geral dos sistemas de instrumentação e monitorização de estruturas, apresentando segundo uma óptica mais teórica as características e potencialidades da monitorização estrutural, dando-se especial ênfase aos diferentes processos de medição e às diversas partes constituintes de um sistema de monitorização.

O capítulo 3 trata da abordagem proposta para a introdução da informação de sensores e análise estrutural no modelo IFC. Para tal, começa-se por uma avaliação do modelo existente, de forma a se saber onde se localiza a nossa abordagem e como poderá ser integrado o modelo proposto. Faz-se de seguida a apresentação do modelo, apresentando todos os dados que se achou relevantes.

Aborda-se no Capítulo 4, como caso de estudo a elaboração de um modelo tridimensional com o recurso a ferramentas BIM compatíveis com o modelo IFC, com o intuito de avaliar a aplicabilidade e a possível transferência de informação em termos de sensores para os *softwares* de análise estrutural. Procurou-se testar a interoperabilidade entre os diferentes *softwares* e mostrar a definição de novas propriedades como recurso para se atingir o objectivo.

Para terminar a presente dissertação inclui-se no Capítulo 5 a síntese do trabalho desenvolvido, as conclusões retiradas e os desenvolvimentos futuros passíveis de serem realizados como seguimento do projecto que aqui se apresenta.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. GESTÃO DA INFORMAÇÃO

2.1.1. ASPECTOS GERAIS

Nos últimos anos as boas práticas das outras indústrias começaram a influenciar e a entrar na indústria da construção. Este facto deve-se ao interesse crescente desta em melhorar as suas práticas e aumentar os seus lucros.

A indústria da construção está bastante fragmentada quando comparada com qualquer uma das outras, como por exemplo a indústria automóvel ou aeroespacial. Este grau de fragmentação tem por isso impactos significativos na baixa produtividade, custos, tempo e conflitos, resultando em queixas e litígios. Este factor, tem sido reconhecido como um dos grandes problemas relacionados com o desempenho que a indústria enfrenta, levando a um desenvolvimento significativo de abordagens alternativas para a entrega de produtos da construção nas últimas décadas. Os resultados são as mudanças culturais e a crescente procura de informações precisas no início do projecto até ao seu término (Gudnason 2000).

A construção, como processo multi-organizacional e multidisciplinar, ou seja, com a participação de várias especialidades, é bastante dependente de partilha e trocas de muitos dados complexos e informação. A ineficiência corrente da prática da comunicação tornou-se uma barreira dos processos de inovação para a construção nas últimas décadas. Para se concluir com êxito um projecto é imprescindível a precisão, eficácia e sincronismo de comunicação e troca dessa informação e dados entre os membros da equipa (Gudnason 2000). Torna-se vital orientar a investigação actual para os Sistemas de Informação, de forma a integrá-la nos processos da indústria da construção. A evolução e adopção de sistemas BIM, apresentados no capítulo 2.1.2, pelas empresas de construção civil tornam necessárias a revisão dos processos de trabalho, incluindo a colaboração entre os diversos intervenientes (Novaes 2008).

A informação é um recurso estratégico que tem custo, preço e, especialmente, valor. Desta forma, torna-se essencial uma gestão eficaz e eficiente, tal como acontece nos demais recursos (recursos humanos, financeiros, materiais) (Mello 2006). Tem vindo a ganhar importância na actualidade, uma vez que se torna indispensável na evolução tecnológica das empresas, oportunidades de investimento e planificação de toda a actividade.

“The most successful people in life are generally those with the best information.”

(Benjamin Disraeli, "Endymion", 1880)

A informação tornou-se uma necessidade crescente para qualquer sector da actividade humana, tendo-se tornado indispensável mesmo sem a sua procura ser sistemática e ordenada, mas resultante de decisões intuitivas e casuais (Braga 1996).

Há uma similaridade bastante grande nas definições de dados e informação no dicionário, no entanto, para os BIM é necessário estabelecer uma distinção clara entre as duas e coloca-las num esquema do tipo “Dados – Informação – Conhecimento – Sabedoria” (DIKW – Data – Information – Knowledge – Wisdom). Entende-se como dados a colecção de factos ou observações empíricas, especialmente se organizados para análise futura. Informação é a colecção de factos e observações que são usadas para tomar decisões, de onde podem ser retiradas conclusões. Conhecimento é o entendimento, a familiaridade que se ganha empiricamente ou através do estudo. Sabedoria trata-se da habilidade de avaliar e julgar o que é verdadeiro e correcto (Dana K. Smith 2009).

“Building Information Modeling não é mais do que um mecanismo de transformação de dados em informação para adquirir conhecimento que nos permita agir com sabedoria.”

(Dana K. Smith 2009)

Uma boa informação, conhecimento, dados e gestão de registos é uma parte crucial para uma boa gestão. Numa instituição, para se consolidar os conhecimentos e aprofundar os seus processos, torna-se impreterível documentá-los. Este processo permite criar uma perspectiva única do trabalho desenvolvido, evitando a ambiguidade na percepção de cada um, quanto aos objectivos e ao processo de execução das actividades (Mendonça 2008).

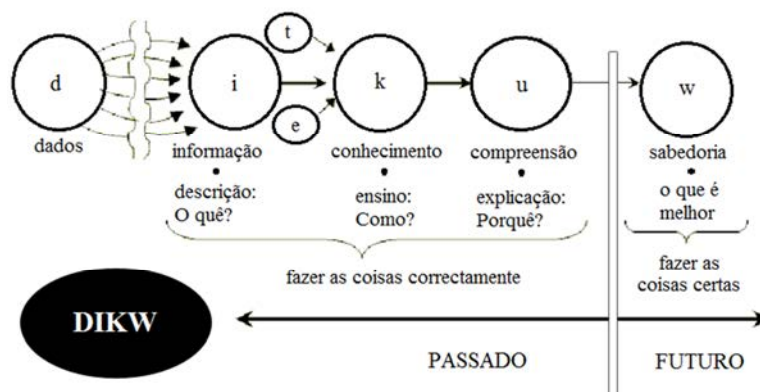


Figura 1 - Esquema DIKW. Adoptado de Wikipedia.

Os computadores e a tecnologia de comunicação, especialmente com a criação da internet, abriram novas portas para a informação a ser transferida através de múltiplos formatos e plataformas. Assim sendo, há uma importância acrescida na gestão de dados e na sua normalização.

2.1.2. BIM

2.1.2.1. Perspectiva Histórica

Desde a origem dos “Computer Aided Design” (CAD), os computadores têm um papel vital na indústria da construção. Hoje em dia têm sido a plataforma principal que permite a comunicação de

todas as partes envolvidas no projecto. Estes e os computadores ajudam a extrair o essencial dos desenhos, bem como permitirem um processo bem integrado no acto da entrega.

Apesar da recente promoção dos BIM, esta ideia remonta aos anos 70 com a publicação de artigos do Prof. Charles M. Eastman do *Georgia Institute of Technology* sobre BPM (*Building Product Model*). Desde então foram progredindo, uma vez que as empresas da construção encontraram valor no uso dos BIM para integrar o processo na indústria da construção, ainda que a sua utilização seja relativamente escassa. O termo BIM foi usado pela primeira vez em 2002 para descrever um desenho virtual, gestão de construção e instalações, tendo obtido um impulso com o lançamento de várias ferramentas BIM nesta década (Harris 2010).

Actualmente, diversos promotores de desenvolvimento de sistemas CAD (AUTODESK, BENTLEY SYSTEMS, GRAPHISOFT) têm apostado nos BIM e oferecido soluções baseadas neste conceito. Estas soluções são compostas basicamente por ferramentas especializadas para atender projectos de arquitectura, estruturas e instalações prediais bem como a integração destes projectos (Monteiro 2010).

2.1.2.2. Aspectos Gerais

Building Information Modeling ou *Building Information Model* são as duas interpretações para a sigla BIM. O emprego de uma ou outra interpretação, depende do contexto da análise. *Building Information Model* é utilizado para fazer referência ao conjunto de informações geradas e mantidas ao longo do ciclo de vida de uma edificação. Este conjunto de informações caracteriza-se nos BIM como sendo o modelo virtual do edifício. O processo de geração e manutenção deste modelo é o *Building Information Modeling* (Monteiro 2010).

Os BIM permitem organizar a informação, sendo que esta pode ser utilizada no futuro, se necessário, durante a vida útil da instalação. Identificam exigências específicas das múltiplas partes e informam sobre decisões empresariais para melhorar o valor da edificação. No entanto, o uso produtivo dos BIM requer troca de dados entre disciplinas ou interoperabilidade (Eastman et al. 2008).

Os BIM são um dos desenvolvimentos mais promissores na arquitectura, engenharia e indústrias da construção. Com a tecnologia BIM, é construído um modelo virtual preciso de um edifício digitalmente. As informações contidas neste modelo podem ser utilizadas de distintas maneiras, tais como a geração de documentos de produção e quantitativos, análises de desempenho de sistemas construtivos, análises de incompatibilidades, entre outros. Quando completo, o modelo gerado por computador contém geometria precisa e dados pertinentes necessários para apoiar a construção, fabricação, e actividades de contratação necessárias para realizar a construção (Eastman et al. 2008; Monteiro 2010).

A designação BIM é alvo de variação e confusão por parte do público na designação dos programas que utilizam, ou não, esta tecnologia. É erradamente utilizada em modelos tridimensionais de construção, modelos sem suporte comportamental, que necessitam outras aplicações CAD para se complementarem (Eastman et al. 2008).

Este erro de denominação deve-se, provavelmente, ao aspecto gráfico das aplicações que recorrem a este tipo de tecnologia. Um BIM é um modelo de informação para a construção, que pode ter um grau de simplificação maior ou menor e não uma versão dos programas CAD mais usuais, como é erradamente entendida nalguns casos (Poças Martins 2009).

Segundo o autor, um BIM pode ser mais ou menos completo em função da natureza, da variedade e do volume que o constitui. A percepção mais geral para um BIM será a de um modelo tridimensional com

informação complementar associada a cada componente do produto da construção, tal como função e identificação.

O projecto e a construção de um edifício são um trabalho de equipa, em que cada um dos intervenientes recorre a argumentos baseados em teorias e programas informáticos por eles utilizados correntemente. Além da definição da geometria e materiais, há que ter em conta a análise estrutural, estimativa de custos, análise energética, planeamento de tarefas, entre outros. Para tal é necessário existir interoperabilidade. O conceito de interoperabilidade é definido no ponto 2.1.3. Os BIM podem reunir os vários segmentos de informação dos diferentes utilizadores num único ambiente operacional, levando à redução da necessidade dos vários tipos de documentos em papel (Eastman et al. 2008). No entanto, para o uso eficaz dos BIM, a qualidade da comunicação entre os diferentes participantes no processo de construção necessita melhorar. Se a informação necessária estiver disponível quando for pretendida e a qualidade da informação for satisfatória, o processo de construção vai ser significativamente melhorado, uma vez que se garantem condições melhores para a elaboração de cada tarefa. Tal implica ter a informação actualizada e disponível num servidor para todos os intervenientes. Para que tal aconteça deve existir um entendimento comum dos processos de construção e da informação necessária, bem como os resultados da sua execução.

Esta troca de informação entre as várias disciplinas pressupõe a existência de um formato de dados comum que torna possível a realização e o intercâmbio de dados entre diferentes aplicações de *software* (por exemplo o *CIMSteel Integration Standards – CIS/2* e o *Industry Foundation Classes – IFC*, este último referido no capítulo 2.1.4).

Vários países têm vindo a desenvolver esforços com o intuito de estabelecer um modelo de informação para edifícios que abranja as várias fases do processo construtivo. No entanto, não são conhecidas tais iniciativas no nosso país. Considera-se ser indispensável à evolução do sector da construção a elaboração de um formato padrão de representação de produtos da construção. Caso tal não aconteça, o país acabará por importar esse sistema, dificultando assim a adequação à realidade nacional (Poças Martins 2009).

2.1.2.3. Vantagens e oportunidades dos BIM

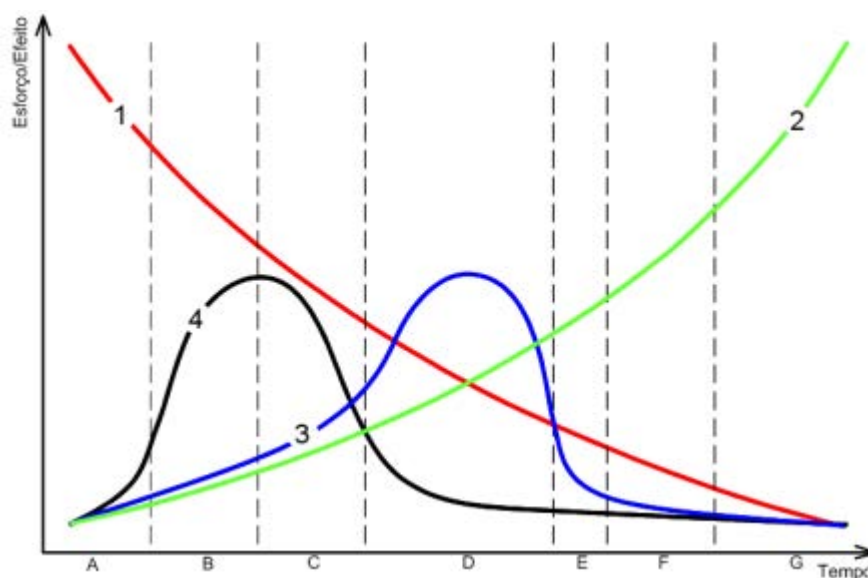
Quando o arquitecto planeia o edifício, utilizando ferramentas tridimensionais (como Archicad, Tekla Structures, Active 3D, MicroStation, VectorWorks, Autodesk Revit, entre outros), o BIM fornece todos os dados necessários aos desenhos, à expressão gráfica, à análise construtiva, à quantificação de trabalhos e tempos de mão-de-obra, desde a fase inicial do projecto até ao desfecho da obra e ao seu uso. A partir do momento em que a edificação é projectada, toda a informação necessária para a sua validação encontra-se, automaticamente, associada a cada um dos elementos constituintes. A detecção e resolução de problemas na produção e no gerenciamento de edifícios usando o BIM agregam um carácter promissor a este conceito (Medeiros 2009; Monteiro 2010).

Além do apresentado anteriormente, (El-Desouki, Hosny 2005), refere uma lista de potenciais vantagens identificadas com a adopção desta tecnologia pela indústria da construção:

- a) Pesquisa e obtenção eficientes de documentos específicos;
- b) Propagação de alterações rápida e directa;
- c) Automatização de fluxos de trabalho;
- d) Compilação da informação relevante;
- e) Integração de processos de produção e de gestão documental que resultam numa economia de esforços ao nível administrativo;

- f) Simplificação da recolha de informação produzida em projectos anteriores ou provenientes de fontes de informação externas;
- g) Criação de condições favoráveis para a realização simultânea do trabalho de diversos projectistas, resultando em prazos mais curtos para o desenvolvimento de projectos;
- h) Eliminação da introdução repetida de dados, evitando-se os erros associados;
- i) Redução de esforços redundantes relacionados com a repetição de tarefas de projecto e com as verificações das especificações elaboradas;
- j) Aumento de produtividade devido a uma partilha de informação mais rápida e isenta de ruído;
- k) Simplificação da introdução de modificações em projectos;
- l) Melhoria da cooperação interdisciplinar.

Com a implementação dos BIM é induzida uma alteração nas práticas de trabalho usuais. Uma das vantagens destas alterações é a antecipação de decisões de projecto e acontecimentos que só seriam detectáveis na fase de construção. Desta forma, há uma maior redução de custos, já que estes são maiores quanto mais tarde forem efectuadas as alterações. Esta economia é justificada através da visualização na Figura 2, comparando a linha 3 com a linha 4.



- | | |
|--|--------------------------|
| 1. Possibilidade de produzir impacto nos custos e aspectos funcionais do projecto; | A. Promoção; |
| 2. Custo de alterações produzidas no projecto; | B. Estudo prévio; |
| 3. Processo tradicional; | C. Projecto; |
| 4. Processo alternativo. | D. Projecto de execução; |
| | E. Procurement; |
| | F. Gestão da construção; |
| | G. Operação. |

Figura 2 - Vantagens da antecipação da tomada de decisões. Curva de MacLeamy, Adaptado de (CURT 2004).

Prevê-se assim a existência de benefícios futuros com a implementação desta tecnologia. Os primeiros a sentirem tais benefícios serão os projectistas, embora, com os factores mencionados anteriormente, se espere que estes benefícios se alarguem a um espectro bastante maior ao longo do projecto e da

execução da obra. Com a existência de uma base de dados que contém a maioria das informações decorrentes do processo construtivo, há uma alteração da forma como é feita a gestão da informação actualmente. Este factor permite que a informação esteja disponível para todos os intervenientes do projecto sempre que necessária, possibilita que todos tenham a versão mais actualizada do projecto, reduzindo desta forma erros de projecto e várias versões do mesmo (Poças Martins 2009).

2.1.2.4. Desvantagens dos BIM

Os BIM são uma tecnologia emergente que acarreta vários riscos e responsabilidades. Como tal, os profissionais da construção e os advogados ainda estão a ganhar experiência em práticas de negócios, bem como o desenvolvimento de uma compreensão dos riscos e problemas associados aos BIM. Algumas preocupações são as seguintes (Katz 2010):

- a) Maior responsabilidade das Construtoras e Projectistas;
- b) Direitos de propriedade intelectual;
- c) Não fornecimento do padrão exigido para a preparação de documentos de projecto;
- d) Consideração de seguros;
- e) Erros de precisão;
- f) Preço do *software* e actualizações.

Trata-se de uma tecnologia em crescimento. Embora tenha as suas desvantagens, um facto positivo para focar é o futuro. Tem o potencial para se tornar a principal tecnologia da indústria da construção. Quanto mais for utilizado e quantos mais dados forem introduzidos durante a vida de um projecto, mais benefícios podem ser aproveitados, maior proficiência é ganha pelos utilizadores, elevando o potencial da tecnologia e pressionando para a obtenção de vantagens em cada área do projecto (Wammen 2010).

Quando há alterações de processos e rotinas de trabalho, há sempre riscos e dificuldades associados. Segundo (Eastman et al. 2008) , as barreiras que se encontram na aplicação dos BIM dividem-se em duas categorias: barreiras processuais e barreiras tecnológicas.

Nas barreiras processuais o autor refere:

- a) O mercado ainda não está preparado para receber os BIM, pois está numa fase de inovação;
- b) A obra ou o empreendimento já está financiada e o projecto completo, não valendo a pena a implementação dos BIM;
- c) Custos e curva de aprendizagem demasiado elevados;
- d) Todos têm que estar dispostos na utilização dos BIM para o esforço valer a pena;
- e) Há demasiadas barreiras legais e estas são demasiado caras para se alterar;
- f) A questão da apropriação do modelo e da gestão vai ser muito exigente com os recursos do proprietário.

Para os riscos e barreiras tecnológicas expõe:

- a) A tecnologia está pronta para uma única disciplina, mas não para o projecto integrado;
- b) As normas ainda não estão definidas ou amplamente adoptadas.

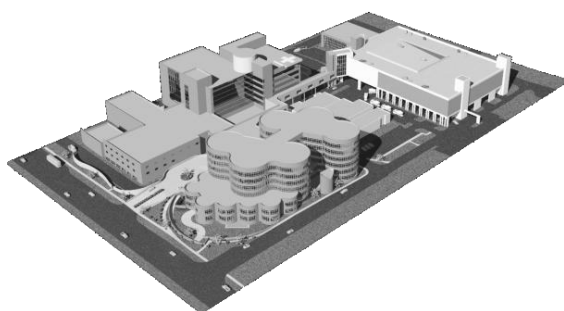
2.1.2.5. Integração e Dinamização

Apesar da existência de ferramentas que permitem o trabalho em conjunto pelos diversos profissionais envolvidos no projecto, estes ainda tendem a trabalhar isoladamente e sem o utensílio de tais ferramentas.

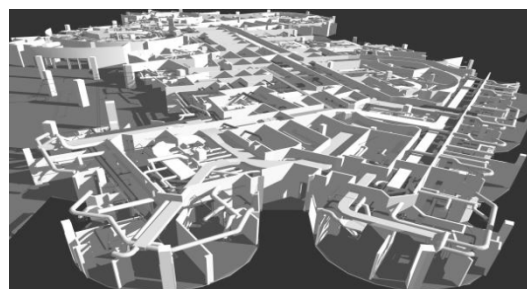
Por forma a promover uma integração e dinamização dos BIM existem, segundo (Picotês 2010), três caminhos:

- a) Implantar módulos adicionais dos projectos complementares ao projecto arquitectónico na mesma plataforma;
- b) Exportação do módulo arquitectónico como arquivo de dados num padrão aberto, o qual pode ser importado pelos colaboradores do projecto e utilizado nas suas aplicações específicas;
- c) Desenvolver aplicações específicas através de API (*Application Programming Interface*) que dependem da permissão dada pelo representante BIM e da acessibilidade das propriedades dos objectos.

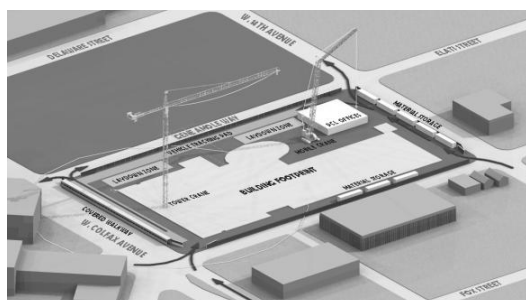
Num típico projecto BIM, existe o desenvolvimento de um modelo 3D com informação que suporta a realização de análises e facilita a fabricação, envolvendo mais decisões e incorporando um esforço maior do que o actual conjunto de documentos. Com os elevados custos iniciais de *software* e mão-de-obra as empresas podem ficar pouco receptivas à instalação de novos sistemas. No entanto, há registo de que estes custos iniciais elevados se traduzem em benefícios ao nível dos documentos para a construção. Por forma a reduzir os custos, os BIM permitem a redução dos erros de projecto, permitindo a sua detecção e alteração numa fase mais precoce (Eastman et al. 2008). Há uma mais fácil compatibilização entre os projectos das diferentes disciplinas e uma redução do volume de trabalhos correspondente à inserção de dados repetidos. Tanto as medições como a generalidade das peças desenhadas são geradas automaticamente, sendo actualizadas sempre que é introduzida nova informação por qualquer uma das partes. Estes factores permitem antecipar vários conflitos que só seriam detectáveis em obra, permitindo assim antecipar um acréscimo de qualidade global dos projectos de construção (Poças Martins 2009).



1 - Modelo da Arquitectura



2- Modelo estrutural e de instalações



3 - Modelo do Planeamento no local

Wall List									
Flow (Jury)	F#	Thickness	Height	Length of the wall at the center	Volume	Reference Soil Material	Grass Surface of the Soil at the Top of the Wall	Surface of the Soil on the Opposite Side	Grass Surface of the Soil on the Opposite Side
							Line Type	Line Size	Reference Soil Material
1									
2									
3	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	107.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
4	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
5	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
6	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
7	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
8	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
9	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
10	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
11	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
12	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
13	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
14	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
15	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
16	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
17	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
18	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
19	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
20	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
21	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
22	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
23	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
24	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
25	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
26	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
27	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37
28	54.14.02	EN 54.14.02	53.330 Structural Concrete	1.300"	106.600' 10' 0" 200"	251.53 Cu Concrete	214.37	214.37	214.37

4 - Mapa de Medições

Figura 3 - Diferentes componentes do BIM. Adaptado de (Salman Azhar 2008).

É de salientar que com a introdução dos BIM, todos os envolvidos no projecto sentirão os seus benefícios e não só a equipa de projectistas, já que todo o processo de planeamento é alterado com a introdução de uma entidade abstracta no processo construtivo que é a recolha e compilação de informação. Durante todo o processo construtivo há também benefícios de impacto significativo, já que os BIM permitem o acesso imediato à versão mais actualizada de qualquer documento por parte de todos os intervenientes. É de prever que com a disponibilidade de informação, as tarefas de gestão desta poderão ser, em grande parte, automatizadas. Se as tecnologias BIM começarem a ser utilizadas pelas empresas mais influentes do sector da construção, pode resultar numa pressão sobre as entidades com o intuito de criar mecanismos de automatização de processos (Poças Martins 2009).

2.1.2.6. Desafios Futuros dos BIM

Os benefícios produtivos e económicos dos BIM na indústria da construção começam a ser conhecidos e cada vez melhor compreendidos. Além disso a tecnologia está prontamente disponível e a amadurecer rapidamente. Ainda assim, a tecnologia BIM não está a ser implementada tão rapidamente como o esperado inicialmente. Para tal ocorrência, contribuem aspectos técnicos e de gestão. Nos primeiros pode-se evidenciar a necessidade de definir correctamente os modelos dos processos transaccionais, de modo a eliminar os problemas de interoperabilidade, a obrigação dos dados do projecto poderem ser alterados digitalmente e ainda do desenvolvimento de estratégias práticas para a permuta e a integração intencional de informações relevantes entre os vários componentes do modelo. Para os aspectos de gestão podem contribuir a falta de documentos instrutivos sobre a implantação dos BIM. Há uma necessidade de normalizar o processo BIM e definir guias de implementação. Há ainda que definir quem deve desenvolver e operar os modelos de informação e como devem os custos de desenvolvimento e operacionais ser distribuídos (Salman Azhar 2008).

Há a salientar que, em pequenas empresas se torna de difícil aplicação a implementação de tais tecnologias, uma vez que não podem ser apenas uma ou outra pessoa a adoptar os BIM, pois a interoperabilidade fica comprometida, já que os restantes membros que colaboram no projecto continuam a utilizar ferramentas CAD e estas não possuem capacidade de comunicação com as ferramentas BIM. Desta forma, torna-se de vital importância uma correcta análise de custos e de benefícios, já que os BIM não se tornam ferramentas imprescindíveis para todas as empresas.

Segundo o exposto, torna-se essencial desenvolver soluções adequadas para superar estes desafios e os riscos associados.

2.1.3. INTEROPERABILIDADE

Operabilidade é a característica fundamental de ferramentas simples utilizadas para se completar tarefas simples com eficiência. Interoperabilidade é a característica fundamental das ferramentas concebidas para trabalhar em conjunto como parte integrante dum sistema para completar tarefas complexas (Dana K. Smith 2009).

Na indústria da construção, o projecto e a construção são trabalhos de equipa, sendo que cada interveniente das diferentes especialidades é suportado pelos seus próprios *softwares* e aplicações informáticas. A interoperabilidade é a capacidade dos sistemas comunicarem eficientemente entre si. Esta identifica a necessidade de passar dados entre aplicações e elimina a necessidade de repetir a introdução de dados já concebidos (Eastman et al. 2008).

Os sistemas de informação são peças centrais e incontornáveis nas organizações actuais. Com o aumento do uso dos BIM, os problemas de interoperabilidade estão a ganhar cada vez maior importância. Além da utilização dos BIM para se criarem os desenhos em 3D, eles são ricas bases de dados das características físicas e funcionais duma instalação. Para se poder otimizar a aplicação dos BIM, é crucial que os dados nele contidos sejam partilhados entre os diversos intervenientes da equipa de projecto, sendo a interoperabilidade um factor determinante. Se tal não acontecesse, estar-se-ia a fazer uma duplicação de dados ao reintroduzi-los noutras aplicações utilizadas pela equipa, causando custos acrescidos desnecessários.

A maioria dos *softwares* disponíveis no mercado para a indústria da construção são operáveis mas não totalmente interoperáveis. Há no entanto notáveis excepções. Muito poucos *softwares* são concebidos para receber informação constantemente e com fiabilidade por parte de outros *softwares* ou transmiti-los para um terceiro. A maioria das aplicações informáticas disponíveis para a construção é gerada com o pressuposto de que existe no seu pequeno mundo (Dana K. Smith 2009).

Uma grande parte da indústria beneficiaria actualmente com a interoperabilidade. Esta permite acelerar os processos, reduzir desperdícios e cortar nos custos. Tem benefícios económicos associados a custos de produção mais baixos, operação de peças padronizadas e processos automatizados.

A falta de interoperabilidade leva a custos para a indústria. Segundo um relatório do McGraw Hill SmartMarket 2007, em média, cerca de 3,1% dos custos de projecto estão associados a custos de não interoperabilidade. Um estudo de 2004 da *National Institute of Standards and Technology* sugere que 15,8 milhares de milhões de euros são perdidos anualmente no sector de AEC (Arquitectura, Engenharia e Construção), devido à falta de informações precisas e intercâmbio de informações eficazes (AIA 2009).

Ainda segundo (AIA 2009), sem a interoperabilidade de *software* verifica-se:

- a) Aumento de despesas para a indústria da construção e para o proprietário na formação e requalificação profissional em várias plataformas;
- b) Aumento do desperdício de tempo, materiais, energia e dinheiro;
- c) Declínio da produtividade com reintrodução de dados, várias versões e verificação de documentos, bem como fluxo de trabalho;
- d) Perda de acessibilidade aos ficheiros no futuro;
- e) A indústria de *software* não vai alcançar um desenvolvimento robusto de análise e simulação de ferramentas e interfaces necessárias para responder à rápida mudança da indústria.

“The AIA believes that all industry-supporting software must facilitate, not inhibit, project planning, design, construction, commissioning and lifecycle management. This software must support non-proprietary open standards for auditable information exchange and allow for confident information exchanges across applications and across time.”

(AIA 2009)

A evolução das tecnologias e infra-estruturas aliadas às redes de computadores vieram colocar novos desafios às organizações. Os sistemas centralizados têm sido progressivamente substituídos por sistemas de informação distribuídos, compostos por múltiplos computadores ligados em rede. Por outro lado, de um ponto de vista organizacional, há uma crescente necessidade de aceder a informação consolidada e agregada, oriunda de diferentes fontes.

2.1.4. IFC – INDUSTRY FOUNDATION CLASSES

Enquanto as aplicações baseadas em modelos de geometria estão bastante enraizadas na indústria da construção (AEC - Arquitectura, Engenharia e Construção), a necessidade para a execução de um modelo de dados específico para a construção é um paradigma de execução complexa. As aplicações actualmente existentes como Graphisoft ArchiCAD, Autodesk Revit, Bentley Architecture e Autodesk Architectural Desktop têm modelos de dados internos proprietários, uma vez que são pedidos pelos fornecedores comerciais. Este factor leva à impossibilidade de comunicação das suas ricas bases de dados entre as aplicações, a menos que sejam desenvolvidos tradutores específicos. O IFC é um modelo de construção similar, mas não é proprietário. A especificação do IFC é um formato de dados neutro para descrever, trocar e partilhar informações normalmente utilizadas no sector da construção.

O paradigma do IFC tem um esforço paralelo bastante próximo do modelo colaborativo ISO-STEP (*STandard for the Exchange of Product model data*). Com início na década de 80 pela *International Standards Organization* (ISO), o STEP foi centrado na definição de normas para a representação e troca de informações sobre produtos, sendo utilizado nos dias de hoje em várias disciplinas da concepção do projecto. Com a utilização deste modelo pela indústria da construção civil, chegou-se à conclusão que seria necessário um modelo mais específico para a representação de dados do edifício. Surge desta forma o envolvimento com a IAI (*International Alliance of Interoperability*), transmitindo conhecimento e experiência na definição de normas para a indústria. O objectivo da IAI era diferente do do ISO-STEP. Este passava por lançar uma versão nova do IFC todos os anos, de forma a encorajar rapidamente as empresas e fomentar o desenvolvimento (Khemlani 2004). Desponta na década de 90 o modelo do IFC, como uma iniciativa da IAI, com o intuito de ser criado um formato padrão de representação para a construção através dum paradigma *ad hoc*, ou seja, ciclos completos de construção de *softwares* que não foram correctamente projectados em razão da necessidade de atender a uma requisição específica do utilizador, ligada a prazo, qualidade ou custo. Este *standard* deveria cumprir uma série de especificações próprias de um modelo de dados para representação de produtos.

Para tal, desenvolveu-se uma linguagem de programação para permitir a estruturação desmaterializada do modelo, de modo a possibilitar a inclusão incessante de novos elementos e especificações. Desta forma, pretendia-se obter um mecanismo robusto para modelação e integração de informação, consistente com os princípios de troca de dados entre sistemas. Era assim concebida a linguagem de programação EXPRESS e EXPRESS-G (elemento gráfico) (Sousa et al. 2011). A partir de 2005 a IAI é denominada buildingSMART Alliance.

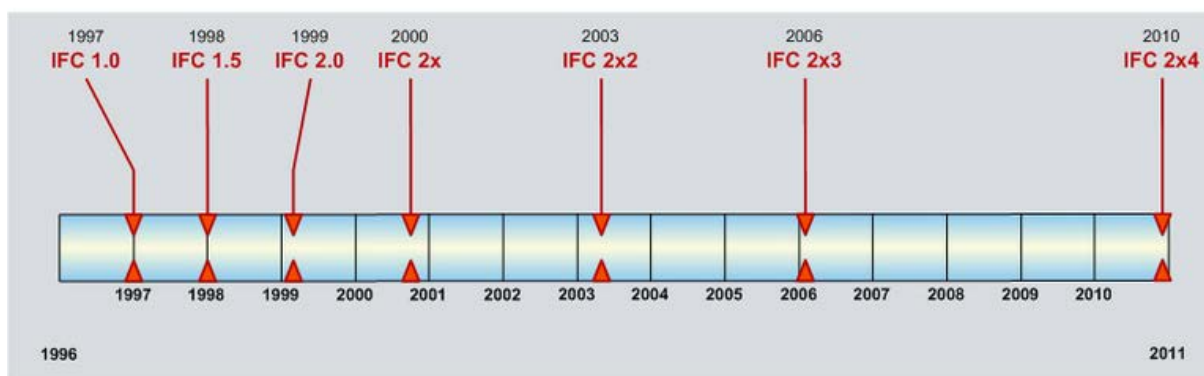


Figura 4 - Várias versões lançadas do modelo IFC, (IAI, 2011)

Têm sido lançadas várias versões desde o início do desenvolvimento do modelo IFC, tal como se pode ver na imagem anterior, sendo as primeiras lançadas com o propósito de criar uma linguagem sólida, estável e que seja suportada pelos diferentes *softwares*. Em 2002 uma boa parte do modelo conseguiu a certificação ISO, ficando assim definido o cerne deste. Desde então que o modelo tem sido expandido e alargado, estando à data da submissão da tese uma versão em desenvolvimento (IFC 2×4) bastante ampla em avaliação para a totalidade do modelo obter a certificação ISO. Se tal for conseguido estará dado um grande passo no sentido de implementar o modelo IFC como um *standard* BIM universal.

Esta versão IFC 2×4 apresenta o aspecto observado na Figura 5.

Uma abordagem baseada num modelo de interoperabilidade impõe disposições de informação uniformizadas em toda a indústria. O *Industry Foundation Classes* (IFC) foi desenvolvido pela *International Alliance of Interoperability* (IAI) com o intuito de proporcionar essa normalização de permuta de dados. Embora a tecnologia de troca de informações utilizando o IFC tenha sido estabelecida, há muitas áreas em que é necessário um desenvolvimento adicional antes de se atingir uma interoperabilidade global (Froese 2002). Há várias áreas da construção que se encontram no vazio no que concerne ao modelo IFC, ou que se encontram em fase bastante embrionária. Estas podem ser alvos de estudos e propostas por parte dos utilizadores, além do desenvolvimento por parte da equipa da BuildingSmart. Este facto é devido à grande abrangência da construção civil, sendo que se vai implementando o sistema por fases de desenvolvimento. Há diversas propriedades que podem ser adicionadas pelos utilizadores como forma de complementar o sistema e preencher alguns dos vazios existentes, sendo que, no entanto, este método apresenta também algumas limitações. Um exemplo de crescimento necessário é o caso dos *softwares* de análise estrutural como o Autodesk Robot que não recebem o modelo estrutural em condições de ser analisado através do modelo IFC. Há portanto um longo percurso a percorrer no seu desenvolvimento.

Trata-se de um esquema de dados comum e aberto que torna possível a execução e o intercâmbio de dados entre diferentes aplicações de *software*. O esquema de dados inclui informação sobre as várias disciplinas que têm contribuído ao longo do ciclo de vida de um edifício: desde a concepção, passando pelo projecto, construção e operação para remodelação ou demolição (IAI 2011).

O IFC aperfeiçoa a comunicação, a produtividade, o tempo de entrega e a qualidade em todo o ciclo de vida de um edifício. Reduz a perda de informações durante a transmissão de um aplicativo para outro, com padrões estabelecidos para objectos análogos na indústria da construção. O seu formato apoia-se na troca de dados entre processos em vários domínios, tais como arquitectura, engenharia estrutural, construção e instalações.

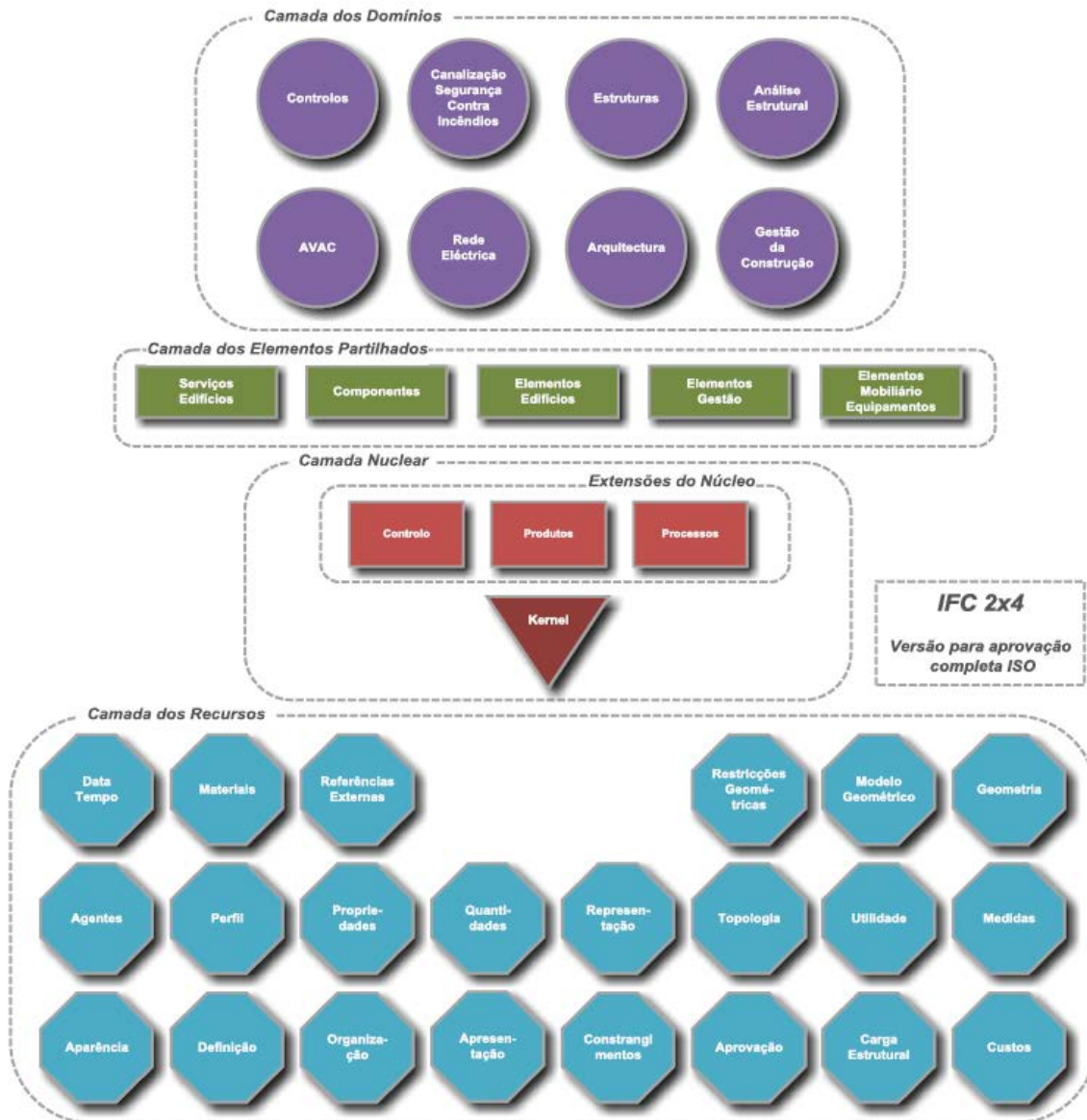


Figura 5 - Estrutura da base de dados do modelo IFC, versão 2x4 (IAI, 2010). Adoptado de (Sousa et al. 2011).

Para se definir na base de dados do modelo IFC os produtos da construção, faz-se a pormenorização de três substâncias genéricas (Monteiro 2010):

- a) Os objectos;
- b) As propriedades;
- c) As relações.

Estes têm sido incessantemente actualizados de modo a cobrir a maioria das necessidades de representação.

Os objectos são a definição de um conceito ao qual é dado significado de modelação, pela atribuição de propriedades. São assegurados através de formas simples, já que formas complexas podem ser transmitidas com falta de informação ou outro tipo de erros.

As relações entre objectos e/ou classes, definem a familiaridade e a forma como estes se relacionam. Para as relações entre objectos não há registo de omissões, donde se conclui que a vasta gama de entidades de representação de relações que está contida no modelo, abrange as necessidades actuais, seja a atribuir relações, composição e decomposição de partes, associação de informação a objectos, definição de relações genéricas ou conectividade topológica entre elementos (Eastman et al. 2008).

As propriedades são um conjunto muito heterogéneo devido ao espectro alargado do modelo do IFC. São um conjunto de atributos utilizados para caracterizar um objecto em termos de constituição e/ou funcionalidade. Há uma gama de produtos bastante extensa e cada objecto tem várias propriedades. Este factor faz com que haja omissões e lacunas na representação de propriedades. Como forma de solucionar esta situação, foram inseridos no modelo vários conjuntos de propriedades, denominados *Property Sets*, que dizem respeito às características mais comuns. O utilizador pode introduzir propriedades mais específicas como uma dependência das características mais gerais. É assim possível completar o modelo por parte do utilizador através de novos *Property Sets* relacionando-os com as propriedades e elementos existentes (Monteiro 2010).

A estrutura do IFC permite variar os meios de representação pelos diferentes módulos de forma a abranger as várias especialidades do sector da construção, organizando os diferentes módulos numa única base de dados consistente com a centralização dos recursos. Torna-se necessário encontrar o equilíbrio nesta flexibilidade, de forma a assegurar a distribuição da informação por módulos e a consistência da base de dados. Este é um processo complicado de satisfazer, tal como a preservação da rigidez estrutural do modelo (Gequaltec 2011).

A estrutura do modelo IFC é modular, dividida em quatro camadas conceptuais que operam segundo uma hierarquia de referências em escada (Figura 6). Isto significa que uma alteração nas classes superiores leva a uma modificação da estrutura nas classes de nível inferior, logo estas herdaram as propriedades das classes de nível superior (Poças Martins 2009). Dentro da estrutura do modelo há a camada mais geral, que engloba as classes que definem os recursos de representação. Depois segue-se o núcleo estrutural do modelo, camada que contém o módulo Kernel e outro, com extensões para este. De seguida surge a camada dos elementos partilhados ou camada de interoperabilidade que possui uma série de módulos capazes de definir objectos ou classes de objectos comuns a várias áreas da construção. As especialidades da construção são definidas na última camada. Nesta surgem ainda módulos de adaptadores para alguns domínios de aplicações não IFC (Gequaltec 2011).

Por forma a abranger as várias especialidades do sector da construção, a satisfazer as exigências de modelação e a concentrar os recursos para integrar os módulos numa base de dados única, a estrutura do IFC permite uma variada gama de recursos de representação. A maior dificuldade do modelo encontra-se no encontrar-se o equilíbrio certo na flexibilidade, uma vez que é essencial que haja fluidez no trabalho por módulos e rigidez estrutural do modelo para garantir uma base de dados consistente após a anexação dos diferentes módulos (IAI 1999).

As ilações a retirar sobre o IFC, segundo (Sousa et al. 2011), referindo um estudo de (Solihin 2004), recaem na resolução das questões relacionadas com a interoperabilidade entre sistemas com a utilização deste modelo, para se poder proceder à consolidação de processos. Destaca-se a necessidade de ser necessária a implementação do modelo numa perspectiva mais global, por forma a ter verdadeiros testes. Para tal, salienta-se o papel decisivo dos governos, dos grandes clientes e das grandes empresas, em reforçar os esforços com vista ao desenvolvimento do papel dos modelos de informação na construção.

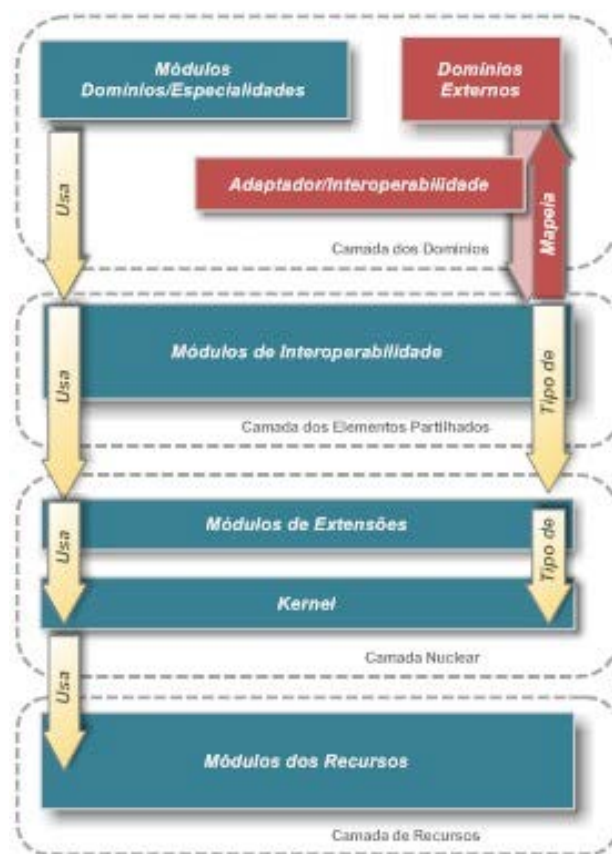


Figura 6 - Relações entre camadas do modelo IFC, versão 2x4 (IAI, 2010). Adoptado de (Gequaltec 2011).

2.2. MONITORIZAÇÃO DE ESTRUTURAS

Uma estrutura corresponde a um conjunto de elementos estruturais de uma infraestrutura, tais como pontes, barragens, túneis, viadutos, edifícios, redes de distribuição e transporte de energia. Num edifício os elementos estruturais mais frequentemente utilizados são os pilares, vigas e lajes.

O objectivo da instrumentação e monitorização de estruturas é o de conhecer o comportamento *in-situ* do edifício com precisão e eficiência, para avaliar a sua performance sobre diferentes cargas em serviço, para detectar danos ou deterioração, isto é, para determinar a saúde e condição da estrutura. A monitorização deve ser capaz de oferecer informações fiáveis, relativas à segurança e integridade da estrutura (Mufti 2001).

A instrumentação e monitorização de estruturas cumpre um papel fundamental na manutenção de infraestruturas, que geralmente necessitam de programas de inspecção e manutenção periódicos e exaustivos. Tem como objectivo medir e acompanhar deformações estruturais em vigas e pilares, assentamentos de apoio, entre outros. Muitas destas estruturas estão expostas a cargas elevadas, ambientes agressivos ou já ultrapassaram o seu tempo de vida útil, sendo que são projectadas tendo em conta que serão efectuados trabalhos de manutenção e protecção durante a sua vida.

Uma boa forma de explicar a monitorização de estruturas é fazendo uma analogia com o corpo humano. Tal como um médico verifica o estado de saúde do seu paciente, actualmente os engenheiros têm a necessidade de verificar o estado das estruturas e dos edifícios. O médico utiliza equipamentos especializados para fazer o diagnóstico, tal como a pressão sanguínea e as tensões e assim monitorizar a saúde do paciente. Por sua vez, o engenheiro, utiliza sensores específicos incorporados ou acoplados

nas estruturas de modo a retirar leituras do comportamento do edifício. Se as tensões do paciente estiverem demasiado altas, o médico prescreve medicação correctiva. Da mesma forma, se os dados recolhidos pelos sensores na monitorização indicarem comportamento anómalo, o engenheiro pode tomar as medidas apropriadas para a sua correcção. Em ambos os casos, uma resposta imediata e apropriada previne consequências catastróficas.

Toda esta informação recolhida pela monitorização estrutural torna-se indispensável de organizar e gerir. Na indústria, o conceito de *product lifecycle management* (PLM) é um processo de gestão do ciclo de vida completo de um produto desde a sua concepção, passando pelo projecto, fabricação, manutenção e eliminação (CIMdata 2011). O PLM integra pessoas, dados, processos e sistemas de negócios e proporciona uma espinha dorsal de informação para as empresas (PLM-TechnologyGuide 2008). Os dados podem conter informação acerca dos fornecedores de materiais e componentes ou a discriminação das suas características e são frequentemente ligados a um sistema CAD (Poças Martins 2009).

O cerne do PLM centra-se, na criação e gestão de centrais de todos os dados do produto e da tecnologia utilizada para aceder a esta informação e conhecimento. O PLM como uma disciplina surgiu a partir de ferramentas como o CAD, CAM (*Computer-aided manufacturing*) e PDM (*Product data management*), mas pode ser visto como a anexação destas ferramentas com métodos, pessoas e processos em todas as fases da vida de um produto (Teresko 2004). Não se trata apenas de tecnologia de *software* mas é também uma estratégia de negócio (Stackpole 2003).

A implementação de sistemas de monitorização permite uma gestão apropriada dos recursos, traduzindo-se na economia das soluções e na garantia da durabilidade e da segurança estrutural, quer seja durante a construção, quer seja durante a fase de exploração. É neste sentido que se pode dizer que estes sistemas garantem ou aumentam o período de vida e exploração das estruturas com qualidade e eficiência económica (NewMensus 2009).

A observação do comportamento das mesmas tem sustentado o desenvolvimento social e económico, uma vez que contribui para o aumento do conhecimento no comportamento estrutural em condições de serviço e dos materiais, em disposições próximas dos valores máximos previstos no projecto (Félix 2004).

Os sistemas de observação estrutural têm sofrido alterações significativas, tanto na forma como no conceito, devido ao desenvolvimento tecnológico. Nos primeiros tempos a avaliação estrutural era quase exclusivamente qualitativa e derivava de inspecções visuais esporádicas coadjuvadas por medições pontuais através de dispositivos mecânicos. Posteriormente, especialmente com o aparecimento dos primeiros computadores, houve um incentivo na utilização destes por forma a haver uma comparação de resultados com modelos numéricos derivados da experimentação. O conceito de monitorizar as estruturas continuamente quer durante a fase construtiva, quer durante a fase de serviço, surgiu mais recentemente, através dos primeiros sistemas de monitorização integrados que medem grandezas tão distintas como deslocamentos, rotações, extensões, inclinações, temperaturas, humidades relativas, pressões, acelerações, entre muitas outras. Esta análise é feita tendo em atenção a durabilidade, o comportamento cíclico dos materiais e os efeitos na estrutura consequentes do processo construtivo e do comportamento da estrutura como previsto no projecto (Figueiredo 2006). Actualmente estão disseminados sistemas e sensores fundados na electrónica e na opto-electrónica. Estes apoiam a ideia da monitorização do comportamento estrutural (Félix 2004). Os progressos dos sistemas de aquisição automáticos e programáveis, da transmissão remota de dados e dos algoritmos para tratamento e análise dos resultados possibilitam acompanhar continuamente e a longo prazo as

estruturas. A monitorização da integridade estrutural engloba ainda nos dias de hoje a identificação de danos e a previsão de vida útil da estrutura (Figueiredo 2006).

Com base na interpretação das medições concretizadas é possível detectar avarias estruturais e prever oportunamente eventuais situações de colapso, aumentando a vida útil da obra. Neste contexto, a motivação para o desenvolvimento e aplicação de sistemas de monitorização está enquadrada por factores directamente relacionados com o comportamento e a segurança das estruturas, e com considerações de ordem económica (Pedro 1997).

2.2.1. SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO

Actualmente, os sistemas de monitorização permitem a aquisição, armazenamento e análise dos dados recolhidos a partir dos sensores instalados. Tem existido um enorme desenvolvimento nestes equipamentos, especialmente no que diz respeito à qualidade da medição, à frequência de aquisição e à capacidade de armazenamento e de processamento de informação, a custos cada vez mais acessíveis. Espera-se que estes sistemas consigam fornecer a informação o mais pormenorizada possível acerca do comportamento estrutural (Cavadas 2008).

Os elementos que constituem os sistemas de monitorização podem ser descritos, geralmente, da seguinte forma:

- a) Rede de sensores;
- b) Sistema de aquisição de dados;
- c) Sistema de comunicação;
- d) Controlo da aquisição e tratamento de dados;
- e) Modelo de avaliação e de detecção de danos;
- f) Sistema de gestão e de decisão.

Um sistema de monitorização é composto por uma rede de sensores ao longo da estrutura, ligados a um sistema de aquisição que interroga os sensores, ajusta o sinal e armazena ou envia directamente os dados através de um sistema de transmissão para um laboratório. Depois, os dados são tratados e transformados em informação concreta para avaliar o comportamento estrutural. Nesta fase é indispensável a calibração de modelos numéricos estruturais com a informação disponibilizada, para ajudar no processo de avaliação de cada elemento monitorizado bem como da estrutura no seu todo (Figueiredo 2006).

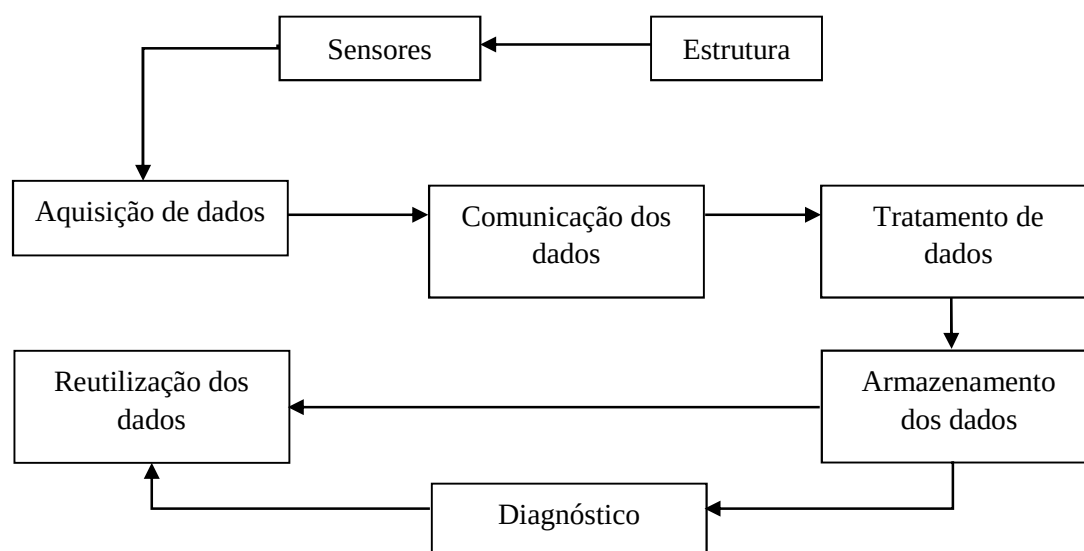


Figura 7 – Composição do sistema de monitorização estrutural.

Segundo outro autor, (Mufti 2001), a composição do sistema de monitorização estrutural pode ser definida segundo o esquema apresentado na Figura 7.

A **aquisição de dados** é o primeiro elemento do sistema. Aqui, a primeira tarefa a ser executada é a preparação de um plano para a instalação de sensores. Estes devem ser minuciosamente seleccionados e fornecer informação assertiva sobre o estado de saúde da estrutura. Os dados recolhidos pelos sensores são complexos e podem ter um volume muito elevado, especialmente na monitorização continua. No entanto, estes podem ser substancialmente comprimidos se se gravar apenas as alterações registadas nas leituras. O processo mais usual de transferência de dados dos sensores para os sistemas de aquisição é através de um fio condutor. Este processo pode também ser efectuado pela tecnologia sem fios, caso ambos os aparelhos a suportem. Torna-se necessário ter atenção com o comprimento dos fios condutores e com a existência de aparelhos que possam provocar interferência na transmissão de sinal.

A **comunicação de dados** refere-se ao transporte dos dados entre o sistema de aquisição até ao local onde vão ser tratados. Este processo pode ser tão simples como a impressão de uma folha com os dados resultantes do sistema de aquisição e a sua entrega ao engenheiro, como pode ser mais sofisticado e ser transmitida remotamente através de ligações por fio (telefone, internet) ou ligações sem fios.

O **tratamento de dados** é a tarefa onde se faz o rastreio e selecção da informação mais importante e de interesse, uma vez que os sensores fornecem inúmeros dados sobre o comportamento da estrutura e alguns não possuem interesse para o estudo e torna-se antieconómico o armazenamento de todos os dados. Este passo tem um interesse acrescido na medida em que num determinado projecto de monitorização da saúde estrutural pode haver variados sensores tais como extensómetros, inclinómetros, acelerómetros e todos eles possuem sinais diferentes. A única ligação comum entre eles é o computador central que processa e guarda os dados. É importante que este computador seja capaz de processar os dados dos diferentes sistemas e relacioná-los com um factor comum como o tempo. Desta forma torna-se possível relacionar os dados de um sensor com o dos outros sensores.

No tratamento de dados também se faz a correcção dos dados recebidos devido aos efeitos da temperatura, uma vez que alguns sensores são sensíveis a este factor e torna-se essencial multiplicar por factores de correcção.

O **armazenamento de dados** refere-se ao armazenamento de informação que foi tratada e “limpa” anteriormente. Os recursos utilizados para tal armazenamento deve ser um que o possibilite fazer durante vários anos e proporcione informação suficiente de modo a perceber-se o sentido dos dados.

O **diagnóstico** é a interpretação dos dados recolhidos e já tratados e é a tarefa mais importante na monitorização de estruturas. Aqui, os números provenientes do sistema de aquisição de dados podem ser convertidos em quantidades que relatam o comportamento da estrutura e permitem assim interpretar o que nela se passa.

Tal como descrito, a informação deve ser armazenada de forma inteligente e convertida adequadamente de forma a traduzir a resposta da estrutura. É necessário um cuidado acrescido com os dados que são dispensados e com os que são guardados, de modo a quando da necessidade de consultar os referidos dados possa existir uma resposta adequada do sistema de armazenamento ao utilizador. Este processo corresponde à **reutilização dos dados**.

Segundo (Campilho 2000), antes de se iniciar a montagem do sistema de monitorização, é essencial definir os objectivos do trabalho, para se saber quais as medições a realizar. É vital o conhecimento

deste processo dada a importância na selecção do método e dos instrumentos de medição, bem como na interpretação dos valores medidos.

Na observação de obras de arte pode-se fazer a distinção das grandezas caracterizadoras do comportamento da estrutura entre globais e locais. As grandezas globais são de carácter cinemático e englobam deslocamentos, flechas, rotações, forças, aberturas de juntas de dilatação, deslocamentos de aparelhos de apoio, reacções de apoio. As grandezas locais têm um carácter complementar uma vez que trazem incertezas de interpretação acopladas. Estas devem-se essencialmente a três factores: medições pontuais, dependência das técnicas de instalação e sensibilidade aos efeitos da temperatura. Estão associados às grandezas locais extensões, tensões e abertura de fendas (Cavadas 2008; Félix 2004).

No que diz respeito à caracterização das condições ambientais, os mesmos autores referem que pode haver necessidade de instalar uma estação meteorológica, na obra ou nas suas proximidades, contendo sensores capazes de medir a temperatura ambiente, a humidade relativa, a pluviosidade, a radiação solar e o vento. Esta necessidade advém de, por exemplo, a variação de temperatura além de provocar deformações ou tensões nos elementos estruturais, pode ainda alterar as características dos sistemas de medição. Pode-se assim constatar que este facto apresenta a pertinência da instalação de termómetros na estrutura em número suficiente para registo da variação de temperatura experimentada.

A monitorização de estruturas está directamente ligada aos sistemas de medição. Estes são muito abrangentes e dependem da grandeza e da magnitude que se pretende medir. Apresenta-se de seguida alguns dos sensores e respectivos processos de medição mais correntemente utilizados, não se pretendendo descrever exaustivamente todos os sistemas disponíveis, uma vez que se encontram devidamente tratados na bibliografia da especialidade.

2.2.1.1. Deslocamentos

Para a medição dos deslocamentos relativos entre dois pontos existe uma vasta gama de aparelhos. Nestes os mais utilizados são os transdutores capacitivos, os resistivos e os indutivos (Félix 2004). Os transdutores de deslocamento capacitivos, utilizam a variação da capacitância em função da variação do afastamento entre placas para a medição do deslocamento. Os transdutores à base da variação da resistência, funcionam por alteração dimensional do resistor efectivo, sendo estabelecida uma relação entre o deslocamento imposto e a resistência do elemento sensor. Os transdutores lineares indutivos são dispositivos electromecânicos que produzem uma saída eléctrica proporcional ao deslocamento de um núcleo ferromagnético móvel.

Para monitorizar deslocamentos, usualmente, são utilizados os transdutores indutivos do tipo LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*), cujo deslocamento é obtido, de forma indirecta, através da variação de uma corrente induzida num solenóide pelo deslocamento de um núcleo magnético no seu interior. Segundo (Cavadas 2008) estes ostentam um enorme interesse na monitorização de estruturas, pois apresentam boa estabilidade a longo prazo, uma elevada vida mecânica, elevada repetibilidade e uma boa resposta tanto em medidas estáticas como em dinâmicas.



Figura 8 - Imagem de LVDT da marca RDP Group.

2.2.1.2. Rotação

A rotação duma estrutura pode ser medida por dois processos com princípios distintos. O primeiro é através da variação angular de um dado eixo entre uma posição inicial e uma posição final, enquanto o outro é através do desvio angular de um dado eixo em relação a um plano de referência que é fixo. Para a medição de variações angulares utiliza-se o clinómetro e para a medição de rotações absolutas é usado o inclinómetro.

Os clinómetros foram os primeiros a aparecer no mercado, destacando-se o clinómetro de bolha de ar. Estes têm elevada precisão e apresentaram como principal limitação o facto de se ter de fazer deslocar um técnico ao local sempre que seja necessário efectuar uma medição. Actualmente, já existem clinómetros digitais.

Não obstante de alguma perda de precisão, hoje em dia, os inclinómetros são preferidos sobre os clinómetros. Isto é devido às vantagens apresentadas, tais como a integração em sistemas automáticos, a automatização de leituras e de frequências de aquisição mais elevadas, serem compensatórias.

Os inclinómetros não permitem a medição da rotação relativa. Eles admitem a medição do desvio angular de um dado eixo em relação a um plano de referência, geralmente horizontal. Porém, desde que correctamente instalados, ou seja, de modo a que o campo de medida não seja ultrapassado durante os eventos a observar, as inclinações registadas relativamente ao plano de referência são facilmente transformadas em rotações relativas (Cavadas 2008).



Figura 9 - Imagem de Inclinómetro da marca US Digital à esquerda e Clinómetro da marca Schaevitz à direita.

2.2.1.3. Extensão

Num corpo real deformado sob a acção de forças exteriores ou de outras acções, usualmente a deformação difere de ponto para ponto e, desta forma, a deformação não é uniforme. Por esta razão, tradicionalmente, a deformação, e consequentemente a extensão, é considerada uma manifestação

pontual. A medição da extensão num ponto é, na realidade, a avaliação da extensão média num segmento cujo comprimento poderá ser maior ou menor dependendo da homogeneidade do material a instrumentar. Os instrumentos de medida utilizados na monitorização de estruturas denominam-se por extensómetros. Nas estruturas de betão é comum aplicar extensómetros de embeber antes da realização da betonagem, enquanto em estruturas de madeira, metálicas, de alvenaria ou estruturas existentes aplicam-se extensómetros à superfície.

Actualmente, os extensómetros mais utilizados na monitorização estrutural são os extensómetros de resistência eléctrica e os extensómetros em fibra óptica. Os extensómetros de resistência eléctrica são mais económicos e mais utilizados, mas tornam-se menos atractivos para distâncias elevadas entre os extensómetros e os sistemas de aquisição, devido ao facto do baixo nível de tensão produzida pelos extensómetros ser susceptível à introdução de ruído nos sinais por intermédio de interferências de natureza electromagnética ou electrostática. A dificuldade é ainda maior para medições dinâmicas, uma vez que os filtros usados para suprimir o ruído podem alterar as características do sinal original. Os sinais produzidos pelos extensómetros em fibra óptica são em forma de luz, logo integralmente imunes a interferências de natureza electromagnética e electrostática. Apresentam ainda reduzida perda de sinal para grandes distâncias e reduzidas dimensões. Há ainda os extensómetros de corda vibrante, que actuam segundo o princípio da frequência natural de uma corda e a tensão a que está sujeita. Estes extensómetros são basicamente constituídos por um fio de aço, tencionado e fixado nas duas extremidades a placas de aço. Quando incorporados num corpo, a uma variação de extensão corresponde uma variação de tensão na corda e consequentemente uma variação de frequência desta (Félix 2004). Os LVDT's podem também ser utilizados como extensómetros.

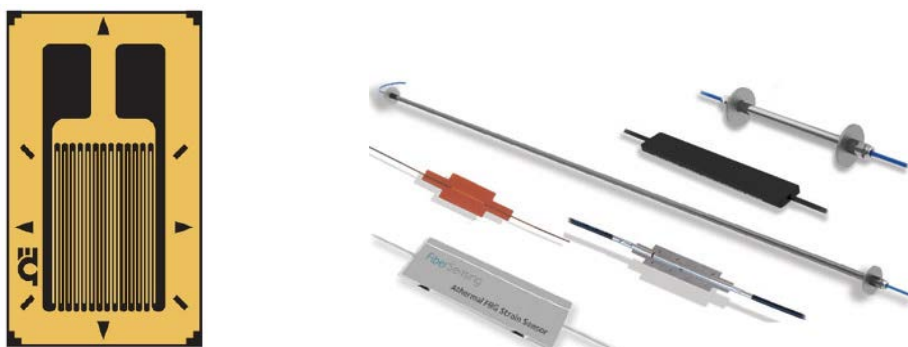


Figura 10 - Imagem de Extensómetro de Resistência Eléctrica da marca Omega à esquerda e Extensómetro de Fibra Óptica da marca FiberSensing à direita.

2.2.1.4. Temperatura

Actualmente existe uma grande variedade de sensores destinados a medir a temperatura, apresentando diferentes características, tais como a gama de medição e a linearidade, o que os torna particularmente indicados para determinadas aplicações específicas. Os sensores correntes na monitorização estrutural são os termopares (*thermocouples*) e os detectores de temperatura resistivos (RTD – *Resistance Temperature Detector*).

Os termopares consistem em dois fios de metais diferentes, ligados numa das pontas. Através da soldadura ou do enrolamento dos dois fios, é produzida uma pequena variação de tensão a uma dada temperatura. São, geralmente, mais económicos do que os RTD's, mais duráveis em aplicações de elevadas vibrações e choques mecânicos e são usados para temperaturas mais elevadas. Os termopares

podem ainda ser mais pequenos do que a maioria dos RTD's, podendo desta forma ser ajustados para aplicações particulares.

Um detector de temperatura resistivo, RTD, fundamenta-se no princípio do aumento da resistência dos metais com a temperatura. Nestes sensores utiliza-se predominantemente a platina, embora nada impeça a utilização de outros metais. Os RTD's fornecem maior precisão do que os termopares dentro do mesmo campo de medida da temperatura pois a platina é um material mais estável do que muitos dos materiais dos termopares. Usam também ligação de fios corrente para ligação a sistemas de aquisição universais e são usualmente utilizados em aplicações onde a repetibilidade e precisão são importantes (Figueiredo 2006).



Figura 11 - Imagem de Termopar à esquerda e RTD à direita, da marca Thermotronics.

Estes sensores de temperatura são, normalmente, encapsulados com troços de tubo de cobre ou aço inox, uma vez que confere aos sensores uma protecção adicional e proporciona o encurtamento do tempo de resposta, dada a sua elevada condutibilidade térmica face a outros materiais. Uma vez que os resultados obtidos por estes sensores podem ser afectados pelas diferentes temperaturas, como a da radiação solar ou a temperatura da estrutura, tem que se ter certos cuidados na sua instalação, bem como após esta, proteger o sensor através de uma placa de isolamento térmico.

2.2.2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO

O sistema de aquisição é o aparelho responsável pela recepção, condicionamento, armazenamento e transmissão das leituras registadas nos sensores. Estes sistemas permitem a interrogação dos sinais provenientes dos sensores, armazenando localmente essa informação ou disponibilizando-a numa rede de dados. Podem ser constituídos por placas de aquisição integradas em computadores ou serem equipamentos de funcionamento autónomo dispensando ligação permanente a computadores.

Segundo (Cavadas 2008), os sistemas constituídos por placas integradas em computadores constituem uma solução mais económica e potente e conduzem a sistemas de monitorização centralizados. Desta forma, tem como principais desvantagens a obrigatoriedade da permanência em obra de um computador, bem como a existência de cabos de ligação de elevado comprimento. Os equipamentos autónomos são mais dispendiosos, uma vez que são menos potentes e permitem interrogar um número inferior de sensores. No entanto, sendo dotados de ligação em rede, permitem uma instrumentação distribuída na estrutura, conseguindo-se que o comprimento dos cabos de ligação seja inferior e, por consequência, as perdas que lhe estão associadas. Além disso, podem ser facilmente instalados em caixas ou armários de protecção e apresentam consumos de energia mais reduzidos.

Pode-se concluir que quando preenchidas as exigências de interrogação, os sistemas de equipamentos autónomos têm vantagem, tornando-se mais adequados à monitorização de estruturas.

2.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objectivo deste capítulo introdutório aos BIM e sistemas de monitorização é o de apresentar segundo um ponto de vista mais teórico as características e potencialidades do que se considera ser uma área de elevado interesse.

Os BIM assumem um papel importante, apresentando enormes capacidades para o melhoramento das diferentes áreas do sector da construção. O papel destes, aliado ao da monitorização estrutural, confere características e potencialidades ainda por explorar. A sua complexidade pode resultar da existência de muitos parâmetros difíceis de quantificar correctamente. Assim, optou-se por apresentar sucintamente os BIM, bem como o modelo IFC, uma vez que este é a ponte fundamental entre os dois sistemas. De seguida apresentou-se os sistemas de medição de grandezas que mais correntemente se utilizam na observação do comportamento estrutural de obras de engenharia civil, de forma a perceber quais os melhores métodos e assim se extrair apenas a informação essencial ao estudo das estruturas monitorizadas.

Actualmente, os dados recolhidos na monitorização de estruturas são guardados em servidores, não tendo depois uma boa taxa de aproveitamento para dar continuidade aos estudos. Este procedimento faz com que haja um desperdício de recursos, já que não há seguimento na utilização dos dados. Se se passassem estes para um sistema de gestão de informação, podia ser dada continuidade ao estudo estrutural e consequentes acções de acordo com os resultados.

Então, a instalação de um sistema de monitorização convenientemente integrado num sistema de gestão de obras de arte possibilita prever e programar oportunamente as intervenções a efectuar. Para além disso, num panorama de existência de necessidade de trabalhos de reabilitação, os dados recolhidos ao longo do acompanhamento da estrutura facultam informações importantes para o desenvolvimento do projecto. Além de servir de base ao estudo do comportamento real das estruturas, a monitorização contínua dá informações cruciais para os procedimentos de decisão ao nível da gestão de estruturas. Estas informações podem ser utilizadas para procedimentos de manutenção e para projectos futuros, uma vez que permitem avaliar a eficiência das soluções adoptadas (Farhey 2005).

Os sensores apresentados podem ser divididos em duas categorias, sendo estas:

- a) Sensores Ambientais;
- b) Sensores Cinemáticos.

Encontram-se no primeiro grupo os sensores capazes de medir características ambientais, sendo que dos sensores referidos temos os sensores de temperatura.

No segundo grupo estão incluídos os sensores capazes de medir características que englobem movimento estrutural, incluindo-se os sensores de deslocamentos, rotação e extensão.

3

ABORDAGEM PROPOSTA

3.1. MODELO EXISTENTE

Após desenvolvida a fundamentação teórica sobre a qual assenta a presente dissertação, pretende-se aqui introduzir de forma sucinta o modelo proposto que estará na base de todo o trabalho. Para tal, torna-se necessário avaliar o modelo existente, para se saber onde irá ser introduzido o presente modelo em equação.

A arquitectura do modelo do IFC fornece uma estrutura modular para o desenvolvimento dos componentes do modelo, “esquemas modelo”. Existem quatro camadas conceituais dentro da arquitectura, que usam uma referência hierárquica restrita. Dentro de cada camada conceitual um conjunto de esquemas modelo é definido.

A primeira camada conceptual (como ilustrado na Figura 6) fornece classes de recursos utilizados pelas classes nos níveis mais elevados. A segunda camada conceitual fornece um modelo nuclear de projecto. Este núcleo contém o Kernel e diversas extensões do núcleo. A terceira camada conceitual fornece um conjunto de módulos que definem conceitos ou objectos comuns em vários tipos de aplicativos ou domínios da indústria da construção. Esta é a camada de interoperabilidade. Por último, a quarta e mais alta camada do modelo do IFC é a Camada dos Domínios. Esta fornece um conjunto de módulos por medida para o domínio específico da indústria da construção ou tipo de aplicação. Além disso, essa camada contém “adaptadores” modelo especializados para domínios/modelos de aplicação que não são IFC. A arquitectura do modelo opera com um “princípio de escada”. Em qualquer camada, uma classe pode fazer referência a uma outra classe na mesma camada ou na inferior, mas não pode fazer referência a uma classe a partir de uma camada superior. Referências na mesma camada devem ser projectadas com muito cuidado a fim de manter a modularidade na concepção do modelo.

Dada a hierarquia dos subtipos da estrutura dos objectos no modelo IFC, os objectos utilizados nas trocas estão dentro de uma profunda árvore de sub entidades. Expõe-se de seguida (Figura 12) o exemplo para uma entidade parede (Wall).

Cada nível da árvore introduz diferentes atributos e relações à entidade parede. O *IfcRoot* atribui identificadores de informação. O *IfcObjectDefinition* coloca, opcionalmente, a parede como parte de um conjunto mais global e também identifica os componentes da parede, se estes forem definidos. O *IfcProduct* define a localização da parede e a sua forma. O *IfcElement* efectua a relação deste elemento com os outros, tais como relações de paredes delimitadoras, e também os espaços que a parede separa. Também faz referência às aberturas na parede e, opcionalmente, ao tipo de enchimento de portas ou janelas. Este exemplo ilustra a extensividade do modelo IFC e o tipo de abordagem por ele seguida (Eastman et al. 2008).

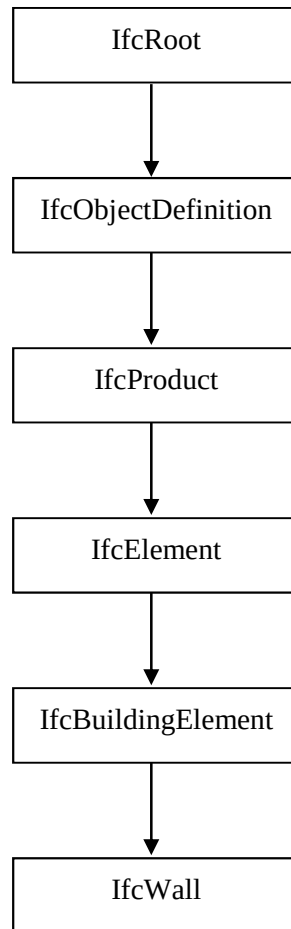


Figura 12 - Esquema da hierarquia do modelo IFC. Adaptado de (Eastman et al. 2008).

Analisando mais profundamente o modelo do IFC, a camada de recursos (Figura 13), a mais baixa na arquitetura do modelo IFC, contém esquemas de dados para suporte das estruturas de dados do modelo e pode ser usada ou referenciada por classes em todas as outras camadas. Os recursos podem ser caracterizados como conceitos de finalidade geral ou de baixo nível, ou objectos que não dependem de quaisquer outras classes no modelo para a sua existência. Deste modo, as entidades dos recursos não podem existir independentemente já que a sua função passa por suportar as restantes entidades do modelo. As diferentes actividades alusivas à representação de produtos da construção estão presentes nesta camada. Por exemplo, todas as ideias sobre a geometria são reunidas no *IfcGeometryResource*. As definições fundamentais de geometria são definidas no presente recurso. Os atributos geométricos mais especializados são também definidos nesta camada. Da mesma forma, toda a informação relacionada com custos é absorvida pelo módulo *IfcCostResource*. Na presente versão, IFC 2x4, a camada de recursos é constituída por vinte e dois módulos, que são: agentes, aparência, apresentação, aprovação, carga estrutural, constrangimentos, custo, data e tempo, definição, geometria, materiais, medidas, modelo geométrico, organização, perfil, propriedades, quantidades, referências externas, representação, restrições geométricas, topologia, utilidade.

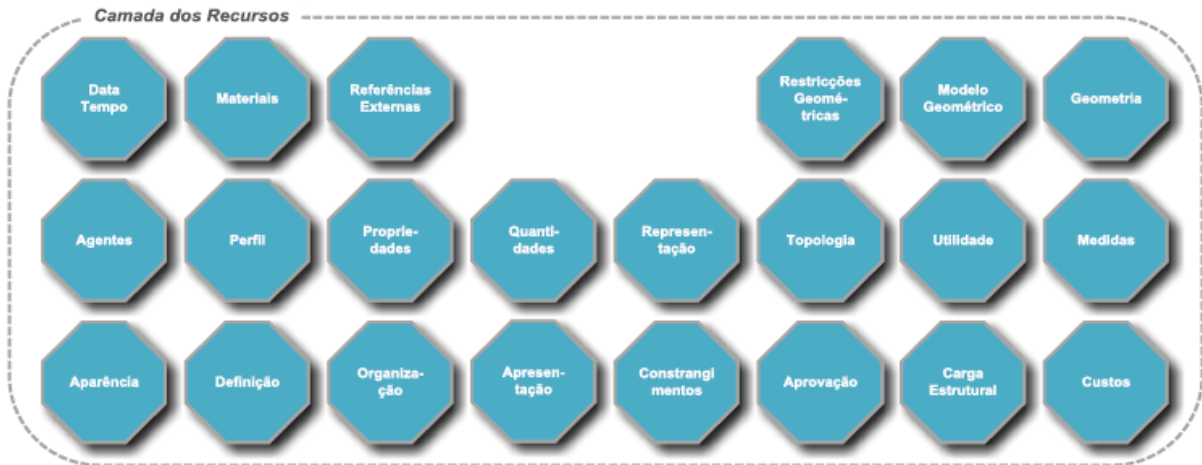


Figura 13 - Camada de Recursos do Modelo IFC 2x4. Adaptado de (Sousa et al. 2011).

O esquema de dados nucleares estabelece a camada mais geral dentro da arquitectura do modelo. As entidades definidas nesta camada podem ser referenciadas e especializadas por todas as entidades existentes na camada do elemento comum e na camada de domínio específico. A camada nuclear fornece a estrutura básica, as relações fundamentais e conceitos comuns para todas as especializações nos modelos de aspecto específico.

Todas as entidades definidas na camada do núcleo e acima derivam de um *IfcRoot*, tendo identificação, nome, descrição e informação únicas de controlo de mudanças. A organização de todas as entidades do modelo IFC como proveniências da entidade *IfcRoot* foi pensada de modo a criar uma superestrutura estável que possibilite a conciliação das novas entidades que vão sendo incluídas no modelo.

O *IfcRoot* é a classe mais abstracta e a raiz de todas as definições das entidades do IFC no Kernel ou em camadas posteriores do modelo de objecto IFC. É, portanto, o supertipo comum de todas as entidades do IFC, além dos definidos num esquema de recursos do IFC. Todas as entidades que são subtipos de *IfcRoot* podem ser usados de forma independente, enquanto as entidades de recursos do esquema, que não são subtipos de *IfcRoot*, não é suposto serem uma entidade independente. O *IfcRoot* atribui o ID único global (GUID - *Globally Unique Identifier*), e as informações de propriedade e da história da entidade. Além disso, pode fornecer um nome e uma descrição sobre o conceito. O GUID é um número inteiro de 128 bits, usado para identificar uma instância de objecto. Este número não sofre qualquer tipo de alteração mesmo convertendo os ficheiros de trabalho ou abrindo noutros *softwares*, pelo que se torna bastante útil quando se pretende procurar algo específico.

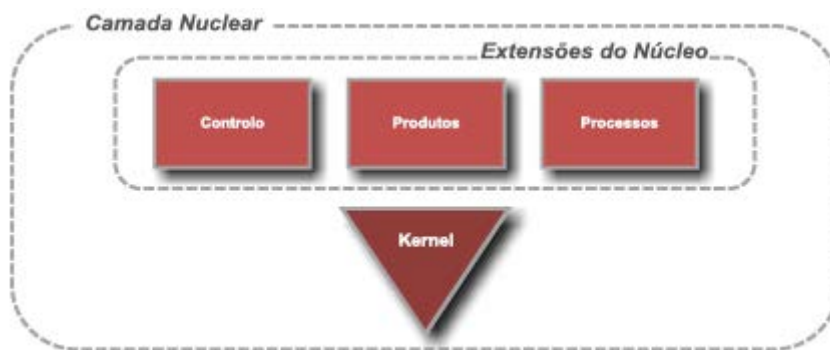


Figura 14 - Camada Nuclear do Modelo IFC 2x4. Adaptado de (Sousa et al. 2011).

Os esquemas de dados básicos são definidos em dois níveis de generalização, conforme ilustrado na Figura 14:

- a) Kernel
- b) Extensões do núcleo

O Kernel é um módulo conceptual que se encontra num grande número de modelos de dados. Usualmente, o Kernel define a ponte entre o *hardware* e o *software*, explicitando quais os recursos de *hardware* mobilizados para cada *software*. No modelo IFC, o Kernel define a parte mais abstracta da arquitectura do modelo. Neste módulo, são apreendidos os atributos conceptuais de determinado elemento, de modo a conhecer qual o significado na perspectiva de um modelo de informação, ou seja, distinguir entre objecto, propriedade ou relação. Estes três tipos de entidades fundam o primeiro nível de especialização na hierarquia do modelo IFC.

De modo a estabelecer os pontos de transição entre o módulo Kernel e o módulo de extensões, o elemento é sujeito a um segundo nível de especialização semântica pela distinção entre produto, processo, controlo ou recurso.

A extensão do núcleo fornece extensões ou especializações dos conceitos definidos no Kernel. São, portanto, a primeira camada de aperfeiçoamento para construções abstractas do Kernel. Cada extensão do núcleo é uma especialização de classes definidas no Kernel. Além dessa especialização de classes, papéis e relações primárias são também definidas dentro das extensões do núcleo.

A Camada dos elementos partilhados (Figura 15) ou camada de Interoperabilidade é o fornecimento de módulos de definição de conceitos ou objectos comuns a dois ou mais domínios ou modelos de aplicação. Contém especializações intermédias de entidades. Estas, sendo definidas nesta camada podem ser referenciadas e especializadas por todas as outras entidades na camada dos domínios. A camada de elementos partilhados fornece objectos mais especializados e relacionamentos partilhados por múltiplos domínios. A sua organização permite uma estruturação individualizada das várias especializações por domínios diferentes e simultaneamente possibilita a interoperabilidade entre os mesmos. Este factor tem bastante importância em abordagens estruturalistas de modelos de informação, uma vez que viabiliza uma arquitectura tipo “*Plug-In*”, ou seja, pode-se adicionar extensões da base de dados ao núcleo de forma contínua, de forma a actualizar o modelo.



Figura 15 - Camada dos Elementos Partilhados do Modelo IFC 2x4. Adaptado de (Sousa et al. 2011).

A versão 2x4 do IFC, como se verifica na Figura 15, possui cinco módulos de elementos partilhados:

- a) Serviços em edifícios;
- b) Componentes;
- c) Elementos de edifícios;
- d) Elementos de gestão;
- e) Elementos de mobiliário e equipamentos.

A interoperabilidade entra nesta camada como uma segunda função conceptual. Esta, não aparece directamente sob a forma de um módulo, mas sim como um resultado da própria organização da arquitectura do modelo IFC. O objectivo deste adaptador de interoperabilidade é o de estabelecer uma

forma de aceder a vários módulos dos domínios, inclusive modelos fora da IAI. Estes adaptadores facilitam aspectos tais como:

- a) Introdução directa de módulos de especialidades;
- b) Ligação de módulos de especialidades não harmonizados e não produzidos pela IAI;
- c) Ligação entre módulos de especialidades.

O primeiro ponto possibilita a inclusão das classes de especialidades ao núcleo, sendo intermediadas pelas classes de interoperabilidade da camada. O segundo ponto permite a ligação de módulos conforme um adaptador que proporciona um fio condutor do mecanismo até ao núcleo. Cada empresa responsável pela concepção de programas faz a interface do operador à sua responsabilidade, sendo esta integrada na respectiva camada do modelo IFC. O terceiro ponto proporciona que a ligação seja efectuada conforme um mecanismo de interoperabilidade entre domínios de aplicação.

Os adaptadores baseiam-se nas configurações das extensões do núcleo e a sua acção origina melhorias contínuas ao modelo IFC. Tais melhorias resultam da adição de novas ideias comuns a todos os domínios de aplicação.

A camada dos domínios (Figura 16) contém especializações finais das entidades e organiza-as de acordo com as exigências definidas para os modelos de informação da construção. As entidades definidas nesta camada são auto-suficientes e não podem ser referenciadas por qualquer outra camada. Estas são organizadas por módulos e obedecem à divisão de especialidades instituídas na indústria da construção.

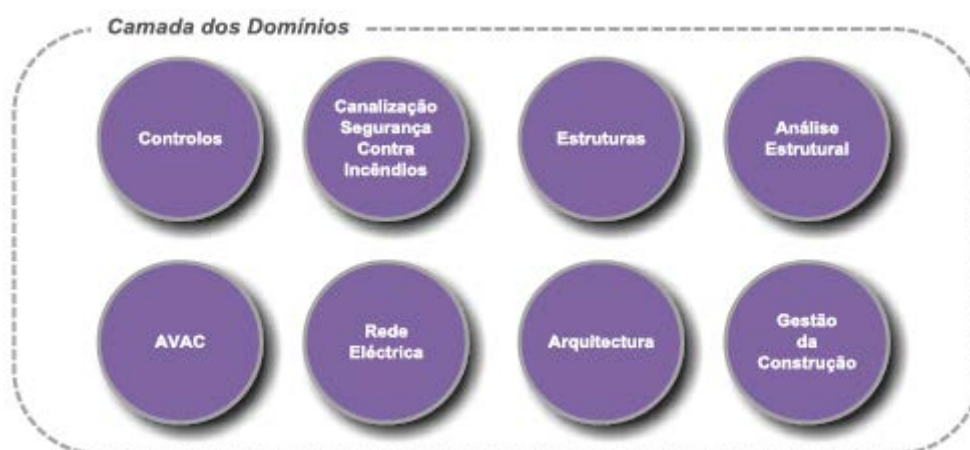


Figura 16 - Camada dos Domínios do Modelo IFC 2x4. Adaptado de (Sousa et al. 2011).

Os diferentes módulos que constituem a camada dos domínios na versão IFC 2x4 são oito:

- a) Arquitectura
- b) Estruturas
- c) Análise Estrutural
- d) AVAC
- e) Canalização e Segurança Contra Incêndios
- f) Controlos
- g) Gestão da Construção
- h) Rede Eléctrica

Após uma breve abordagem sobre a arquitectura do modelo, através da (IAI 2011), verifica-se que o modelo proposto se pode incluir na última camada, Camada dos Domínios, do modelo existente. Para

tal, torna-se imprescindível versar sobre os módulos Estruturas, Análise Estrutural e Controlos do Edifício presentes nesta camada.

O módulo Estruturas é tratado como Domínio de Elementos Estruturais do IFC (*IFCStructuralElementsDomain*). Este fornece a capacidade de representar diferentes tipos de elementos de construção e elementos do edifício, que em geral são de natureza estrutural. Além dos elementos de construção geralmente utilizados e já definidos no esquema *IfcSharedBuildingElements* (*IfcWall*, *IfcColumn*, *IfcBeam*, *IfcSlab*, *IfcRoof*, *IfcDoor*, *IfcWindow*, *IfcStair*), o esquema contém entidades para representar partes de fundações, tais como sapatas e estacas, bem como algumas subpartes estruturais importantes incluídas nos elementos de construção, tais como peças de reforço explícito e recursos produzidos manualmente. O esquema também inclui uma classe (*IfcReinforcementDefinitionProperties*) para definir os requisitos de reforço. Este módulo foi introduzido na versão IFC 2x2.

O módulo Análise Estrutural é exposto como Domínio de Análise Estrutural do IFC (*IfcStructuralAnalysisDomain*) e tem como objectivo a sua integração no domínio da engenharia estrutural. Este módulo reutiliza os elementos construtivos existentes e os elementos estruturais espaciais e associa-os aos pressupostos estruturais. O alvo da análise estrutural é o de garantir que as informações são captadas e tornadas visíveis para os outros domínios conexos. Estão inseridos no módulo os seguintes intentos:

- a) Define modelos de análise estrutural em plano e/ou três dimensões que podem ser utilizados por aplicações de análise estrutural. Incluem-se aqui:
 - a. Elementos em linhas rectas ou curvas, superfícies estruturais planas ou curvas;
 - b. Pontos, curvas e uniões de superfícies;
 - c. Especificação das cargas, incluindo pontos, curvas, cargas de superfície, cargas de temperatura, casos de carga e combinações de carga;
 - d. Especificação de diferentes modelos de análise estrutural, a fim de descrever os aspectos diferentes ou partes do edifício. Além disso, as dependências entre estes modelos podem ser armazenados no modelo, para posterior utilização;
 - e. Os resultados da análise definidos por forças e deslocamentos.

Não estão inseridos no módulo os seguintes desígnios:

- a) Análise Dinâmica;
- b) Descrição de cargas de pré-esforço;
- c) Topologia dos elementos finitos;
- d) Resultados detalhados em malhas de elementos finitos, bem como as tensões e deformações em elementos estruturais.

Este módulo foi igualmente introduzido na versão IFC 2x2.

O módulo correspondente ao Controlo do Edifício é tratado como Domínio de Controlo do Edifício (*IfcBuildingControlsDomain*). Define os conceitos de automatização predial, controlo, instrumentação e alarme.

O esquema *IfcBuildingControlsDomain* apoia as ideias, incluindo tipos e ocorrências:

- a) Actuador;
- b) Alarme;
- c) Controlador;
- d) Sensor;

- e) Instrumento de fluxo;
- f) Elemento de controlo unitário.

O *IfcBuildingControlsDomain* captura informações do projecto, enquanto o estado do dispositivo em tempo real é capturado no *IfcPerformanceHistory*, para os quais os elementos de controlo podem ser atribuídos. Vários conjuntos de propriedades padrão são definidos para o histórico de desempenho de forma a capturar dados de controlo directo.

Os elementos de controlo são identificados nos sistemas de controlo utilizando *IfcRelAssociatesClassification* para indicar endereços de portais (Web) e endereços dos dispositivos e dos pontos de dados.

Para apoiar as fases do ciclo de vida, o controlo de dados em tempo real (*IfcPerformanceHistory*) e dados de projecto (subtipos *IfcDistributionElement*) são separados de tal forma que cada um pode ser usado de forma independente, sem a existência do outro. Porém, ambos podem estar relacionados através do *IfcRelAssignsToControl*. Se o dispositivo de envio é conhecido no momento da concepção, onde a classificação é aplicada às entidades de ocorrência, então, ao conectar-se a um sistema de controlo de ocorrências de elementos de controlo podem ser atribuídos em tempo real dados do dispositivo (*IfcPerformanceHistory*) automaticamente de acordo com a classificação correspondente.

Para ligar os elementos de controlo aos elementos do fluxo físico medido ou controlado, é usada a relação *IfcRelFlowControls*. Os dados de desempenho para entidades *IfcDistributionFlowElement* podem ser obtidos por atravessar tais relações.

O esquema *IfcBuildingControlsDomain* não especifica a construção de protocolos de automatização, mas pode ser mapeado para protocolos padrão ou implementações de fornecedores para operações de interoperabilidade. As entidades comuns aplicáveis são descritas como se segue:

- a) *IfcPerformanceHistory*: Captura de dados em tempo real do dispositivo sob a forma de conjuntos de propriedades;
- b) *IfcPropertySet*: Captura de um conjunto de dados do dispositivo em tempo real, utilizando estruturas de dados predefinidos ou informação personalizada;
- c) *IfcPropertySetTemplate*: Captura de metadados sobre propriedades personalizadas, tais como nomes, descrições, tipos de dados, unidades e escalas;
- d) *IfcRelAssociatesClassification*: Associação de endereços dos dispositivos e pontos de controlo para identificar dentro de um sistema de controlo;
- e) *IfcController*: Captura de informações de não-ocorrência em tempo real de *hardware* ou *software* com base analógica arbitrária e dados digitais;
- f) *IfcAlarm*: Captura informações de não-ocorrência em tempo real de *hardware* ou fontes de alarmes baseados em *software*;
- g) *IfcEvent*: Identifica o evento crítico e fornece informações sobre o mesmo;
- h) *IfcProcedure*: Captura de dispositivos de procedimentos que podem ser executados de forma arbitrária ou em resposta a eventos;
- i) *IfcTask*: Programas de dispositivo de captura que podem ser agendados em vários momentos.

Dentro deste último módulo encontram-se os sensores. Um sensor é um dispositivo que mede uma quantidade física e a converte num sinal que pode ser lido por um observador ou um instrumento. No modelo IFC temos as classes referentes ao *IfcSensor* e ao *IfcSensorType*. A classe do *IfcSensor* define as propriedades de um sensor que é utilizado para a detecção de um sistema de controlo, como um sistema de controlo de automatização de um edifício, bem como a ocorrência de qualquer sensor. A informação comum sobre os tipos de sensores é tratada pelo *IfcSensorType*. Este pode identificar o

nome comum do tipo, portas, utilização, propriedades, materiais, composição, atribuições e representações.

A distribuição do tipo de elemento de controlo *IfcSensorType* define normalmente a informação partilhada por ocorrências nos sensores. O conjunto de informações partilhadas pode incluir:

- Propriedades comuns com *property sets* partilhadas;
- Materiais comuns;
- Portas comuns;
- Composição de elementos comuns;
- Atribuição comum dos tipos de processo;
- Representações comuns de forma e estilo.

O *IfcSensorType* é usado para definir uma especificação do sensor (ou seja, a informação específica do produto, que é comum a todas as ocorrências desse tipo de produto). O esquema que traduz o princípio de funcionamento entre os Sensores e os *SensorType* é o seguinte:

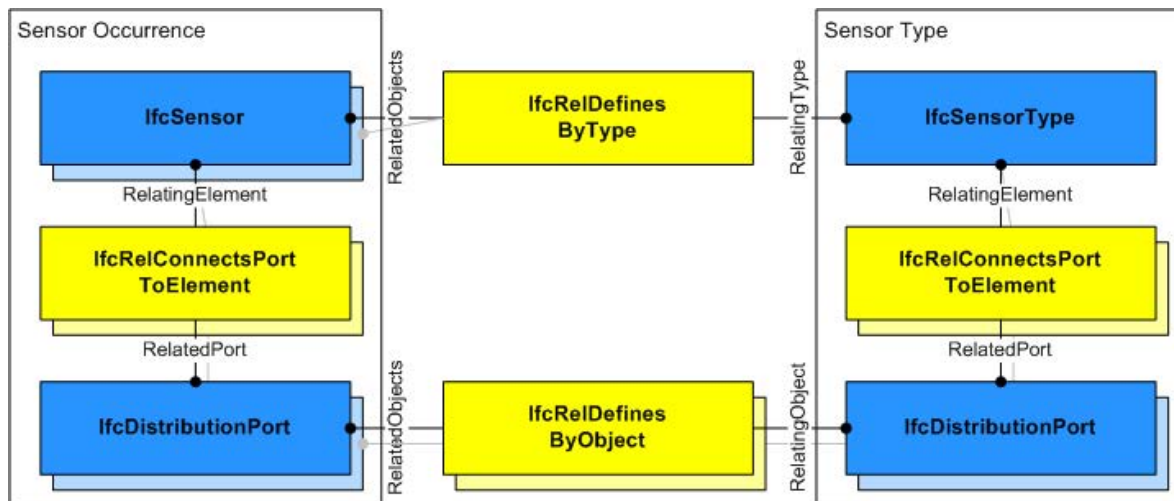


Figura 17 - Esquema que traduz o princípio de funcionamento entre os Sensores e os *SensorType* no IFC 2x4 (IAI 2011).

No esquema acima, o *IfcRelDefinesByType* define a relação entre um objecto e a ocorrência registada por esse objecto. O *IfcRelDefinesByObject* define a relação entre dois objectos. Isto significa que o sensor regista a ocorrência e a transmite para a base de registos que é definida pelo *IfcSensorType*. Esta transmissão é efectuada pelo *IfcRelDefinesByType*. Se o sensor fizesse a transmissão para um sistema de aquisição e daí para um sistema de armazenamento de dados dentro do *IfcSensorType*, essa transmissão seria efectuada pelo *IfcRelDefinesByObject*.

Há ainda a existência do *IfcSensorTypeEnum*. Este define a gama de diferentes tipos de sensores que podem ser especificados. Uma enumeração refere-se a uma listagem de objectos, um a um, de forma finita. Apresenta-se então o Quadro 1 com a enumeração dos diferentes sensores existentes.

Quadro 1 - Lista de sensores existentes no modelo IFC 2x3, (IAI 2011).

Designação no IFC	Nome do Sensor em Português	Descrição
CONDUCTANCESENSOR	Sensor de Condutância	Dispositivo que sente, ou detecta condutância eléctrica.
CONTACTSENSOR	Sensor de Contacto	Dispositivo que sente ou detecta contacto, como para detectar se a porta está fechada.
FIRESENSOR	Sensor de Fogo	Dispositivo que sente ou detecta fogo.
FLOWSENSOR	Sensor de Fluxo	Dispositivo que sente ou detecta um fluxo num líquido.
GASENSOR	Sensor de Gás	Dispositivo que sente ou detecta concentrações de gás.
HEATSENSOR	Sensor de Calor	Dispositivo que sente ou detecta calor.
IONCONCENTRATION SENSOR	Sensor de Iões	Dispositivo que sente ou detecta concentração de iões, tais como para a dureza da água.
LEVELSENSOR	Sensor de nível	Dispositivo que sente ou detecta o nível de enchimento, como para um tanque.
HUMIDITYSENSOR	Sensor de Humidade Ambiental	Dispositivo que sente ou detecta humidade.
LIGHTSENSOR	Sensor de Luz	Dispositivo que sente ou detecta luz.
MOISTURESENSOR	Sensor de Humidade	Dispositivo que sente ou detecta humidade.
MOVEMENTSENSOR	Sensor de Movimento	Dispositivo que sente ou detecta movimento.
PHSENSOR	Sensor de PH	Dispositivo que sente ou detecta acidez.
PRESSURESENSOR	Sensor de Pressão	Dispositivo que sente ou detecta pressão.
RADIATIONSENSOR	Sensor de Radiação	Dispositivo que sente ou detecta radiação electromagnética.
RADIOACTIVITYSENSOR	Sensor de Radioactividade	Dispositivo que sente ou detecta radioactividade.
SMOKESENSOR	Sensor de Fumo	Dispositivo que sente ou detecta fumo.
SOUNDSSENSOR	Sensor de Som	Dispositivo que sente ou detecta som.
TEMPERATURESENSOR	Sensor de Temperatura	Dispositivo que sente ou detecta temperatura.
WINDSENSOR	Sensor de Vento	Dispositivo que sente ou detecta a velocidade e direcção do fluxo de ar.
USERDEFINED	Definido pelo utilizador	
NOTDEFINED	Não definido	

O modelo tem noção que a lista de sensores não é exaustiva e coloca as opções para o utilizador poder definir sensores que não estejam nela contidos. Analisando o quadro apresentado, verifica-se que todos os sensores existentes no modelo são de carácter ambiental, não existindo por isso sensores cinemáticos no modelo em causa.

Fazendo uma análise mais profunda aos sensores apresenta-se no Anexo I a enumeração das características que cada um apresenta. Não se procedeu à tradução completa dos elementos constantes no quadro, uma vez que se trata de linguagem muito técnica. As características de leitura apresentadas correspondem ao nome das propriedades correspondentes às *Property Sets*.

Um *Property Set* define-se como sendo um depósito de propriedades convenientemente discriminadas pelo nome, e organizadas segundo uma estrutura ramificada do tipo árvore. A relevância dos *Property Sets* em modelos completos é salientada pela necessidade de ampliar o modelo, de adicionar informação, sem introduzir mudanças estruturais. Na construção existe um número muito elevado de diferentes componentes, não seria exequível a criação de uma nova classe sempre que fosse necessário definir as propriedades de um novo grupo, sob a pena de tornar o modelo demasiado pesado e por isso difícil de implementar e suportar (Wix 2010).

A Figura 18, apresentada de seguida, ilustra o princípio de funcionamento da *Property Set* dentro do modelo IFC de modo bastante simples e intuitivo. Pretende-se mostrar como o aumento do grau de especialização, é acompanhado por uma mudança em quem introduz os *inputs*.

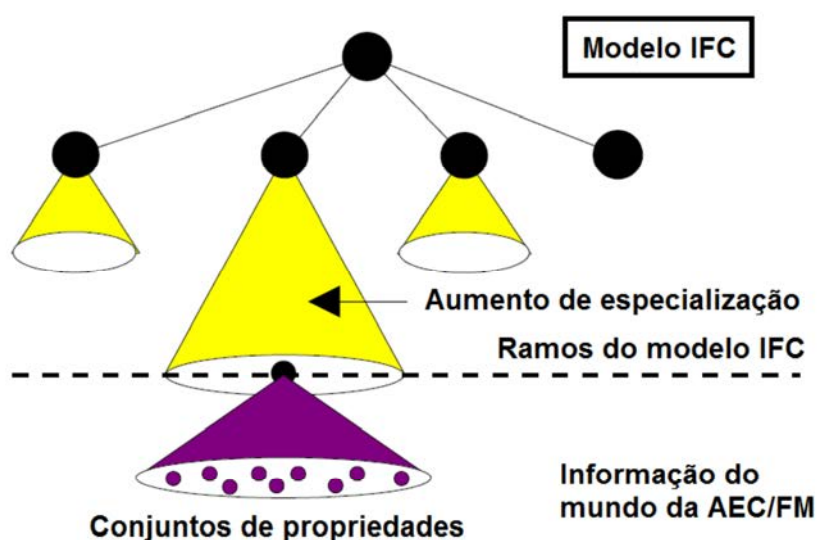


Figura 18 - Princípio de funcionamento da *Property Set* dentro do Modelo IFC. Adoptado de (Wix 2010).

No modelo IFC há dois conceitos fundamentais de definição de propriedades:

- IfcTypeObject*: que define as informações específicas sobre um tipo e proporciona meios de agrupamento de *Property Sets* que comumente trabalham juntos.
- IfcPropertySetDefinition*: que define *Property Sets* partilháveis e ampliáveis, que são anexadas a ocorrências de um objecto e o caracterizam, sendo que estes conjuntos são considerados como um tipo parcial de informação na medida em que eles estabelecem um subconjunto de informações de propriedades compartilhadas entre ocorrências de objectos. É uma generalização de todas as ocorrências e modelos para *Property Sets* que são atribuídas em conjunto para um objecto ou tipo de objecto.

A classe *IfcPropertyDefinition* expressa o conceito de um conjunto de propriedades que podem actuar ao mesmo tempo para caracterizar um objecto. O conjunto de propriedades que proporciona a caracterização pode ser declarado externo ao modelo IFC através da classe *IfcPropertySet* ou dentro do modelo.

Os elementos fisicamente tangíveis como paredes, coberturas, vigas, elementos fisicamente existentes como espaços, ou mesmo elementos conceituais como malhas ou limites “imaginários”, são considerados objectos para o IFC. A classe IFC que abrange estes elementos é a *IfcObject*. Trata-se de uma classe supertipo abstracta (*abstract supertype*), o que significa que ela só pode ser referenciada através dos seus subtipos. A *IfcObject* também cobre as definições de processos, como as metas de trabalho, controlos, como os itens de custos, recursos, como mão-de-obra, agentes, como as pessoas envolvidas no processo de projecto ou de construção, etc.

A classe *IfcProduct* captura o conceito de produto. Possui atributos de representação e localização dentro da estrutura do projecto. Qualquer objecto, ou qualquer auxílio para definir, organizar e anotar um objecto, que se relaciona com um contexto espacial ou geométrico é definido pelo *IfcProduct*.

Estes dois conceitos podem ser relacionados pelo *IfcRelAssignsToProduct*. Este é uma relação objectivada que controla a atribuição de objectos (subtipos de *IfcObject*) para um produto (subtipos de *IfcProduct*). Este conceito pode permitir que um sensor possa ser associado a um determinado elemento.

Estes aspectos permitem perceber as dinâmicas de utilização do modelo IFC, que permite e estimula os utilizadores a colaborarem no seu desenvolvimento, sendo as *Property Sets* uma porta para tal processo.

3.2. DEFINIÇÃO DO MODELO

De modo a se definir um modelo consistente e robusto é de todo o interesse que este seja baseado na análise do vazio que existe entre conceitos que precisam ser incorporados e os conceitos que já formam parte do modelo. Há três cenários possíveis que podem ser observados na análise dos vazios:

- Conceitos que existem no Modelo IFC;
- Conceitos que ampliam o Modelo IFC;
- Novos conceitos.

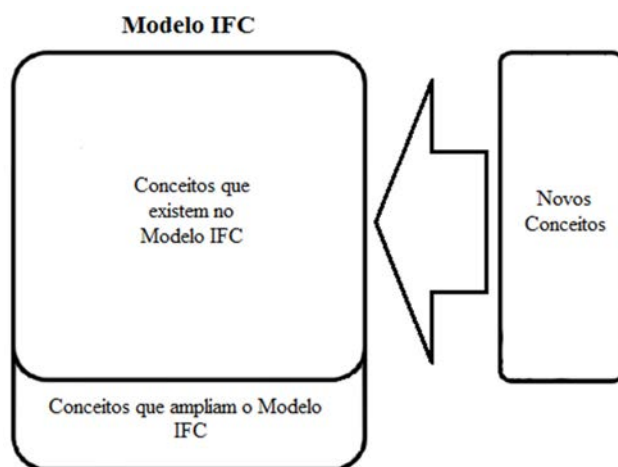


Figura 19 - Esquema de Análise para Extensão do Modelo IFC.

O primeiro cenário significa que as classes requeridas pelo desenvolvimento do modelo ampliado já existem no Modelo IFC, e os atributos dessas classes, capturam inteiramente os requisitos de informações determinados pela extensão. No segundo cenário, as classes solicitadas pelo desenvolvimento do modelo ampliado já existem no Modelo IFC, mas necessitam de uma ampliação para capturar na totalidade os requisitos adicionais de informações. Para o terceiro caso, o progresso do modelo ampliado especifica requisitos de informações que não são apreendidos por classes na camada de interoperabilidade ou na camada de domínio dentro do Modelo IFC.

Uma ampliação do modelo existente, actualmente, atenta nos seguintes aspectos:

- a) Conceitos dentro do modelo existente que preenchem total ou parcialmente as condições da matéria em estudo, e servem ao modelo ampliado;
- b) Conceitos da matéria em estudo que não são servidas pelo modelo IFC existente.

O subcapítulo 3.1., permite ter uma noção do que é abrangido pelo modelo actual, dentro do plano de estudo em causa. Este é um passo de elevada importância, pois permite descobrir as ideias que não são cobertas e trazem relevância e interesse.

Após essa análise, passa-se ao modelo proposto, bem como a sua integração no modelo actual. O modelo propõe a introdução de sensores cinemáticos à base de dados do actual modelo. Estes podem ser acrescentados à categoria *IfcSensorType*, uma vez que é esta que define um determinado tipo de sensor que é utilizado para a detecção de um sistema de controlo, como um sistema de controlo de automatização. Os sensores cinemáticos em questão são os referenciados no capítulo 2.2.1. da presente dissertação. Estes seriam depois acrescentados à lista de sensores existente em *IfcSensorTypeEnum*. O *IfcSensorTypeEnum* define a gama de diferentes tipos de sensores que podem ser especificados.

Para a adição de sensores torna-se necessário definir as suas características de medição em concordância com o modelo actualmente em vigor. Para tal são criadas *PropertySets* específicas para cada sensor de acordo com os seus parâmetros de medição. Este processo pode ser feito com a ajuda de um quadro que se apresenta de seguida a título de exemplo.

Quadro 2 - Definição da *PropertySet*.

Nome da <i>PropertySet</i>	<i>Pset_SensorType...Sensor</i>
Entidades Aplicáveis	<i>IfcSensorType</i>
Tipo de Valor Aplicável	<i>IfcSensorType/...SENSOR</i>
Definição	Definição:...

Quadro 3 - Definições das Propriedades.

Nome	Tipo de Propriedade	Data Type	Definição
CoverageArea	IfcPropertySingleValue	IfcAreaMeasure / AREAUNIT	A área que é coberta pelo sensor (normalmente medido como um círculo cujo centro está na localização do sensor).
SetPointTemperature	IfcPropertyBoundedValue	IfcThermodynamicTemperatureMeasure/ THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT LowerBound: ? UpperBound: ?	O valor da temperatura a ser medido. Usa <i>IfcPropertyBoundedValue.SetPointValue</i> para definir o valor do <i>set point</i> .

As reticências existentes no quadro da definição da *Property Set* devem-se ao facto de naqueles lugares ter que ser introduzida informação específica referente ao sensor pretendido.

Deve haver pelo menos uma propriedade no conjunto, mas ele pode conter tantas propriedades quantas sejam necessárias.

Uma propriedade pode ser:

- Um valor único, com ou sem unidade, de nome *IfcPropertySingleValue*. É uma propriedade singular que detém um par nome-valor ou uma tripla nome-valor-unidade, sendo a unidade opcional;
- Uma enumeração de valores, com ou sem unidade, de nome *IfcPropertyEnumeratedValue*. Permite a selecção de uma propriedade numa lista predefinida de selecções. O valor actual é guardado pelo atributo *Enumeration value* e é seleccionado de uma lista que é definida dentro de um objecto *IfcPropertyEnumeration*;
- Um valor limite, com ou sem unidade, de nome *IfcPropertyBoundedValue*. O valor limite é dado pelo limite inferior e superior do intervalo de valores;
- Uma tabela de valores, com ou sem unidade, de nome *IfcPropertyTableValue*. É uma propriedade com um valor de intervalo que define um objecto de propriedade, com duas listas (numérica ou descritiva) com valores atribuídos, especificando os valores de uma tabela com duas colunas. As interpolações estão fora do âmbito do *IfcPropertyTableValue*;
- Uma referência a um objecto, de nome *IfcPropertyReferenceValue*. O *IfcPropertyReferenceValue* permite que seja dado um valor à propriedade a ser referenciada por outras entidades, no âmbito das definições de recursos do IFC. Essas entidades são consideradas como pré propriedades complexas e podem ser agregados num conjunto de propriedades (*IfcPropertySet*);
- Uma propriedade complexa, de nome *IfcComplexProperty*. É usado para definir propriedades complexas a serem tratadas dentro de um conjunto de propriedades;
- Uma lista de valores, com ou sem unidade, de nome *IfcPropertyListValue*. A lista de valores apresenta-os segundo uma ordem que é significativa.

As propriedades criadas vão receber e armazenar os dados referentes às leituras dos sensores. É de vital importância que sejam organizadas e permitam uma interpretação dos dados quer pelos utilizadores, quer num processo mais avançado pelos programas de automatização que sejam criados para o efeito.

Cada referência do *IfcProperty* deve ter um nome pelo qual é identificada. Devido ao dinamismo do modelo IFC, o dicionário de propriedades deve ser definido progressivamente de modo a evitar coincidências de nomes que possam trazer confusão ao modelo.

Como os dados provenientes dos sensores são relativos a várias campanhas e cada campanha tem um número elevado de medições, pode ser definido um marcador dentro das propriedades dos sensores, que seja compatível com os dados e não suscite confusão. Como se trata de propriedades definidas por números reais, o marcador tem que ser um número real, por exemplo negativo. Este factor implica que haja muitos cuidados no preenchimento e interpretação dos dados, uma vez que se por qualquer motivo houver um engano e se introduzir um número negativo, o modelo assume automaticamente que se trata de outra campanha. Entende-se por campanha um conjunto de medições, elaborados num intervalo de tempo pré-definido, ou seja, por exemplo, num minuto temos trinta medições do mesmo parâmetro, de forma a fazer rastreio de possíveis erros de medição. Este marcador não é, no entanto, imprescindível, já que a cada valor medido está associado uma data e hora. Através desta data e hora é possível a visualização das medições efectuadas em diferentes períodos.

Outra hipótese para a introdução de várias campanhas de leitura nos dados dos sensores seria a criação de um número finito de propriedades, gerando, no entanto, inconvenientes. O limite que se estaria a impor, não permitiria que houvesse uma monitorização ao longo do ciclo de vida da estrutura. Mesmo sendo um número demasiado grande acabaria sempre por estar limitado e atingindo esse número não poderia continuar a haver introdução de dados. E mesmo esse número sendo infinitamente grande, estaria a desperdiçar muito espaço no modelo de informação, ou seja, estaria sempre um vazio muito grande no modelo.

Uma outra hipótese seria ainda a introdução de uma base de dados de apoio ao modelo IFC. O sistema tem limites que podem ser sempre acompanhados por um sistema de dados complementar. Os dados provenientes do sensor seriam armazenados numa base de dados de formato SQL, que serviria de apoio ao modelo proposto. Esta base de dados, contactaria com o modelo IFC através do GUID, por exemplo. Esta possibilidade permitiria uma gestão de dados bastante eficiente e sem pesar no modelo de informação.

Para a medição da data e hora há na versão IFC 2x4 a propriedade *IfcDateTime*. Esta refere-se à ISO 8601 que é uma norma internacional para representação de data e hora emitida pela Organização Internacional para Padronização (International Organization for Standardization, ISO). Esta norma define especificamente: “*Elementos de dados e formatos de intercâmbio para representação e manipulação de datas e horas*”. O formato de representação é CCYY-MM-DDThh:mm:ss, onde "CC" representa o século, "AA" o ano, "MM" o mês e "DD" o dia, precedidos por um sinal principal opcional "-" para indicar um número negativo. Se o sinal é omissivo, "+" é assumido. A letra "T" é o separador data / hora e "hh", "mm", "ss" representam a hora, minuto e segundo, respectivamente. Podem ser usados dígitos adicionais para aumentar a precisão de fracções de segundo, se se desejar, ou seja, o formato ss.ss... com qualquer número de dígitos depois da vírgula é suportado.

Uma solução alternativa seria a introdução de uma propriedade para cada valor da data e hora na *Property Set*. Estas propriedades seriam as seguintes:

- a) *IfcYearNumber*;

- b) *IfcMonthInYearNumber*;
- c) *IfcDayInMonthNumber*;
- d) *IfcHourInDay*;
- e) *IfcMinuteInHour*;
- f) *IfcSecondInMinute*.

Estas propriedades são definidas por números inteiros, sendo o ano definido pelo calendário, o mês num número entre um e doze, o dia num número entre um e trinta e um, a hora num número entre zero e vinte e quatro, os minutos e os segundos num número entre zero e sessenta. Elas não estão preparadas para funcionar como lista, mas sim como valores únicos, no entanto, há a possibilidade de as fazer funcionar como lista. Tem como inconveniente a informação nelas contida não ser lida nos *softwares* sem ser o Bloco de Notas, perdendo assim interesse no âmbito do trabalho.

De forma a existir uma relação entre cada sensor e o elemento que o contém, em vez do *IfcRelAssignsToProduct*, abordado anteriormente pode ser colocada uma propriedade *IfcLabel*. Esta pode conter qualquer tipo de texto escrito e é lida e transportada entre *softwares*, permitindo levar a informação relativa ao elemento estrutural a que o sensor se refere. Fazendo uma *IfcLabel* em forma de lista é também possível acrescentar a data e hora das medições dos sensores, resolvendo assim o problema da interoperabilidade ocorrida na situação anterior.

Durante a modelação tridimensional, é necessário haver o cuidado de não se copiar elementos, porque os seus nomes aparecem duplicados e não se distinguem tão facilmente no ficheiro IFC. A sua distinção é somente efectuada com o GUID, dificultando a compreensão do ficheiro. É também necessário haver o cuidado de se fazer vigas de pilar a pilar e não vigas completas de um extremo do edifício ao outro, uma vez que traz problemas de interpretação em *softwares* como o Autodesk Robot. Estes e outros cuidados são essenciais, uma vez que se pode considerar a existência de dois tipos de interoperabilidade. Temos a interoperabilidade entre programas e a interoperabilidade conceptual do modelo. É indispensável elaborar um modelo capaz de ser bem interpretado e com o mínimo de erros possíveis. Neste sentido, é importante que cada elemento seja atribuído ao modelo IFC, ou seja, a cobertura pode ser realizada como uma laje, no entanto, se não for definida como cobertura no modelo IFC, ao ser convertido e transportado irá sair como laje. Este tipo de pormenores pode fazer a diferença na organização e gestão de dados, bem como no entendimento do projecto pelos diversos participantes.

3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo tem como objectivo a apresentação do modelo proposto, integrando-o no modelo IFC existente até à data da realização do presente trabalho.

O modelo proposto pretende que sejam adicionadas informações relativas aos sensores cinemáticos mais utilizados na monitorização estrutural ao modelo IFC, de forma a ser possível uma monitorização contínua com armazenamento de informação daí proveniente.

A informação relativa aos sensores cinemáticos inclui a lista de sensores mencionada no capítulo 2.2. bem como as suas características particulares, tais como as grandezas medidas. De forma a haver uma boa gestão de informação é necessário adicionar propriedades a cada sensor de acordo com as grandezas a medir, bem como grandezas temporais como datas e horas das medições. É ainda de elevado interesse a colocação da relação do sensor com o elemento sujeito às medições, uma vez que acedendo aos dados do sensor se pode visualizar qual o elemento em estudo.

A anexação de informações no modelo pode trazer problemas entre os vários intervenientes, uma vez que a construção é uma área bastante litigiosa. Seria de todo o interesse manter os dados correspondentes à monitorização estrutural confidenciais, já que pode haver algum valor fora do normal por um qualquer motivo, como sendo a passagem de um camião, e alguém com menos experiência, ao verificar tal factor, pode ficar alarmado sem necessidade e pôr em causa o trabalho de quem interpreta os dados.

4

CASO DE ESTUDO

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No seguimento do trabalho fez-se uma aplicação a um estudo de caso prático sobre um projecto onde os BIM têm um papel significativo em consonância com o modelo IFC 2x3, que à data de conclusão deste documento é a mais recente versão deste modelo a merecer a aprovação da IAI, sendo por isso a versão utilizada nos programas disponíveis.

Esta aplicação prática pretende testar a aplicabilidade do modelo proposto, recorrendo às noções teóricas sobre os BIM, obtidas durante o desenvolvimento do trabalho, assimilando-as ao conhecimento prático. Procura-se obter resultados que conduzam a conclusões importantes de forma a poderem ser utilizadas no desenvolvimento e implementação futura deste tipo de tecnologia.

É, assim, objectivo da presente dissertação abordar este estudo de caso, de modo a introduzir o tema da monitorização e instrumentação de obras num modelo tridimensional elaborado num *software* BIM, onde as adversidades e os problemas levantados diferem substancialmente dos apresentados aquando da elaboração teórica do problema proposto.

Para se efectuar tal análise recorre-se a aplicações estruturais, aplicações de arquitectura gráfica e a leitores de modelos em IFC.

As aplicações de análise estrutural podem ser divididas nas seguintes categorias:

- a) Aplicações de Análise e Projecto (Aço, Betão armado, madeira, etc.) – estas aplicações contêm e documentam cálculos estáticos baseados em várias técnicas, como por exemplo o método dos elementos finitos;
- b) Preparação/Gestão estrutural – estes contêm tarefas preparatórias e garantem a conexão entre as aplicações de análise e o arquitecto;
- c) Pormenorizações – aqui criam-se pormenores construtivos da estrutura para facilitar a comunicação com os construtores.

Este processo, bem como a sua integração nos BIM, pode ser visualizado no seguinte esquema:

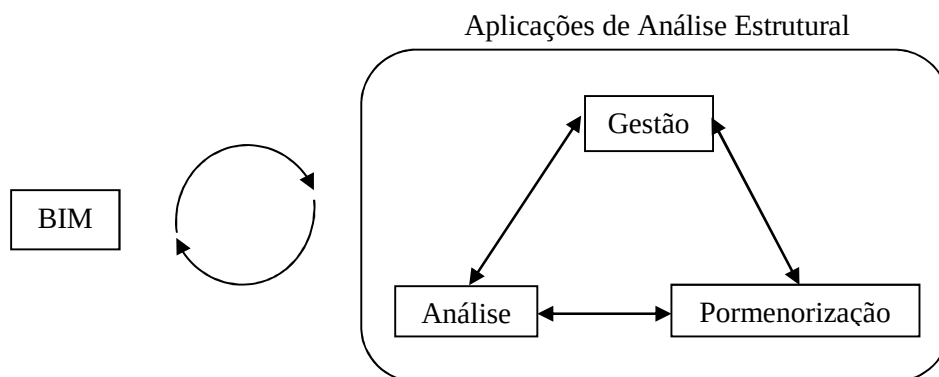


Figura 20 - Integração das Aplicações de Análise Estrutural com os BIM.

4.2. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Para a elaboração do caso de estudo, desenvolveram-se dois modelos distintos, com diferentes graus de extensão, para propósitos diferentes. O primeiro é relativo ao projecto de uma moradia proposto pelo autor, para demonstrar a metodologia utilizada bem como prevenir certo tipo de erros para a elaboração do segundo caso. O segundo é sobre o edifício do INEGI, com dados reais obtidos através da monitorização estrutural e tem como finalidade a verificação da viabilidade do modelo proposto.

No enquadramento referido, para além das presentes considerações iniciais neste documento incluem-se mais quatro fases de avaliação do problema inicial. Numa fase inicial, optou-se por um estudo do *Software* ArchiCAD e as suas capacidades gráficas e de tradução para o modelo IFC 2x3. Este passo tem uma importância elevada, uma vez que permite a elaboração do desenho tridimensional que se torna na base do trabalho prático, de forma a aferir a capacidade de integração do sistema de instrumentação no projecto em causa. Numa segunda fase, isolou-se o modelo estrutural para o transferir para um *software* de análise estrutural através do modelo IFC 2x3. Desta forma é possível a percepção das capacidades do modelo de conversão da informação e detectar possíveis falhas. Numa terceira fase retirou-se a informação dos elementos estruturais existentes no IFC. Este passo permite averiguar a forma como se poderá introduzir a informação relativa aos sensores. Por último avaliou-se a possibilidade de se acrescentar elementos novos. Aqui está a hipótese para a implementação do modelo proposto e tirarem-se as considerações finais.

Este processo pode ser explicado através de um diagrama representado na Figura 21. Começa por se fazer o projecto de arquitectura, estruturas e instrumentação no ArchiCAD. Através do IFC passa-se o projecto para o Solibri, onde se faz a leitura de valores dos sensores. Aqui pode ser detectada alguma leitura anómala e que exija acção por parte do Engenheiro de Estruturas. Passa-se então para a análise estrutural num *software* como o Robot. Aqui procede-se à análise e alteração estrutural, como por exemplo um reforço de uma viga. Após esta acção volta-se ao ArchiCAD para se proceder à regularização da estrutura e repete-se o processo de forma cíclica.

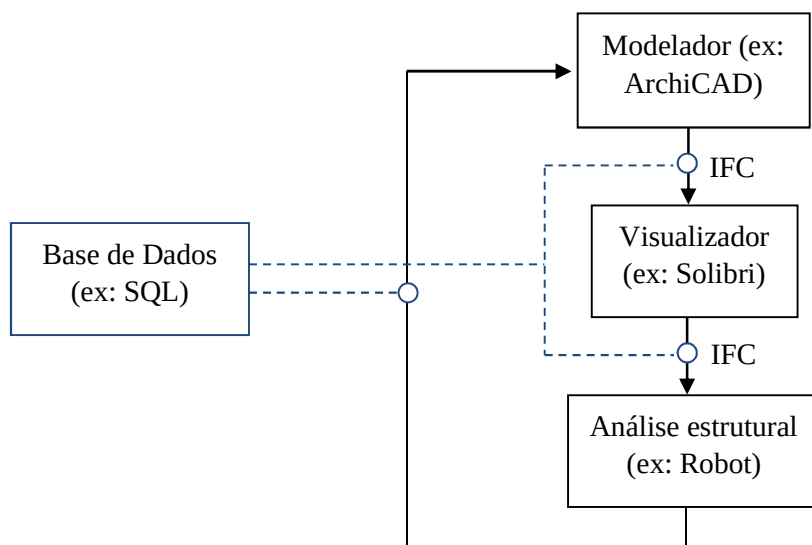


Figura 21 - Representação do ciclo utilizado na abordagem proposta.

É de notar que no esquema da Figura 21 aparece um elemento novo, a base de dados (por exemplo, SQL). Este elemento corresponde à base de dados dos sensores e pode ter maior ou menor importância, conforme a utilização pretendida. Pode servir como um processo independente e só utilizado pelos Engenheiros de Estruturas, como pode fazer parte do processo de identificação e detecção de leituras anómalas quer manual quer automaticamente. Para ser efectuada de forma automática é necessária a programação de forma a enviar um alerta sempre que houver um parâmetro que ultrapasse determinado limite. A base de dados SQL serve como uma estrutura auxiliar em que o modelo IFC se pode apoiar.

Neste processo de elaboração de um projecto é essencial a interoperabilidade e nesse sentido o IFC é um recurso fundamental. O arquitecto trabalha num modelo de arquitectura, baseado nos seus desenhos e nos requerimentos do seu cliente. Durante a elaboração do projecto, o arquitecto tem que ter em consideração que o modelo vai, mais cedo ou mais tarde, ser partilhado com um engenheiro estrutural. Desta forma pode definir no desenho os elementos estruturais de forma *standard* para depois o engenheiro os tratar e calcular. Esta colaboração requiere métodos de transferência e armazenamento de informação de confiança. Também necessita de uma forma de gerir todas as alterações efectuadas ao modelo de construção do edifício por qualquer um dos participantes. Este aspecto pode ser resolvido com a utilização de um servidor comum.

4.3. ELABORAÇÃO DO MODELO TRIDIMENSIONAL

Para a elaboração do modelo tridimensional a ser utilizado, tem que se fazer a selecção dos *softwares* a serem empregados e a tipologia do edifício. Por se tratar de um caso exemplificativo e de estudo inicial não se pretende realizar um modelo demasiado complexo. Os *softwares* utilizados para a realização do trabalho serão os seguintes:

- a) Graphisoft ArchiCAD 14;
- b) Solibri Model Viewer;
- c) Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011.

Estas ferramentas utilizam a versão IFC 2x3 e não contêm todas as propriedades contidas no modelo. Desta forma é de prever alguma limitação por parte das ferramentas no que concerne ao tema abordado no caso prático.

O ArchiCAD é um *software* CAD BIM arquitectónico desenvolvido pela empresa húngara Graphisoft. A versão mais recente (2010) é o ArchiCAD 14. Oferece soluções especializadas para lidar com todos os aspectos comuns de estética e de engenharia durante o processo de desenho do ambiente construído - os edifícios, áreas urbanas, interiores, etc. O ArchiCAD é um pacote completo com *design* 2D e 3D, elaboração, visualização e outras funções para arquitectos, desenhadores e projectistas (Graphisoft 2011).

O Solibri ajuda a verificar a consistência e o desempenho de projecto do *Building Information Model*. O Solibri Model Viewer é um *software* livre criado para visualização de arquivos *IFC Open Standard* e arquivos Solibri Model Checker. O Solibri Model Viewer traz arquivos BIM de todos os *softwares* compatíveis com IFC para um único ambiente, permitindo a visualização do projecto. O Solibri Model Checker é como o verificador ortográfico num processador de texto, mas em vez de palavras, ele analisa os componentes de construção de um arquivo BIM. Revela potenciais falhas e fraquezas no projecto, destaca os componentes de divergência e verifica se o modelo está em conformidade com os códigos de construção e as melhores práticas da organização (Solibri 2011).

O Autodesk Robot Structural Analysis Professional fornece capacidades avançadas de análise estrutural para grandes estruturas complexas a engenheiros de estruturas. O *software* oferece uma ampla gama de capacidades de análise que permitem avaliar o comportamento linear e não linear verdadeiro de qualquer estrutura (Autodesk 2011).

4.3.1. CASO DE ESTUDO 1: MORADIA UNIFAMILIAR

A habitação que vai ser objecto de estudo foi elaborada segundo alguns pontos que o autor desta tese achou preponderantes para avaliar as potencialidades dos sistemas estruturais sob observação neste trabalho. Este projecto foi desenvolvido propositadamente para este estudo, pelo autor deste trabalho, sendo as ressalvas feitas as seguintes:

- a) Habitação unifamiliar com um piso;
- b) Inexistência de pisos habitáveis abaixo da cota do terreno;
- c) Área de implantação de 400 m²;
- d) Uniformidade de soluções das paredes.

A habitação proposta apresenta os parâmetros observados no quadro seguinte (Quadro 4).

Quadro 4 - Parâmetros urbanísticos de maior relevo.

Designação	Valor
Área de implantação da habitação (m ²)	200
Área Total de construção (m ²)	200
Número de pisos acima da cota de soleira	1
Número de pisos abaixo da cota de soleira	0
Número de fogos	1
Uso a que se destina	Habitação

Trata-se de uma estrutura porticada em betão armado, apoiada em sapatas isoladas. A cobertura é plana e coberta de seixos. O revestimento exterior é em material homogéneo.

Procedeu-se à modelação da estrutura descrita através do *software* ArchiCAD. Começou-se por fazer a planta do edifício. Nesta define-se a laje em primeiro lugar. Introduzem-se os parâmetros que a definem como a espessura, os materiais que a compõe e que a revestem e se pertence aos elementos estruturais. Depois introduzem-se as medidas, que neste caso são 20×20 metros.

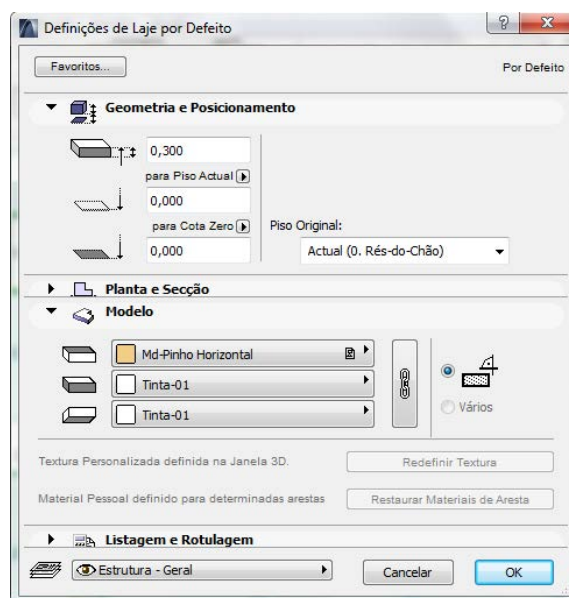


Figura 22 - Definição da Laje no ArchiCAD.

Depois da laje introduziram-se os pilares e as vigas. Definiu-se secção rectangular para ambos, sendo esta, tanto para os pilares como para as vigas, de 0,30×0,30 metros.

A introdução de sapatas na estrutura é um processo mais complexo. Não há no ArchiCAD nenhuma opção para a introdução de sapatas. Foi então necessário desenhar um objecto formado por um pilar e uma laje para o efeito. Definiu-se depois o objecto como sendo estrutural e criou-se um *layer* próprio para o efeito.

Passou-se de seguida para a modelação das paredes exteriores. O processo é idêntico ao das lajes, mas nestas tem que se definir o pé direito da habitação, que é neste caso de 2,80 metros.

Para a inclusão da cobertura, tal como mostra a Figura 23, é necessário definir um ângulo para a inclinação das águas da cobertura. Neste caso definiu-se os 0°. Depois escolhe-se o material para o revestimento, que por ser cobertura lisa se escolheu como revestimento o seixo.

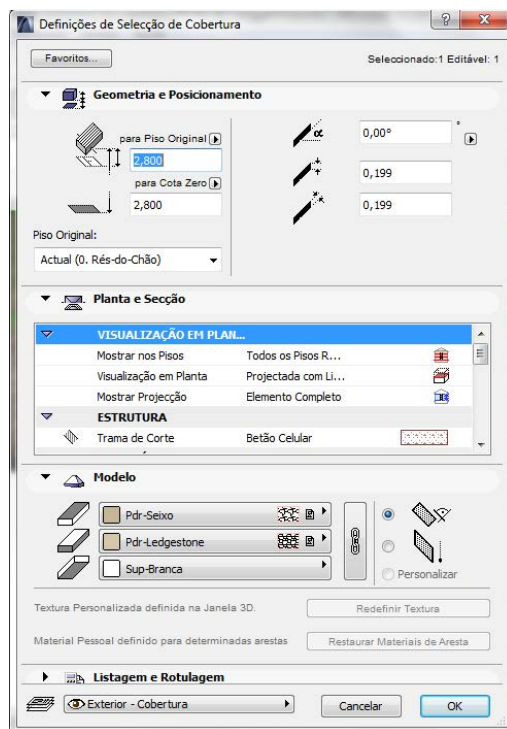


Figura 23 - Definição da Cobertura no ArchiCAD.

Após a elaboração da estrutura e das paredes exteriores, faz-se a separação das áreas interiores nas respectivas divisões. Optou-se por uma divisão simples com uma sala, uma cozinha, dois salões, um quarto, um quarto de banho, uma garagem e um hall de entrada com zona de convívio. Estas delimitações não são essenciais para o trabalho em causa nem alteram os resultados, mas no entanto achou-se de interesse a sua colocação de forma a se poder ver como eram traduzidos pelo modelo IFC.

Todos os elementos são introduzidos graficamente com a excepção da laje que é introduzida através de coordenadas, uma vez que é a base da estrutura e todos os outros se encontram dentro dos limites e alinhados com a laje.

Sempre que se adiciona um elemento ou um objecto podemos defini-lo no modelo IFC 2x3 presente no ArchiCAD. Está definido por defeito o Automático, mas está disponível uma biblioteca com uma extensa lista de opções que passo a citar:

- | | |
|---|---|
| a) Âncora de Tendão; | k) Dispositivo de Tratamento de Caudal; |
| b) Automático; | l) Elemento de Transporte; |
| c) Barra de Reforço; | m) Encaixe de Caminho de Cabos; |
| d) Caudal de Tubo; | n) Encaixe de Conduta; |
| e) Cobertura; | o) Encaixe de Tubo; |
| f) Controlador de Caudal; | p) Escada; |
| g) Cordão; | q) Janela; |
| h) Corrimões; | r) Laje; |
| i) Dispositivo de Armazenamento Caudal; | s) Lâmpada; |
| j) Dispositivo de Mover Caudal; | t) Luminária; |
| | u) Malha de reforço; |

- | | |
|--------------------|------------------------------------|
| v) Membro; | ee) Revestimento; |
| w) Mobília; | ff) Sapata; |
| x) Parede Cortina; | gg) Segmento de Caminho de Cabos; |
| y) Parede; | hh) Segmento de Conduta; |
| z) Pilar; | ii) Segmento de Tubo; |
| aa) Pilha; | jj) Tecto; |
| bb) Placa; | kk) Terminal de Caudal de Conduta; |
| cc) Porta; | ll) Viga. |
| dd) Rampa; | |

Essa classificação atribui certos parâmetros e funções a estes elementos para utilização por outras aplicações: a interpretação dos dados, a elaboração de modelos transparentes, a localização dos elementos, fins de listagem, etc. Esta selecção permite ainda fazer a separação do modelo de arquitectura do modelo estrutural dentro do ArchiCAD. A classificação de cada elemento afecta, naturalmente, o processo de exportação IFC, porque cada elemento vai ser guardado dentro do modelo IFC, em conformidade com o tipo de elemento escolhido. Assim, se se classificar uma parede como sendo uma viga no ArchiCAD, o programa de destino irá interpretar este elemento como uma viga (dependendo das capacidades do programa de destino).

Após concretizados todos estes passos, temos a planta do modelo feita. Adicionam-se alguns objectos como louça sanitária, camas, mesas, sofás, carros, fogão e lava loiça de forma a ser feita uma mais rápida distinção e visualização dos espaços.

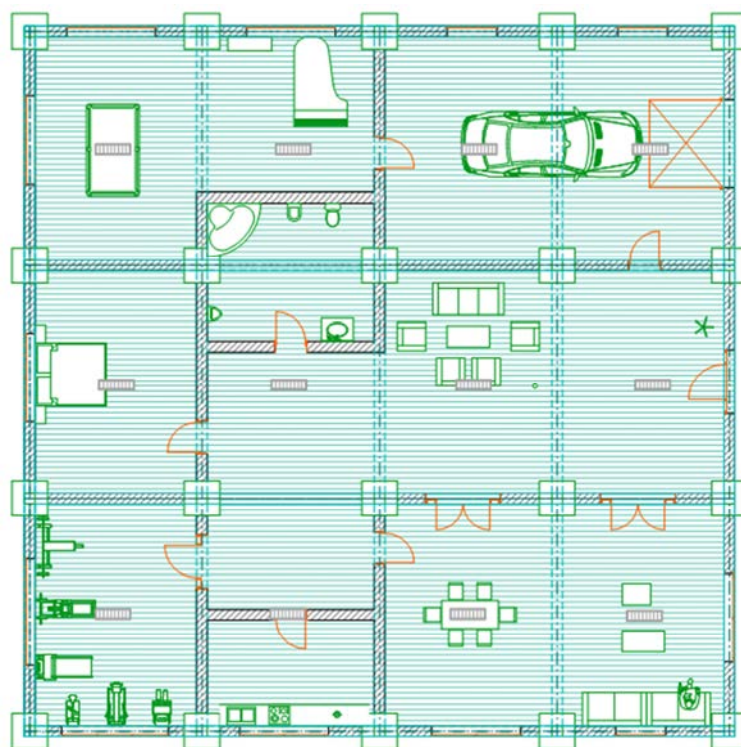


Figura 24 - Planta da habitação dada pelo ArchiCAD.

Nota-se à volta de cada pilar o limite da sapata e a tracejado as vigas a atravessar toda a habitação. Após a elaboração da planta, o ArchiCAD permite-nos fazer a visualização tridimensional da habitação. Numa fase inicial do desenho do projecto decidiu-se colocar as paredes em vidro de forma

a serem melhor perceptíveis os elementos estruturais existentes. Apresenta-se esse modelo tridimensional na Figura 25.

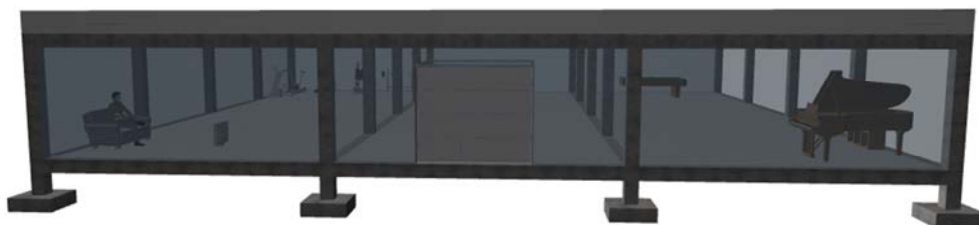


Figura 25 - Visualização do Edifício.

Tendo por finalidade tornar o modelo mais realista, optou-se pela colocação de janelas, portas, revestimentos de parede, platibanda e cobertura de seixos. O aspecto final da casa é então o da Figura 26. Note-se que não é um modelo tridimensional comercial, uma vez que não é um render realista, isto é, apesar de se notar as pedrinhas nos revestimentos a visualização está longe de um hipotético modelo real. Não se trata apenas de uma visualização, uma vez que cada elemento que constitui o modelo tem propriedades próprias. Por exemplo, clicando num pilar aparecem-nos as características relativas a esse pilar.



Figura 26 - Aspecto final do Edifício.

Uma das funcionalidades do programa consiste na visualização do modelo tridimensional dos elementos estruturais. Essa visualização tem o seguinte aspecto:

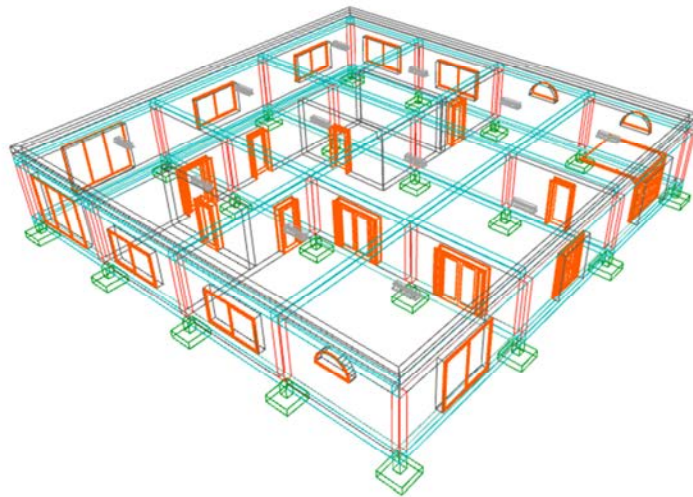


Figura 27 - Visualização dos elementos estruturais.

São visíveis os elementos como pilares, vigas e sapatas. Nota-se também que neste modelo estão perceptíveis ainda as janelas, portas e pontos de luz existentes.

O ArchiCAD contém ainda uma funcionalidade bastante útil no que concerne à elaboração de cortes, alçados e pormenores. Basta seleccionar a ferramenta, escolher o local pretendido e o desenho é elaborado automaticamente. Mostra-se de seguida o exemplo de um corte e de um alçado.



Figura 28 - Visualização de Corte (em cima) e Alçado (em baixo) do edifício.

Tendo o modelo finalizado e separando os elementos estruturais do resto da estrutura podemos passar para o segundo passo. Aqui pretende-se exportar o modelo estrutural, de forma a se poder aferir sobre

as capacidades de exportação pelo IFC 2x3, bem como estudar as propriedades aqui existentes para a possível introdução de informações relativas à instrumentação e monitorização estrutural.

Para tal, torna-se necessário definir as opções de exportação no tradutor IFC 2x3. Optou-se pela criação de um tradutor personalizado. Este fica gravado como um perfil para o utilizador e utiliza a extensão XML. O XML é um formato para a criação de documentos com dados organizados de forma hierárquica. Embora se concentre em documentos, é bastante utilizado para a representação das bases de dados. É um formato que não depende das plataformas de *hardware* ou de *software*, tendo por isso bastante portabilidade.

Para a definição do tradutor, na opção de filtrar elementos do projecto, optou-se por colocar apenas os elementos estruturais dentro do domínio total do IFC.

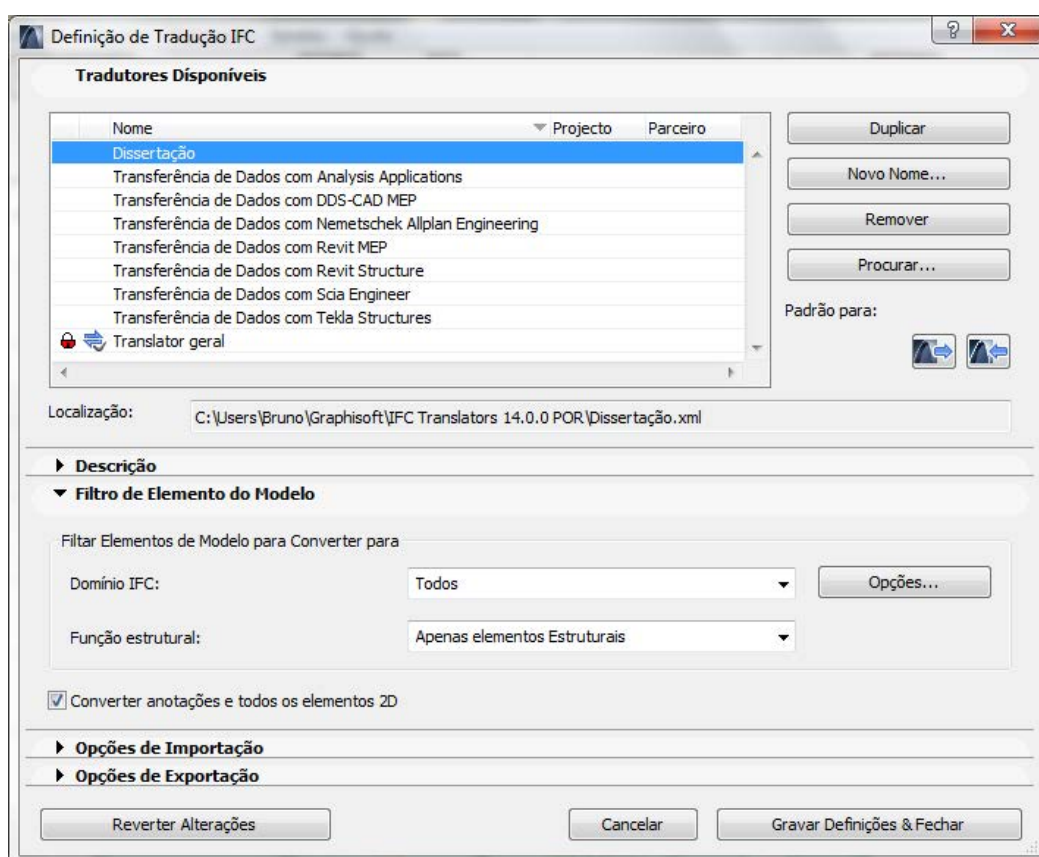


Figura 29 - Definição do Tradutor IFC.

Nas opções de exportação seleccionou-se o projecto completo, de forma a não haver a omissão de qualquer elemento ou propriedade relevante para o estudo em questão.

Após a definição das opções de exportação guarda-se o ficheiro que fica em formato IFC 2x3. Este pode ser visualizado com o *software* Solibri Model Viewer. É assim possível verificar a conformidade do desenho no que concerne aos elementos estruturais que o constituem. Para a parte gráfica do projecto, o Solibri Model Viewer mostra-nos a figura seguinte.

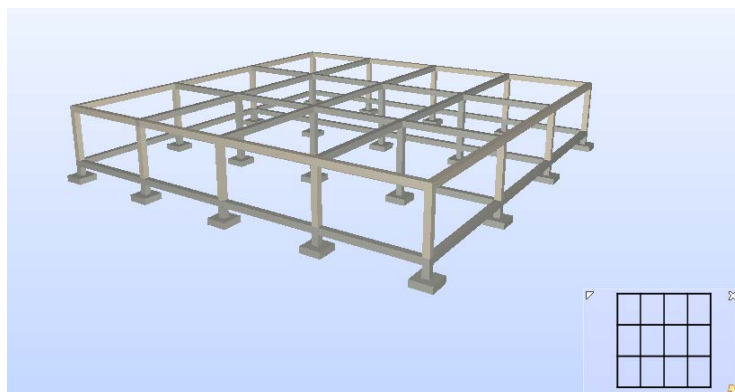


Figura 30 - Visualização do modelo estrutural no Solibri Model Viewer.

Para se efectuar a análise do modelo, o Solibri Model Viewer apresenta também uma árvore com os constituintes, neste caso estruturais existentes e convertidos. Esta árvore permite-nos navegar pela parte gráfica seleccionando cada um dos elementos que o constituem. Assim é possível a visualização das propriedades de cada um deles. A Figura 31 mostra-nos o exemplo para a viga 1.

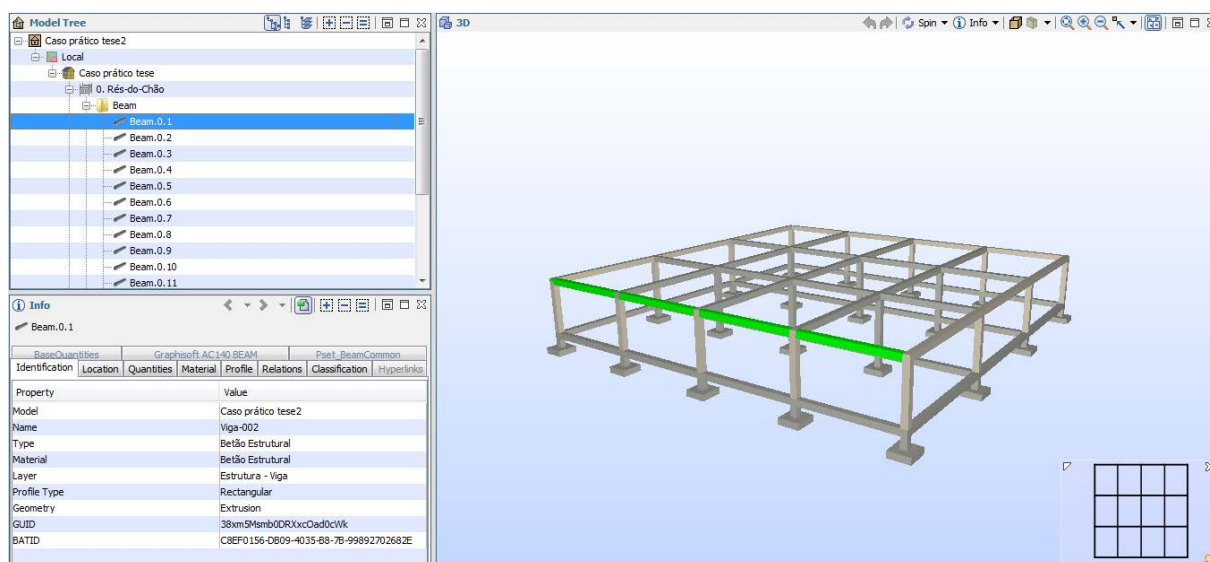


Figura 31 - Vista geral das propriedades de uma viga e da árvore do Modelo IFC.

Através da figura é possível visualizar que na árvore do modelo se encontra a lista das vigas constituintes na categoria Vigas (*Beam*). Ao seleccionar-se a viga 1 esta muda automaticamente de cor na visualização gráfica para uma fácil percepção do elemento em causa. Na informação da viga seleccionada temos diferentes categorias: Identificação, Localização, Quantidades, Material, Perfil, Relações e Classificação. Há ainda a existência de mais três separadores que são BaseQuantities, Graphisoft AC 140 Beam, Pset_BeamCommon. Nesta categoria de separadores estão inseridas as *propertysets* de cada elemento do modelo. É aqui que aparecem as características que o utilizador adiciona como propriedades dos elementos sob a forma de *propertysets*.

Se ao invés de se exportar apenas o modelo estrutural se exportasse o modelo completo, obteríamos além de vigas, pilares e sapatas, as lâmpadas, as paredes, as janelas, as portas, a cobertura e ainda eventuais objectos. A visualização obtida no Solibri Model Viewer seria a seguinte:

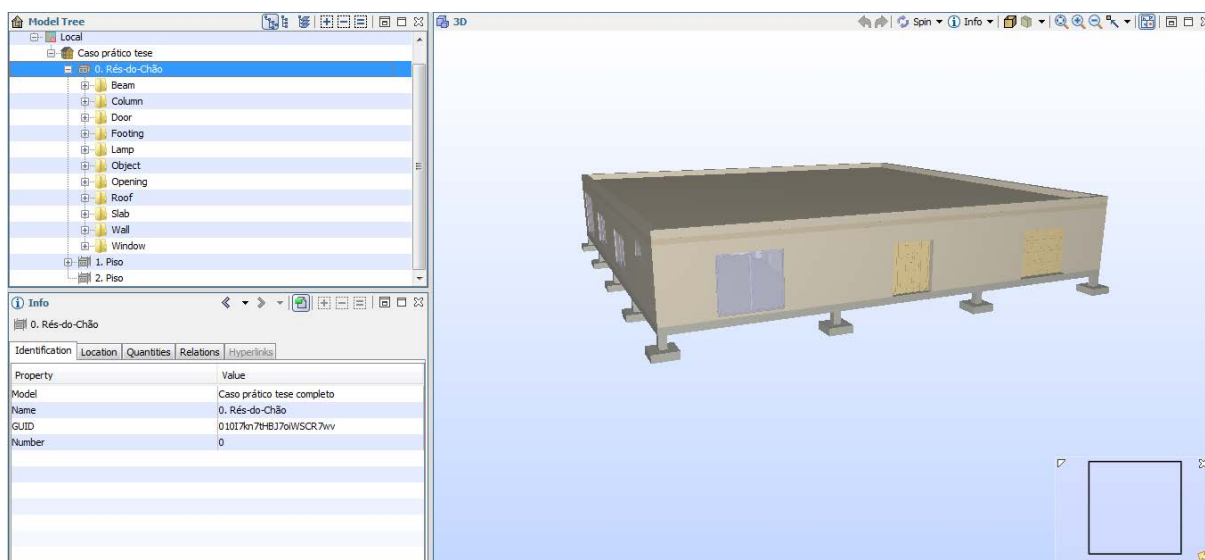


Figura 32 - Visualização do Edifício completo no Solibri Model Viewer.

Pela visualização da imagem, nota-se a perda de algumas propriedades como os revestimentos tanto das paredes como da cobertura. Este facto deve-se ao revestimento ser uma característica existente e interna do ArchiCAD, não sendo suportada pelo modelo IFC. A capacidade de exportação do IFC não é capaz de transportar tais características no modelo completo, somente através da reconstrução cuidadosa da casa, colocando apenas objectos contidos, na sua totalidade, no modelo IFC.

É de notar que através deste método de exportação, um dos objectos existentes na árvore do modelo é o sensor de calor colocado no hall de entrada da habitação. Este facto pode vir a ser de extrema relevância no caso prático em estudo.

Confirmada a exportação do modelo estrutural e a sua conformidade, vamos abri-lo com o *software* de análise estrutural. Optou-se neste caso pelo Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2011. O resultado obtido é o demonstrado na Figura 33.

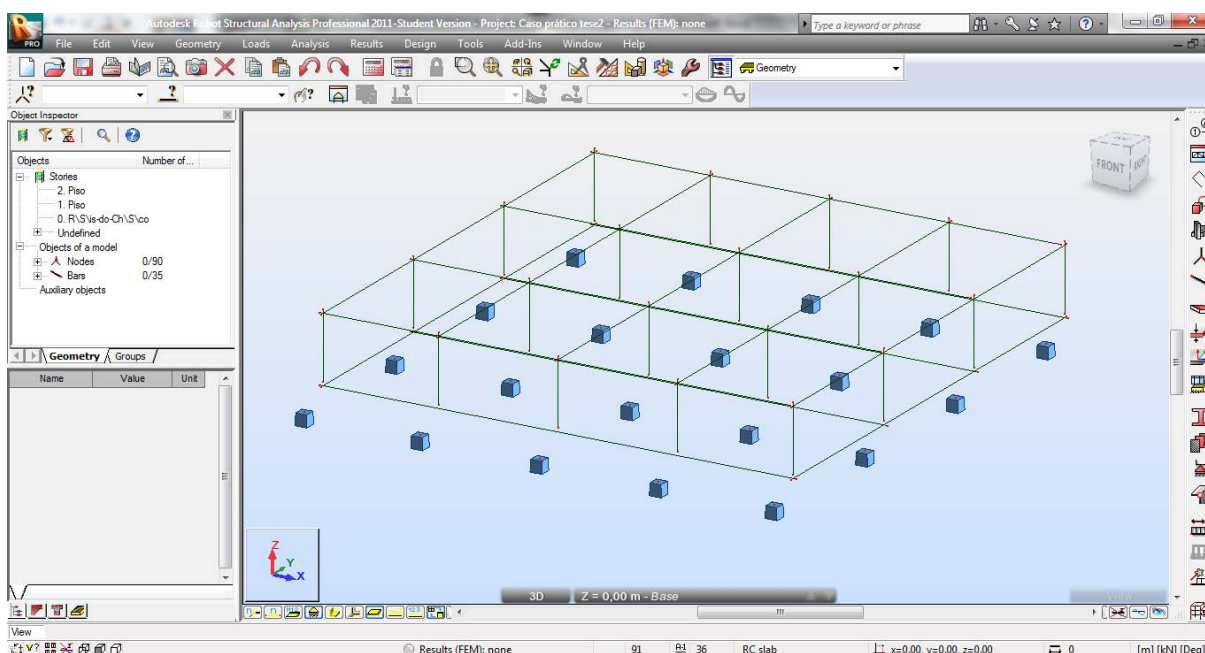


Figura 33 - Visualização do modelo estrutural no Autodesk Robot.

Observando o resultado da importação do ficheiro IFC para o Autodesk Robot 2011, verifica-se que há alguns problemas de compatibilidade. As sapatas ficaram desalinhadas com a restante estrutura e separadas desta. Três das quatro vigas superiores que atravessam o edifício ficaram desencontradas do seu alinhamento inicial e sem continuidade. Vários nós de união entre os diversos elementos deixaram de fazer a sua ligação. Mostra-se de seguida o exemplo destas situações de forma mais pormenorizada.

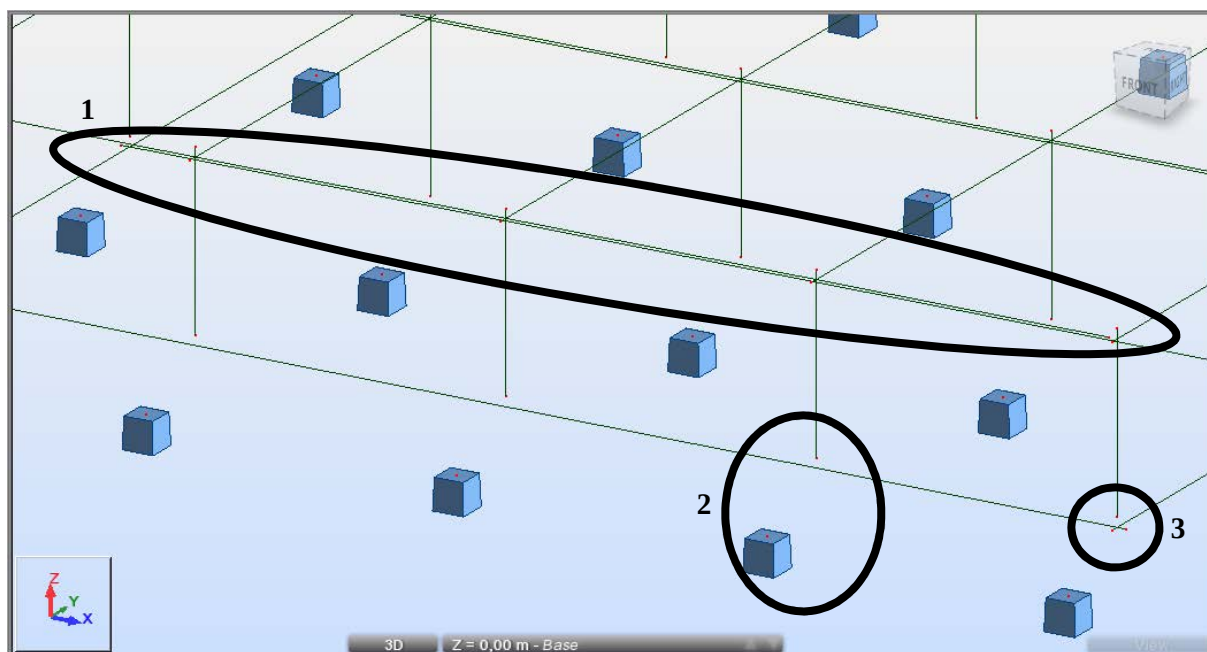


Figura 34 - Problemas de compatibilidade detectados no Autodesk Robot.

A elipse com o número um corresponde ao exemplo da viga sem continuidade e desalinhada. A elipse com o número dois apresenta o exemplo do desalinhamento e descontinuidade das sapatas com a restante estrutura. A elipse com o número três demonstra a desunião dos vários elementos estruturais num dos nós.

Esta incompatibilidade não permite fazer uma análise estrutural imediata ao modelo importado. É necessário proceder a correcções de forma a ser possível efectuar tal análise. Executando as alterações e realizando a análise estrutural, extraem-se os resultados relativos ao modelo e à integridade estrutural. Chega-se no entanto a um ponto em que não podemos continuar o ciclo de passagem do modelo para o programa BIM, neste caso o ArchiCAD, uma vez que o Autodesk Robot apenas permite importar dados IFC e não permite exportá-los. Não dá por isso para gravar em ficheiro IFC a partir do Autodesk Robot.

4.3.2. CASO DE ESTUDO 2: EDIFÍCIO DO INEGI

Após uma breve explicação sobre o processo a desenvolver no caso de estudo, passamos para a avaliação de um caso de um edifício real, neste caso a Nave do INEGI. O INEGI situa-se na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e é constituído por três edifícios, entre os quais a nave. Os edifícios têm comunicação interior entre eles.

O INEGI é uma instituição de interface entre a Universidade e a Indústria vocacionada para a execução de actividade de Inovação e Transferência de Tecnologia direccionada para o ramo industrial (INEGI 2007). Localiza-se a norte dentro do recinto da FEUP, tal como mostra a Figura 35.

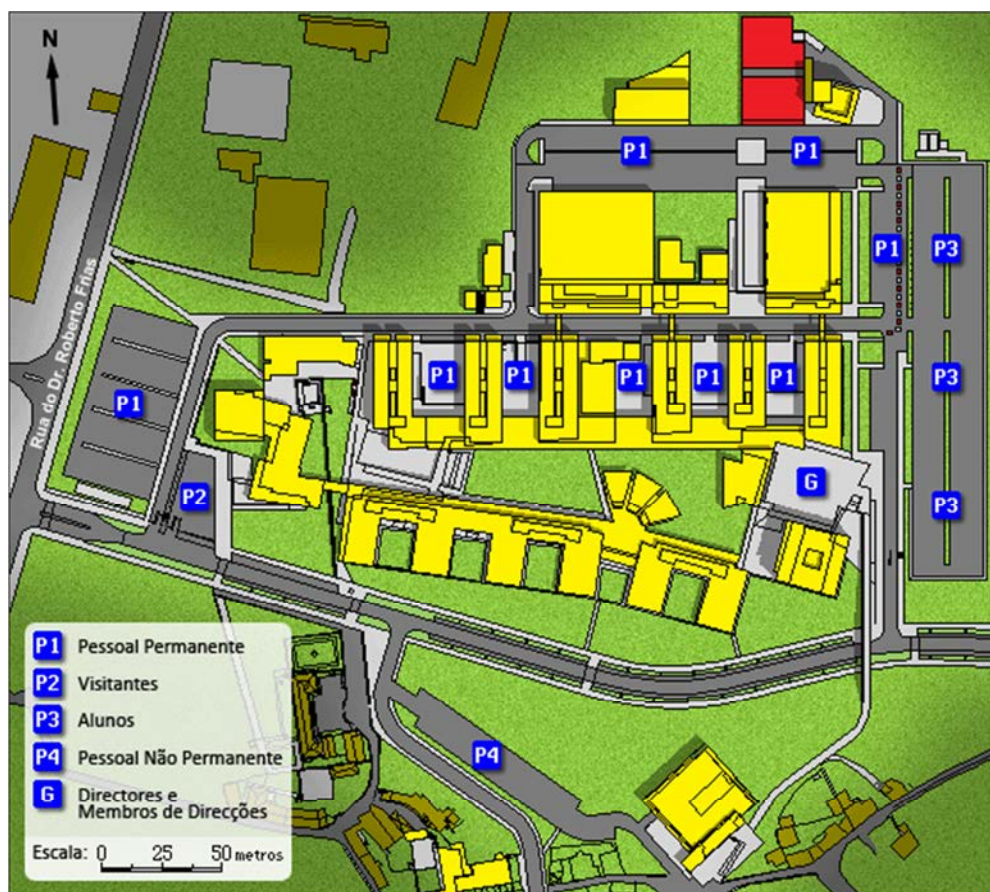


Figura 35 - Mapa da FEUP com o Edifício do INEGI assinalado a vermelho.

O edifício em estudo, a nave do INEGI, é o edifício sombreado a vermelho que se encontra à face da estrada. Devido à má qualidade do solo, foi decidida fazer uma instrumentação do edifício ao nível do piso zero e piso um. O edifício em causa é constituído por três pisos, sendo estes o piso menos um, o piso zero e o piso um. Foram facilitadas as plantas dos pisos zero e piso um com a respectiva localização dos sensores. As plantas são apresentadas no Anexo II.

De modo a se realizar um modelo tridimensional tão rigoroso quanto possível do edifício, foi feita uma visita local com a devida autorização e recolha de imagens exteriores. Desta forma foi possível uma melhor interpretação das plantas, bem como da informação em falta nestas.



Figura 36 - Fotografia do Edifício em estudo.

Para a realização da modelação tridimensional, adicionaram-se quatro pisos. Adicionou-se o menos dois para a colocação das sapatas, o piso menos um, o piso zero, o piso um e o piso dois. Este último foi adicionado para a colocação da cobertura, bem como da platibanda existente. O resultado final da modelação foi o seguinte:

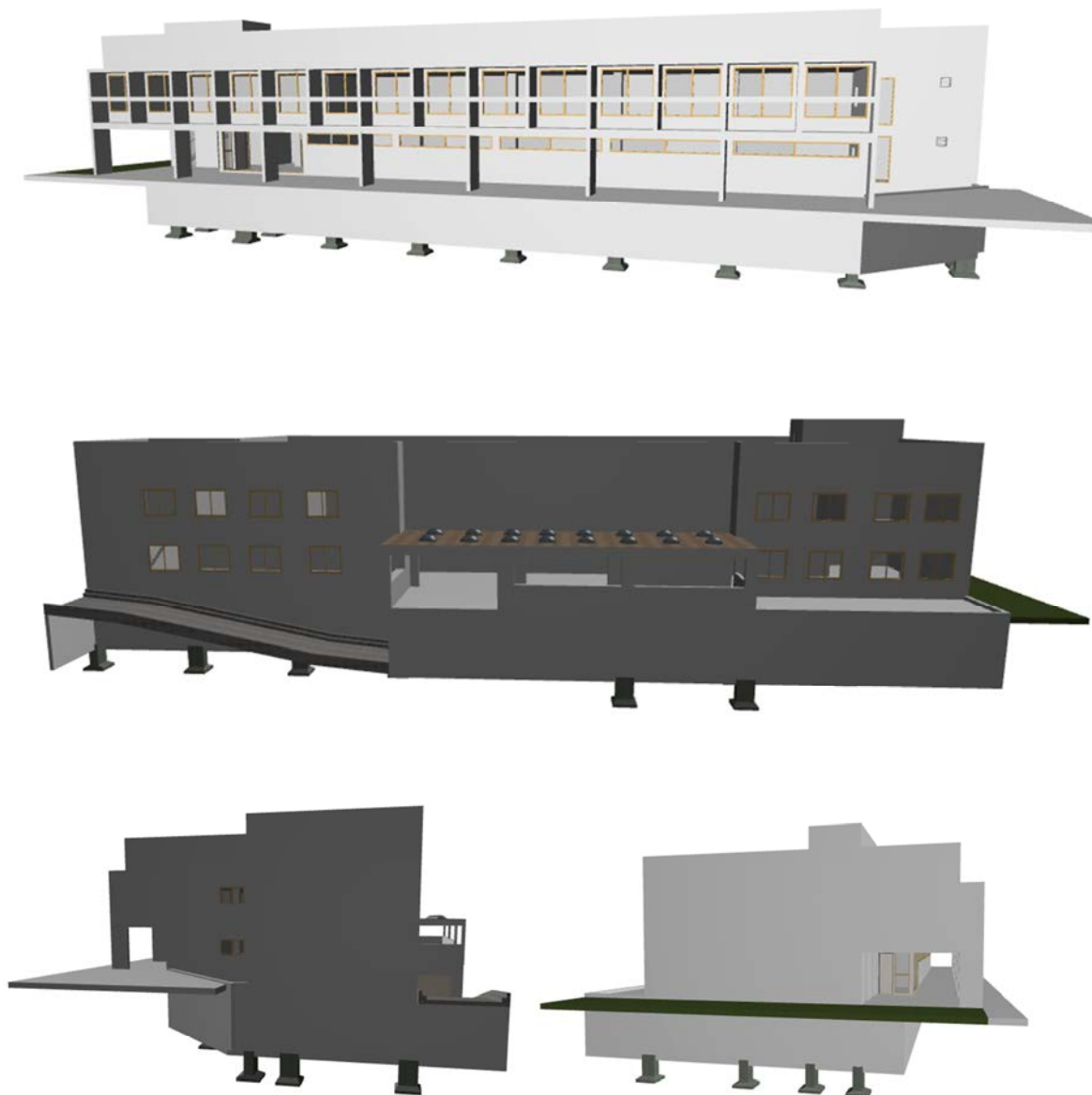


Figura 37 - Modelação do Edifício da Nave do INEGI, apresentando os quatro lados.

As diferenças de cor para os diferentes lados do edifício devem-se às opções de visualização do edifício no ArchiCAD, uma vez que o programa utiliza luzes e sombras consoante a disposição do edifício.

Para uma melhor noção espacial do edifício no seu conjunto, mostra-se uma imagem que pretende captar a noção de profundidade bem como dar uma ideia da planta do edifício e de elementos como as platibandas. Tal observação é visível na Figura 38.

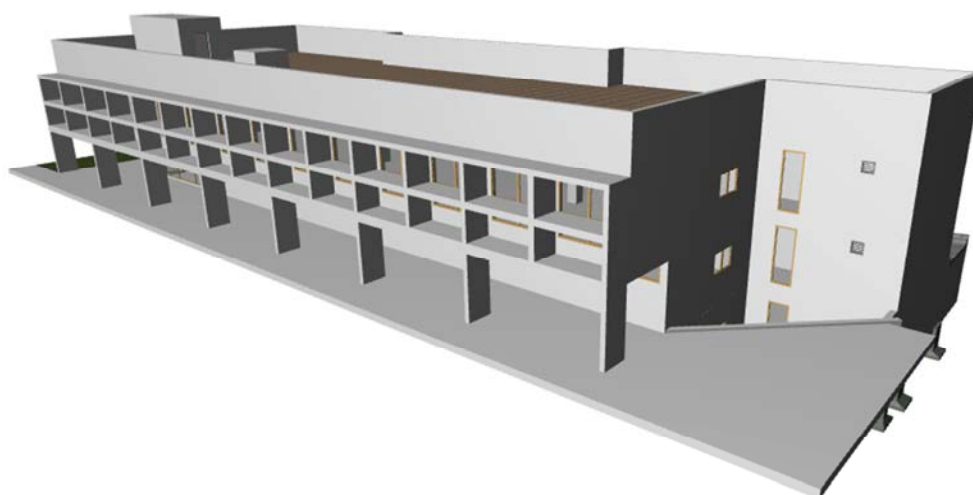


Figura 38 - Visualização do modelo tridimensional em estudo.

Todos os elementos constituintes do edifício têm as informações que lhes dizem respeito guardadas na base de dados do *software* BIM compatível, neste caso o ArchiCAD. Como forma de exemplo, mostra-se na Figura 39, a informação mais simples que o *software* mostra de forma rápida e expedita acerca de um pilar do piso zero.

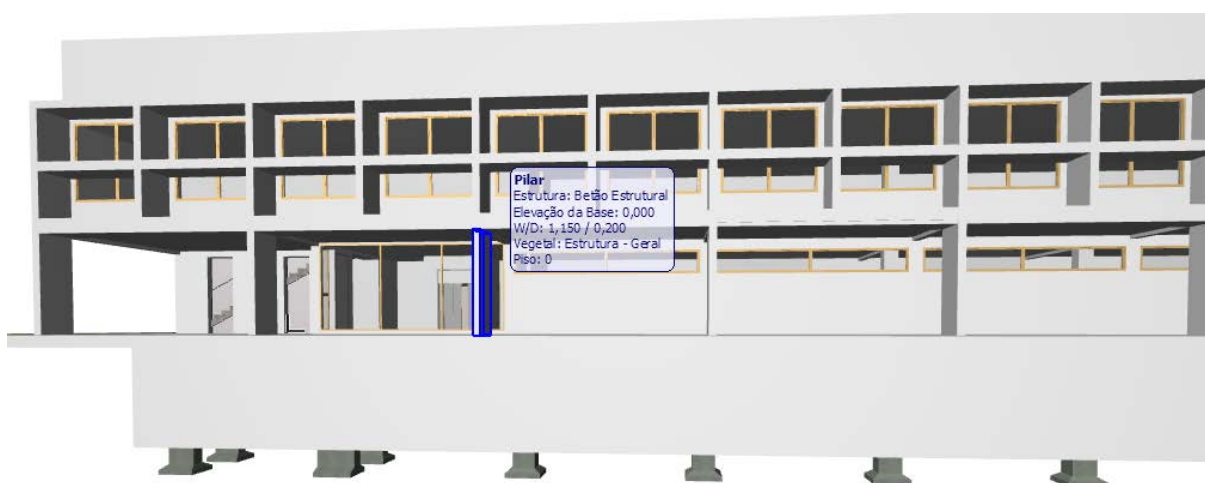


Figura 39 - Visualização das características de um pilar do modelo.

A base de dados do ArchiCAD possui variada informação acerca do edifício. Com essa informação é possível a geração de documentos automaticamente. Mostra-se a título de exemplo na Figura 40 essa possibilidade de documentação.

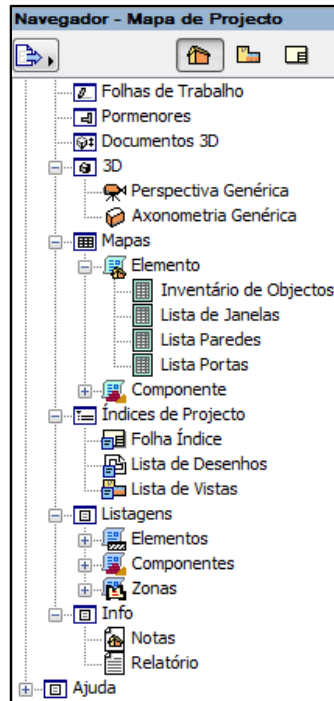


Figura 40 - Documentação possível através do ArchiCAD.

Além de documentos escritos, existe a possibilidade de elaboração de documentos de desenho como cortes, alçados e pormenores de forma bastante rápida. Basta seleccionar-se o local pretendido para tal processo e o *software* elabora o resultado.

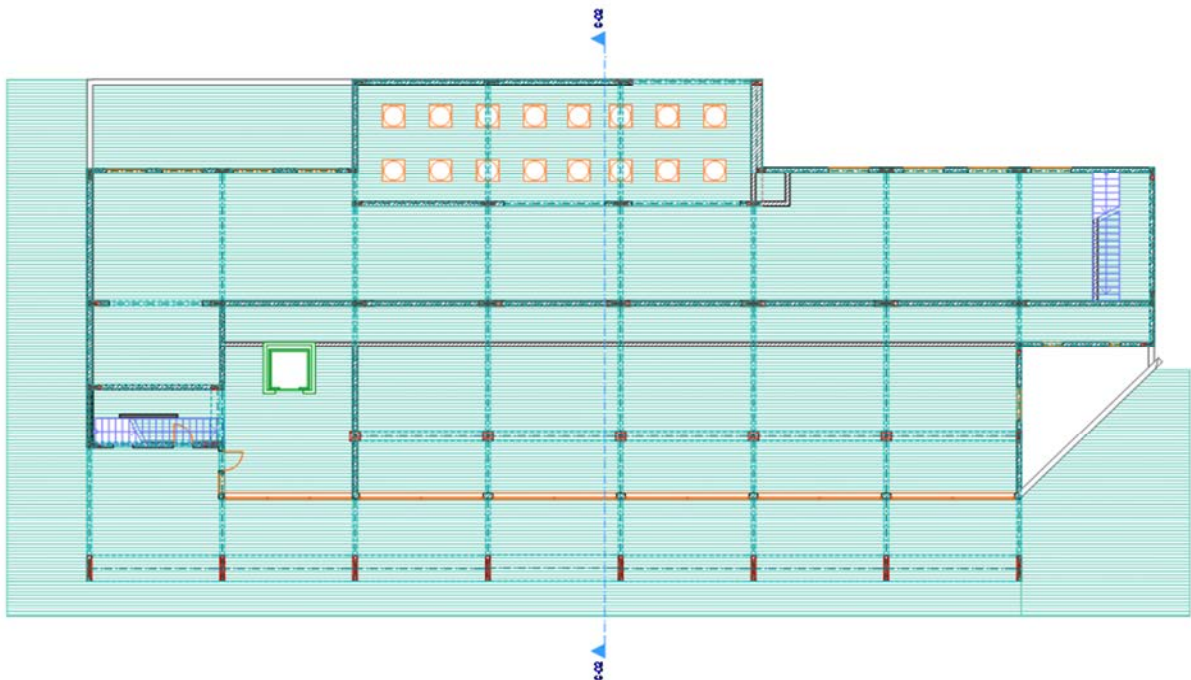


Figura 41 - Planta do edifício com localização do corte construtivo.

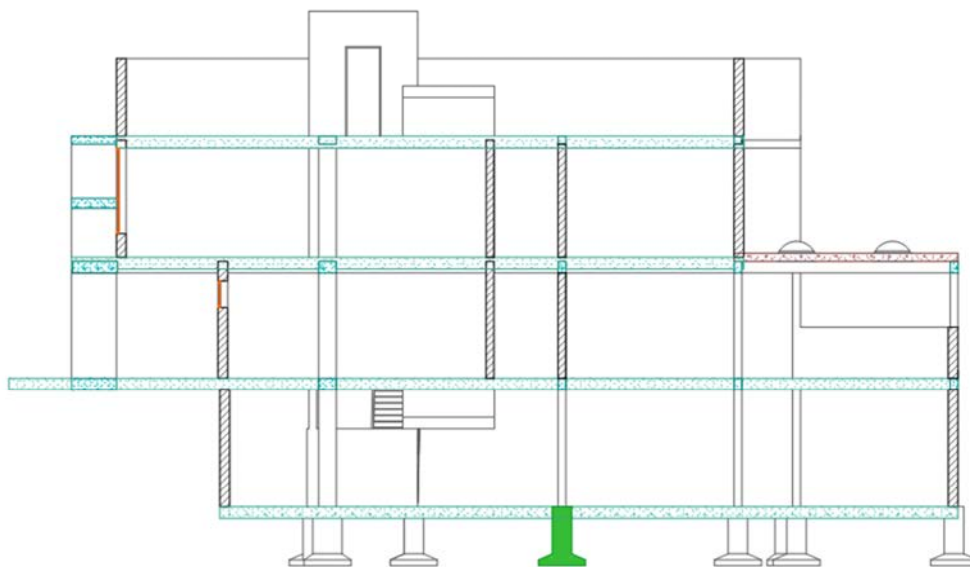


Figura 42 - Elaboração de um corte construtivo de acordo com a localização assinalada na planta do edifício.

Para o estudo em causa é importante a visualização do modelo tridimensional dos elementos estruturais, uma vez que é sobre estes que recai a análise realizada pelos sensores.

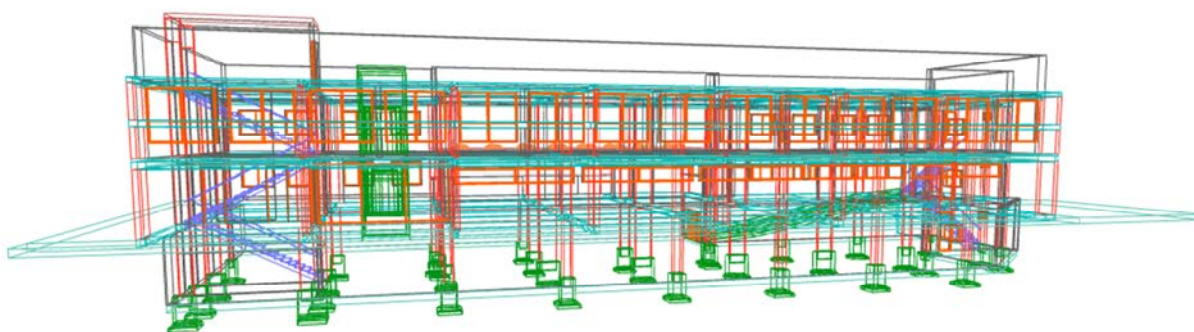


Figura 43 - Visualização do modelo estrutural do edifício da Nave do INEGI.

Através deste modelo é possível ao longo da modelação visualizar se há elementos em excesso ou em falta, tais como duplicação ou supressão de vigas.

De acordo com a planta fornecida, colocam-se nos pilares do modelo tridimensional imediatamente abaixo da laje do piso zero e do piso um, os sensores de deformação na direcção vertical. A localização destes pode ser vista no Anexo II com mais pormenor. Os sensores colocados foram de fumo e calor, uma vez que são os únicos existentes no *software*. No entanto, alteraram-se as suas propriedades para se assemelharem o máximo possível a sensores de deformação. Modificou-se o nome nos campos para o efeito, para ficar de acordo com o especificado nas plantas fornecidas. Desligaram-se as *Property Sets* específicas dos sensores de fumo e calor de forma a não existirem conflitos nos dados a introduzir.

Verificadas as potencialidades do BIM e concluído o modelo tridimensional, faz-se a conversão para o ficheiro IFC 2x3, bem como a comprovação do seu resultado. Neste passo pretende-se saber se todos os elementos, incluindo os sensores, são convertidos, bem como a sua possibilidade de edição. A importância deste passo reside no facto de, o ficheiro IFC poder ser aberto e editado utilizando o

Bloco de Notas. No entanto, torna-se necessário averiguar se, essa edição possível de ser efectuada, é compatível com os programas em utilização.

Para a verificação da viabilidade de abertura do ficheiro IFC 2x3 no Bloco de Notas, abriu-se o modelo no Solibri Model Viewer e procurou-se o mesmo elemento em ambos. Assim podem ser comparadas características como o GUID, de maneira a existir certeza que se trata do mesmo objecto.

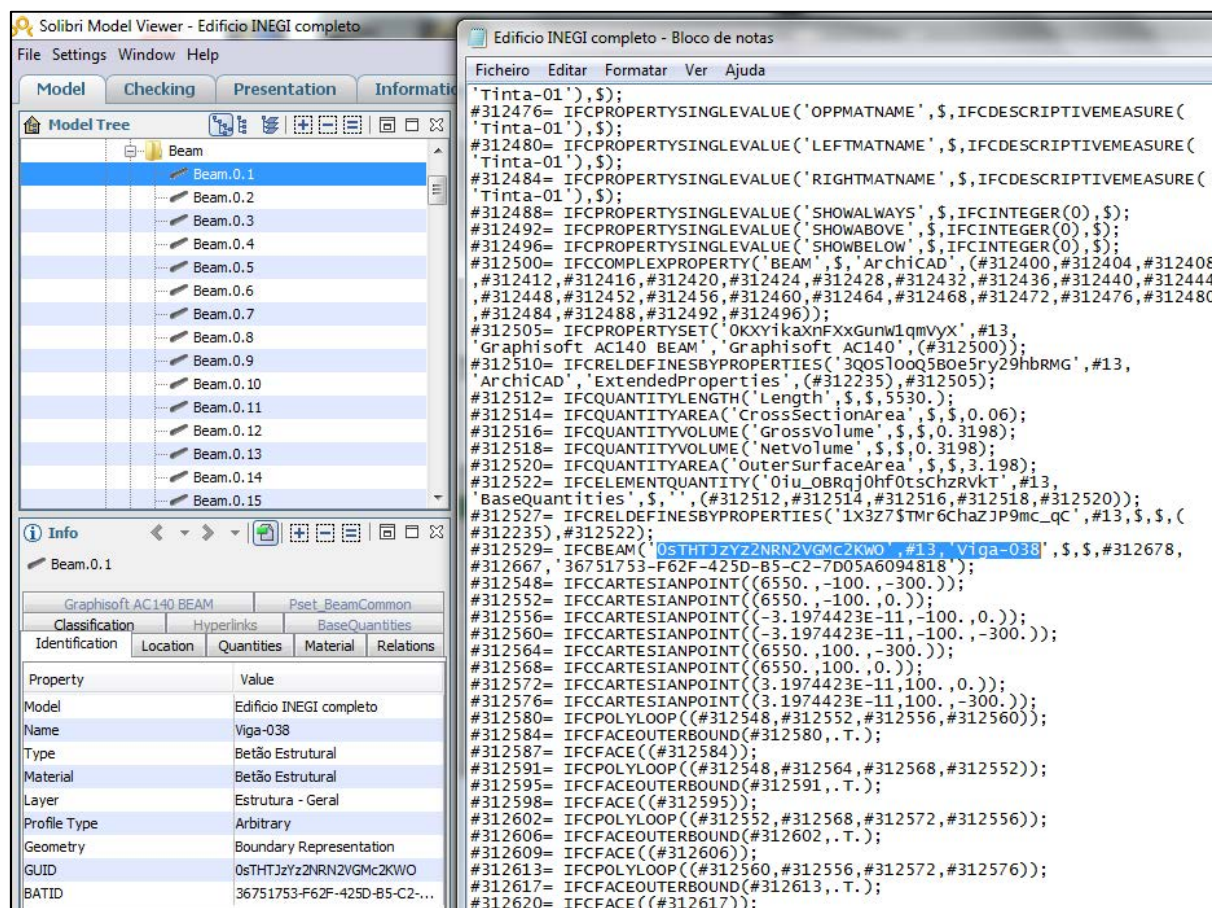


Figura 44 - Comparação da informação do ficheiro IFC em duas plataformas distintas.

Como se pode confirmar, para a Viga-038, o GUID é o 0sTHTJzYz2NRN2VGMc2KWO, aparecendo nos dois locais exactamente igual, tal como seria de esperar. O nome Beam 0.1 que aparece no Solibri Model Viewer não é uma opção sólida, uma vez que não aparece em lado algum da base de dados, só aparece na interface do Solibri Model Viewer. Já o nome Viga-038 e o GUID são opções sólidas, uma vez que estão registados na base de dados como valores únicos.

Toda a informação presente no Bloco de Notas está organizada no separador de Informação do Solibri Model Viewer de forma bastante mais agradável à vista, melhor organizada e de melhor percepção. No entanto, o Solibri Model Viewer não permite a alteração da informação ao contrário do Bloco de Notas.

No estudo do documento em Bloco de Notas é visível a utilização da linguagem IFC. Cada linha tem um código com um comando, sendo que cada um desses comandos apresenta valores, etiquetas (textos) ou remete para o código de outra linha, de forma a não existir duplicação de informação. Pegando no exemplo da Viga-038, vai-se fazer um estudo dos elementos IFC que aparecem no documento (Anexo III), de forma a existir uma melhor compreensão do mesmo. Com esta compreensão, poderá ser feita uma melhor manipulação do documento, para a introdução de valores

relativos aos sensores. Poderá permitir, no futuro, a elaboração de um tradutor de automatização para a introdução de dados nos modelos IFC.

No texto que se segue apresenta-se os pontos correspondentes aos objectos IFC:

- a) A linha *IfcBeam* contém a informação da viga tal como o GUID, o nome da viga, o local onde se encontra, a identificação da aplicação proprietária e de criação do ficheiro.
- b) O *IfcCartesianPoint* define as coordenadas cartesianas do elemento em causa.
- c) O *IfcPolyLoop* delimita uma região no espaço, ou seja, contém a casca do elemento, os seus limites exteriores. Este remete-nos para as coordenadas cartesianas, de modo a definir os planos.
- d) O *IfcFaceOuterBound* delimita o limite exterior da face do elemento. Assim garante que nenhum ponto está fora deste. Esta propriedade remete-nos para o *IfcPolyLoop*, tal como se esperava, uma vez que são complementares.
- e) O *IfcFace* é a face do elemento definida por quatro vértices. Estes são definidos pelas coordenadas cartesianas. O *IfcFace* envia-nos para o *IfcFaceOuterBound*. Estas três características aparecem tantas vezes quantas as faces que definem o objecto, de forma a definir a sua casca. Esta casca é depois definida pelo *IfcClosedShell*, que remete cada um dos seus parâmetros para o *IfcFace*.
- f) O *IfcFaceTedBrep* é uma forma simples de modelo de representação de fronteira, em que todas as faces são planas e todas as arestas são linhas rectas. Este remete-nos para o *IfcClosedShell*.
- g) O *IfcSurfaceStyle* é a atribuição de um ou vários elementos de estilo de superfície numa superfície, definida por subtipos de *IfcSurface*, *IfcFaceBasedSurfaceModel*, *IfcShellBasedSurfaceModel*, ou por subtipos de *IfcSolidModel*. Nesta propriedade é definido por exemplo o revestimento utilizado.
- h) O *IfcPresentationStyleAssignment* é a atribuição de um estilo de apresentação. Corresponde a um conjunto de estilos que são atribuídos a itens com o propósito de apresentar esses elementos de estilo.
- i) O *IfcStyledItem* é uma atribuição do estilo de apresentação para um item de representação geométrica, tal como usado numa representação.
- j) O *IfcShapeRepresentation* representa o conceito de uma representação geométrica de um produto ou componente do produto dentro de um contexto específico de representação geométrica. O atributo herdado *RepresentationType* é usado para definir o modelo geométrico utilizado para a representação da forma; o atributo herdado *RepresentationIdentifier* é utilizado para designar a parte da representação capturado pelos *IfcShapeRepresentation* (por exemplo, eixos, corpo, etc.).
- k) O *IfcProductDefinitionShape* define todas as informações relevantes sobre a forma de um *IfcProduct*. Isso permite múltiplas representações da forma geométrica do mesmo produto.
- l) O *IfcAxis2Placement3D* é referente à localização e orientação no espaço tridimensional de três eixos perpendiculares entre si. Pode ser usado para localizar e originar um objecto no espaço tridimensional e definir um posicionamento no sistema de coordenadas.
- m) O *IfcLocalPlacement* define o posicionamento relativo de um produto em relação à colocação de outro produto, ou o posicionamento absoluto de um produto dentro do contexto da representação geométrica do projecto.
- n) O *IfcRelAssociatesMaterial* objectiva a relação entre a definição de materiais e elementos ou tipos de elementos a que esta definição se aplica.
- o) A *IfcPropertySet* foi já referenciada no subcapítulo referente ao IFC e à definição do modelo. Define todas as propriedades dinamicamente extensíveis. O conjunto de propriedades é uma

classe recipiente que mantém as propriedades dentro de uma árvore de propriedades. Essas propriedades são interpretadas de acordo com o seu nome de atributo. São as *Property Sets* que permitem acrescentar informação aos objectos ou elementos. Será através das *Property Sets* que os dados dos sensores poderão ser adicionados ao modelo.

- p) O *IfcPropertySingleValue* define um objecto de propriedade, que tem um valor (numérico ou descritivo) único atribuído. Define uma propriedade, uma combinação única de valor para o qual o nome da propriedade é dado.
- q) O *IfcRelDefinesByProperties* define as relações entre as definições de conjunto de propriedades e objectos. As propriedades são agregadas em conjuntos de propriedades, estes podem ser agrupados para definir um tipo de objecto.
- r) O *IfcQuantityLength*, *IfcQuantityArea* e *IfcQuantityVolume* fazem referência a uma quantidade física que define uma medida de comprimento derivada para fornecer uma propriedade física de um elemento. É normalmente derivada das propriedades físicas do elemento de acordo com as regras de medida específicas dadas por um determinado método de medição.
- s) O *IfcElementQuantity* define um conjunto de medidas derivadas de propriedades físicas de um elemento. Os elementos podem ser da estrutura espacial (como edifícios, pisos, ou espaços) ou de elementos como elementos de construção. Fica atribuído ao elemento usando a relação *IfcRelDefinesByProperties*.

Confirma-se que todos os elementos foram convertidos, incluindo os sensores. Estes foram trazidos para o modelo IFC como um objecto. Tem no entanto uma etiqueta a dizer que se trata de um sensor, bem como a informação do *layer* utilizado no programa de modelação, que é também denominado de Sensores. É possível editar os elementos no Bloco de Notas, no entanto, é necessário ter cuidado na maneira como essa edição é realizada, já que tem que estar de acordo com o IFC 2x3 por ser a versão utilizada pelos *softwares*, pois é a última versão final publicada.

No que concerne à adição de informação dos sensores, é necessário criar uma *Property Set*, de acordo com as existentes na categoria *IfcSensorType*, uma vez que é aquela que se enquadra na versão do IFC em utilização. Para tal, torna-se necessário mostrar um exemplo do que está actualmente definido no modelo. O exemplo escolhido é neste caso para um sensor de calor (*Heat Sensor*), retirado de (IAI 2010).

Quadro 5 - Definição da *Property Set*.

Nome da PropertySet	<i>Pset_SensorTypeHeatSensor</i>
Entidades Aplicáveis	<i>IfcSensorType</i>
Tipo de Valor Aplicável	<i>IfcSensorType/HEATSENSOR</i>
Definição	Definição da IAI: Um dispositivo que detecta ou sente calor.

Quadro 6 - Definições das Propriedades.

Nome	Tipo de Propriedade	Data Type	Definição
CoverageArea	IfcPropertySingleValue	IfcAreaMeasure / AREAUNIT	A área que é coberta pelo sensor (normalmente medido como um círculo cujo centro está na localização do sensor).
SetPointTemperature	IfcPropertyBoundedValue	IfcThermodynamicTemperatureMeasure/ THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT LowerBound: ? UpperBound: ?	O valor da temperatura a ser medido. Usa <i>IfcPropertyBoundedValue</i> . <i>SetPointValue</i> para definir o valor do <i>set point</i> .
RateOfTemperatureRise	IfcPropertySingleValue	IfcTemperatureRateOfChangeMeasure/ TEMPERATURERATEOFCHANGE	O aumento da temperatura que deve ser percebido como sendo perigoso.

De notar que, devido à existência de termos demasiado técnicos não se procedeu à tradução de todas as palavras.

A partir deste esquema da *Pset_SensorTypeHeatSensor*, é possível definir a *Property Set* para os Sensores de Cordas Vibrantes (*Vibrating Wire Strain Gauge*) utilizados na estrutura.

Quadro 7 - Definição da *Property Set*.

Nome da PropertySet	<i>Pset_SensorTypeVibratingWireSensor</i>
Entidades Aplicáveis	IfcSensorType
Tipo de Valor Aplicável	IfcSensorType/VIBRATINGWIRESSENSOR
Definição	Definição: Um dispositivo que detecta vibrações para o cálculo de extensões.

Quadro 8 - Definição das Propriedades.

Nome	Tipo de Propriedade	Data Type	Definição
SetPointFrequency	IfcPropertyListValue	IfcFrequencyMeasure/ FREQUENCYUNIT	O valor da frequência de vibração a ser detectado. Usa <i>IfcPropertyBoundedValue</i> . <i>SetPointValue</i> para definir o valor do set point.
SetPointTemperature	IfcPropertyListValue	IfcThermodynamicTemperatureMeasure/ THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT	O valor de temperatura a ser medido. Usa <i>IfcPropertyBoundedValue</i> . <i>SetPointValue</i> para definir o valor do set point.
SetDateTime	IfcPropertyListValue	IfcDateTime	A data e hora relativa a cada valor medido.
SetRelations	IfcLabel	IfcText	Relação entre o sensor e o elemento construtivo em estudo.

Define-se a *Property Set* do Sensor de Cordas Vibrantes de acordo com a frequência de vibração, uma vez que este sensor permite medir a frequência de vibração em cada medição. Além deste parâmetro o sensor regista a temperatura verificada na altura da medição, já que os Sensores de Cordas Vibrantes têm um factor de correcção afecto à temperatura. Desta forma é possível calcular os valores da extensão o mais correctamente possível. Como o sensor está ligado a um sistema de aquisição, este regista igualmente a data e hora da medição.

Assim sendo, os dados que o sistema de aquisição mostra são os seguintes:

Quadro 9 - Dados obtidos através do Sistema de Aquisição.

Data e Hora	Sfreq	Stemp
2006-12-28 10:45:51	766,64	8,57
2006-12-28 10:45:52	766,78	8,58
2006-12-28 10:45:53	766,67	8,58
2006-12-28 10:45:54	766,78	8,58
2006-12-28 10:45:55	766,80	8,59
2006-12-28 10:45:56	766,70	8,59
2006-12-28 10:45:57	766,69	8,59
2006-12-28 10:45:58	766,70	8,59

Definida a *Property Set*, há agora que a adicionar a cada um dos sensores existentes na nossa estrutura, de maneira a ser preenchida com os valores provenientes dos resultados da monitorização.

Estudando o sistema de criação de *Property Sets* existente no *software* ArchiCAD, denota-se que há quatro tipos de propriedades principais. Elas são as *IfcBoolean*, *IfcInteger*, *IfcReal* e *IfcLabel*. Há

ainda a possibilidade de escolher mais tipos de propriedades de uma lista com um considerável número.

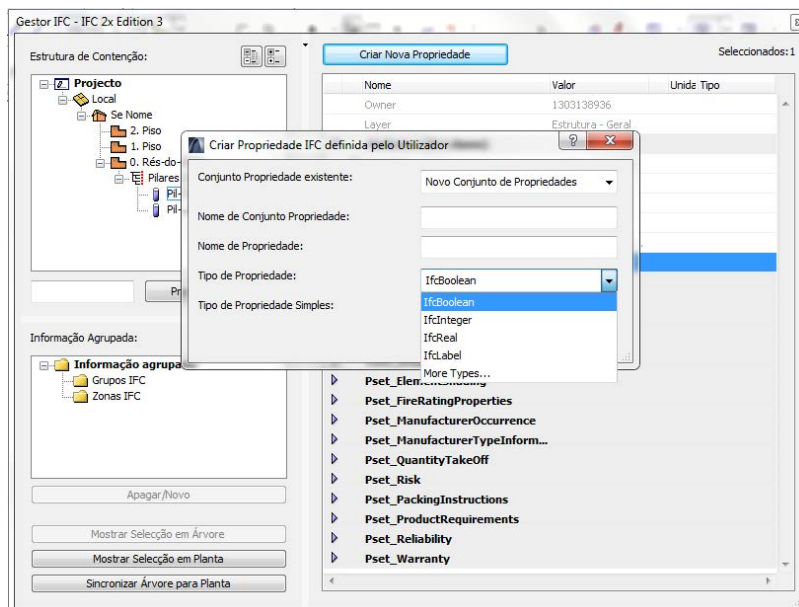


Figura 45 - Tipos de Propriedades no Modelo IFC.

Torna-se essencial definir cada uma dessas propriedades, de forma a saber-se qual é o melhor enquadramento para o modelo em estudo. *IfcBoolean* é um tipo de dados definido a partir de dados simples do tipo *Boolean*. Um tipo *boolean* pode ter um valor verdadeiro ou falso. *IfcInteger* é um tipo definido de dados simples tipo *Integer* (inteiro). Em princípio, o domínio da *IfcInteger* (sendo um inteiro) é o conjunto de todos os números inteiros. *IfcReal* é um tipo definido de dados simples do tipo *Real*. Em princípio, o domínio da *IfcReal* (sendo um *Real*) é constituído por todos os números racionais, irracionais e científico reais. *IfcLabel* corresponde às etiquetas dos objectos. Uma etiqueta é o termo pelo qual algo pode ser referido. É uma sequência que representa o nome de algo pelo qual é interpretado e deve ter um sentido de linguagem natural. Como uma palavra legível para fins de nomeação, a etiqueta costuma ser especificada pelo ser humano e depende do local e do objecto a que diz respeito. Note-se que, enquanto *IfcLabel* é restrito a 255 caracteres, o tamanho de troca de arquivos após a codificação pode ser consideravelmente maior do que 255 octetos, dependendo da codificação específica e do conteúdo do rótulo (IAI 2011).

O Tipo de Propriedade da *Property Set* estabelece-se como sendo *IfcPropertyListValue*, uma vez que este define uma propriedade que tem vários valores atribuídos (numéricos ou descritivos), ficando estes valores dados por uma lista ordenada. Um *IfcPropertyListValue* é uma lista de valores em que a ordem em que aparecem os valores é significativa.

O tipo de dados que resultam da monitorização realizada enquadra-se no domínio dos números reais, sendo então utilizada a propriedade *IfcReal* na criação da *Property Set* dos sensores. Com o nome desta e o nome das propriedades que a integram, preenche-se os campos relativos a cada um e repete-se o processo para todos os sensores existentes no modelo. O aspecto do formulário de criação de *Property Set* é o ilustrado na Figura 46.

Criar Propriedade IFC definida pelo Utilizador

Conjunto Propriedade existente: Pset_SensorType...ingWireSensor

Nome de Conjunto Propriedade: Pset_SensorTypeVibratingWireSensor

Nome de Propriedade: SetPointFrequency

Tipo de Propriedade: IfcReal

Tipo de Propriedade Simples: Valor Lista

Cancelar OK

Figura 46 - Formulário para a criação de *Property Set*.

Para a criação das restantes propriedades, basta voltar ao formulário, seleccionar a *Property Set* que foi criada e mudar o campo correspondente ao Nome da Propriedade. O resultado final será então o seguinte.

Gestor IFC - IFC 2x Edition 3

Estrutura de Contenção:

- Pilares (44)
- Portas (3)
- Substitutos de Elemento
 - IfcBuildingElementPro
 - EPA 5.0
 - IfcBuildingElementPro
 - IfcBuildingElementPro
 - IfcBuildingElementPro
 - IfcBuildingElementPro
 - IfcBuildingElementPro

Procurar por GUID

Informação Agrupada:

- Informação agrupada
 - Grupos IFC
 - Zonas IFC

Apagar/Novo

Mostrar Selecção em Árvore

Mostrar Selecção em Planta

Sincronizar Árvore para Planta

Criar Nova Propriedade

Seleccionados: 1

Nome	Valor	Unida	Tipo
Owner	Não definido-130...		
Layer	Sensores		
Atributos (IfcBuildingElementP...			
☒ SetPointFrequency			IfcPropertyListV
☒ SetPointTemperature			IfcPropertyListV
☒ SetRelations	P1		IfcLabel
☒ SetDateTime			IfcPropertyListV
Pset_BuildingElementProxyCo...			
Pset_ConcreteElementGeneral			
Pset_ConcreteElementQuantit...			
Pset_PrecastConcreteElement...			
Pset_Draughting			
Pset_ElementShading			
Pset_FireRatingProperties			
Pset_ManufacturerOccurrence			
Pset_ManufacturerTypeInform...			
Pset_QuantityTakeOff			
Pset_Risk			
Pset_PackingInstructions			
Pset_ProductRequirements			
Pset_Reliability			
Pset_Warranty			

Figura 47 - Visualização das *Property Sets*.

Resta agora a introdução dos dados nos locais correspondentes. De modo a entender-se o método de funcionamento da *Property Set*, vamos começar por introduzir quatro linhas em cada uma das propriedades com os valores [1, 2, 3, 4]. O aspecto da *Property Set*, para este caso, é o seguinte:

Quadro 10 - *Property Set* em linguagem IFC.

```
#293487= IFCPROPERTYSET('1eawGquEXFFR454SdvjcKK',#13,
'Pset_SensorTypeVibratingWireSensor',$,(#293492,#293496,#293500,#293504));

#293492= IFCPROPERTYLISTVALUE(
'SetPointFrequency',$,(IFCREAL(1.),IFCREAL(2.),IFCREAL(3.),IFCREAL(4.)),);

#293496= IFCPROPERTYLISTVALUE
('SetPointTemperature',$,(IFCREAL(1.),IFCREAL(2.),IFCREAL(3.),IFCREAL(4.)),);

#293500= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SetRelations',$,IFCLABEL('P1'),);

#293504= IFCPROPERTYLISTVALUE('SetDateTime',$,(IFCLABEL('1'),IFCLABEL('2')
,(IFCLABEL('3'),IFCLABEL('4'))),);
```

Verifica-se que a *Property Set* é constituída por quatro linhas. A primeira corresponde à sua identificação e faz referência às linhas correspondentes às propriedades que a compõem. As restantes três linhas definem as propriedades da *Property Set*. Cada uma delas contém a lista de valores que foi introduzida, neste caso [1, 2, 3, 4]. Para os valores da frequência e da temperatura são usados números reais, enquanto para o tempo é utilizada a função de texto existente no modelo IFC.

Para a introdução de data e hora introduz-se uma propriedade com o nome *SetDateTime*. Foi formatada como sendo uma lista de valores preenchida por elementos de texto. Assim é possível registar a data e a hora de cada medição com o mesmo formato que nos é dado pelo sistema de aquisição e permite a existência de um registo semelhante ao do sistema de aquisição, no modelo IFC proposto.

Para se conhecer que sensor é referido a cada elemento introduz-se a propriedade *SetRelations*. É uma propriedade de valor único que é preenchida em formato de texto com o nome do elemento igual ao que está na planta do edifício. Desta forma, é possível existir uma identificação mais precisa do elemento em estudo ao ser efectuada a consulta dos dados.

O próximo passo consiste no acrescento de valores à lista de cada propriedade e confirmar se esta é lida nos *softwares*. Acrescentando no Bloco de Notas valores a cada uma das listas e abrindo o modelo no Solibri Model Viewer, verifica-se que este método é viável e há transporte de informação relativa aos sensores do modelo proposto.

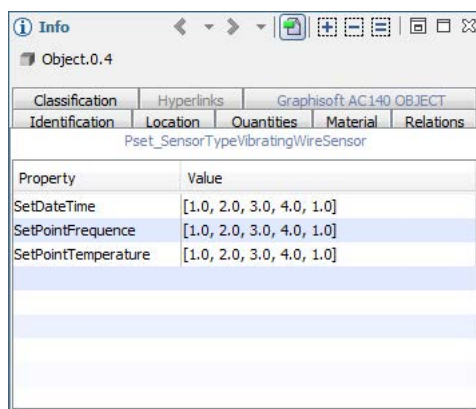


Figura 48 - Visualização das informações alteradas através do Solibri Model Viewer.

Como se pode ver na imagem, em todas as linhas foi acrescentado o valor [1.0] no final da lista, valor esse que foi introduzido no documento de texto. A *Property Set* actualizada com este valor fica então da seguinte forma:

Quadro 11 - *Property Set* em linguagem IFC com alterações.

```
#293487= IFCPROPERTYSET('1eawGquEXFFR45SdvjcKK',#13,
'Pset_SensorTypeVibratingWireSensor',$(#293492,#293496,#293500,#293504));
#293492= IFCPROPERTYLISTVALUE(
'SetPointFrequency',$(IFCREAL(1.),IFCREAL(2.),IFCREAL(3.),IFCREAL(4.),(IFCREAL(1.)),
$
);
#293496= IFCPROPERTYLISTVALUE
('SetPointTemperature',$(IFCREAL(1.),IFCREAL(2.),IFCREAL(3.),IFCREAL(4.),(IFCREAL(1.
)),
$);
#293500= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SetRelations',$,IFCLABEL('P1'),$);
#293504= IFCPROPERTYLISTVALUE('SetDateTime',$(IFCLABEL('1'),IFCLABEL('2')
,(IFCLABEL('3'),IFCLABEL('4'),(IFCREAL(1.)),
$);
```

Experimentou-se, de seguida, abrir o modelo no ArchiCAD para confirmarmos a solidez da portabilidade do modelo. Verificou-se que a lista de valores aparece com os valores acrescentados, tal como se verifica na Figura 49.

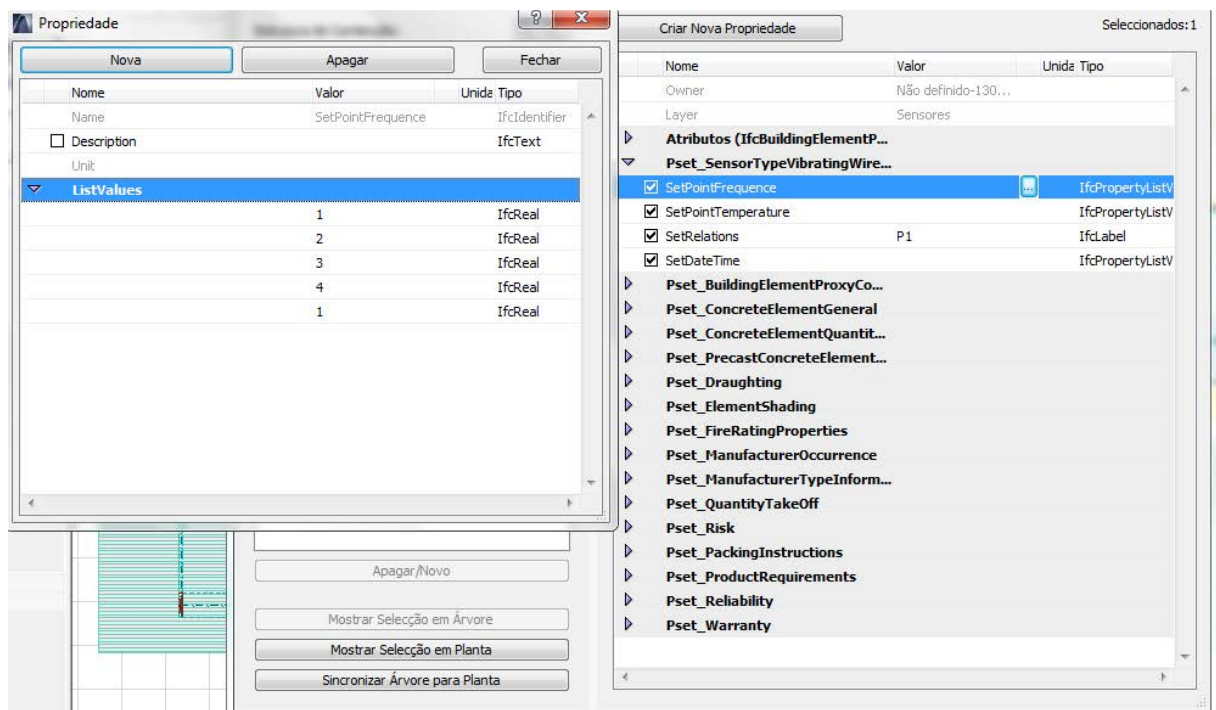


Figura 49 - Visualização das propriedades alteradas através do ArchiCAD.

Pode-se desta forma dizer que é viável a introdução da lista de valores dos sensores no Bloco de Notas, no devido formato do documento, uma vez que estes são mantidos e abertos de forma organizada e pretendida nos diversos *softwares*.

Atestada a viabilidade da *PropertySet*, vamos proceder ao seu preenchimento com os resultados reais dos sensores (Figura 50). A sua introdução terá que ser efectuada a partir do documento de texto, uma vez que se for através do ArchiCAD, o programa organiza os valores da lista por ordem crescente, o que implica uma alteração da ordem dos dados, bem como a eliminação de alguns valores que estejam repetidos.

```
#293102),#1299);
#293442= IFCCARTESIANTRANSFORMATIONOPERATOR3D($,$,#40,1.,$);
#293445= IFCMAAPPEDITEM(#291231,#293442);
#293448= IFCSHAPE REPRESENTATION(#51,'Body','MappedRepresentation',(
#293445));
#293454= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#293448));
#293458= IFCCARTESIANPOINT((30688.624,-26170.467,-300.));
#293462= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#293458,#36,#28);
#293465= IFCLOCALPLACEMENT(#160005,#293462);
#293468= IFCBUILDINGELEMENTPROXY('1gnGxxzb7jBQU8TFLS6rG',#13,'EPA 5.0',
$,$,#293465,#293454,'6AC5087B-8E5A-47B4-B6-9E-21D3D5706D50',.ELEMENT.);
#293487= IFCPROPERTYSET('1eawGquEXFFR454SdvjckK',#13,
'Pset_SensorTypeVibratingwireSensor',$,(#293492,#293496,#293500,#293504)
);
#293492= IFCPROPERTYLISTVALUE('SetPointFrequency',$,(IFCREAL(766.64),
IFCREAL(766.78),IFCREAL(766.67),IFCREAL(766.78),IFCREAL(766.80),IFCREAL(
766.70),IFCREAL(766.69),IFCREAL(766.7),IFCREAL(766.77),IFCREAL(766.69),
IFCREAL(766.7),IFCREAL(766.77),IFCREAL(766.69),IFCREAL(766.72),IFCREAL(
766.61),IFCREAL(766.69),IFCREAL(766.59),IFCREAL(766.67),IFCREAL(766.8),
IFCREAL(766.7),IFCREAL(766.72),IFCREAL(766.72),IFCREAL(766.81),IFCREAL(
766.69),IFCREAL(766.69),IFCREAL(766.64),IFCREAL(766.67),IFCREAL(766.84),
IFCREAL(766.66)),));
#293496= IFCPROPERTYLISTVALUE('SetPointTemperature',$,(IFCREAL(8.57),
IFCREAL(8.58),IFCREAL(8.58),IFCREAL(8.58),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(
8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(
8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(
8.58),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59),IFCREAL(8.59)),));
#293500= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SetRelations',$,IFCLABEL('PD5.0'),$);
#293504= IFCPROPERTYLISTVALUE('SetDateTime',$,(IFCLABEL(
'28-12-2006 10:45:51'),IFCLABEL('28-12-2006 10:45:52'),IFCLABEL('28-12-2006
10:45:53'),IFCLABEL('28-12-2006 10:45:54'),IFCLABEL('28-12-2006
10:45:55'),IFCLABEL('28-12-2006 10:45:56'),IFCLABEL('28-12-2006
10:45:57'),IFCLABEL('28-12-2006 10:45:58'),IFCLABEL('28-12-2006
10:45:59'),IFCLABEL('28-12-2006 10:46:00'),IFCLABEL('28-12-2006
10:46:01'),IFCLABEL('28-12-2006 10:46:02'),IFCLABEL('28-12-2006
10:46:03'),IFCLABEL('28-12-2006 10:46:04'),IFCLABEL('28-12-2006
10:46:05'),IFCLABEL('28-12-2006 10:46:06'),IFCLABEL('28-12-2006
10:46:07'),IFCLABEL('28-12-2006 10:46:08'),IFCLABEL('28-12-2006
10:46:09'),IFCLABEL('28-12-2006 10:46:10'),IFCLABEL('28-12-2006
10:46:11'),IFCLABEL('28-12-2006 10:46:12'),IFCLABEL('28-12-2006
10:46:13'),IFCLABEL('28-12-2006 10:46:14'),IFCLABEL('28-12-2006
10:46:15'),IFCLABEL('28-12-2006 10:46:16')),));
#293511= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('3xtaqXBAL06wspCXvJ0Bar',#13,$,$,(
#293468),#293487);
#293513= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ArchiCAD_GUID',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'6AC5087B-8E5A-47B4-B6-9E-21D3D5706D50'),$);
#293517= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LAYERNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'sensores'),$);
#293521= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('INFO',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE('EPA 5.0'
),$);
```

Figura 50 - Preenchimento da *Property Set* pelo Bloco de Notas.

Depois da introdução dos dados reais num dos sensores, abriu-se o Solibri Model Viewer para se confirmar a consistência dos mesmos. O resultado obtido foi o ilustrado na Figura 51.

Info

Object.0.5

Identification	Location	Quantities	Material	Relations	Classification
Hyperlinks	Graphisoft AC140 OBJECT		Pset_SensorTypeVibratingWireSensor		

Property	Value
SetDateTime	[28-12-2006 10:45:51, 28-12-2006 10:45:52, 28-12-2006 10:45:53, 28-12-2006 10:45:54, 28-12-2006 10:45:55, 2...
SetPointFrequency	[766.64, 766.78, 766.67, 766.78, 766.8, 766.7, 766.69, 766.7, 766.77, 766.69, 766.7, 766.77, 766.69, 766.72, 766....
SetPointTemperature	[8.57, 8.58, 8.58, 8.58, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59...
SetRelations	PD5.0

Figura 51 - Resultado final da *Property Set* criada.

Como se pode ver pela análise da Figura 51, os dados obtidos no ensaio são guardados de forma consistente na *PropertySet* criada para o efeito. A ordem dos dados é mantida e não é apagado nem perdido nenhum valor.

Poderia ser adicionado um valor de alarme no modelo de acordo com as instruções do Engenheiro de Estruturas. Este procedimento serviria para automatizar e tornar mais precisa a análise de resultados. Contudo esse processo já se encontra fora do âmbito do presente trabalho.

Depois do preenchimento total da *Property Set* do sensor com os dados provenientes da monitorização estrutural do edifício do INEGI, pode-se verificar que a informação é transportada pelo modelo e se encontra de acordo com os dados provenientes do sistema de aquisição. Trata-se de uma lista com os dados em bruto e sem qualquer tipo de formatação.

Para se perceber a utilidade do modelo proposto e aqui testado, mostra-se na Figura 52, que seleccionando o sensor no desenho tridimensional (assinalado a verde dentro de um círculo), aparecem nas informações do sensor as suas características e os seus registos de medições efectuados através da *Property Set* criada. Este facto atesta a viabilidade e utilidade do modelo.

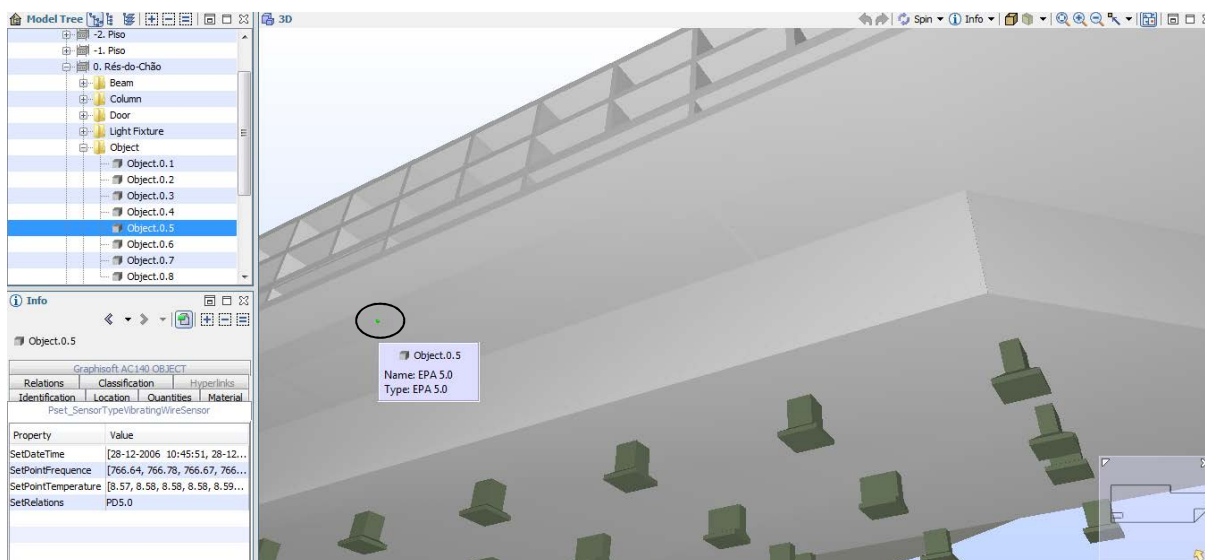


Figura 52 - Visualização da informação do sensor através da selecção do mesmo no modelo tridimensional.

Posto isto, procede-se ao preenchimento de todos os dados disponíveis em todos os sensores, da mesma forma que foi realizada para este, para se concluir o modelo.

Com o modelo finalizado pode-se passa-lo para o programa de análise estrutural, neste caso o Autodesk Robot. Este não está preparado para receber dados referentes a monitorização estrutural, sendo que por esse motivo não é possível a visualização dos sensores e dos resultados neles embutidos. Para se efectuar uma análise torna-se necessário analisar os dados e convertê-los em deslocamentos ou forças com resultado equivalente ao verificado na monitorização estrutural.

Fazendo a conversão do ficheiro IFC para o Autodesk Robot há um número considerável de nós que apresentam instabilidade. Passando para o método dos elementos finitos o modelo fica da seguinte forma:

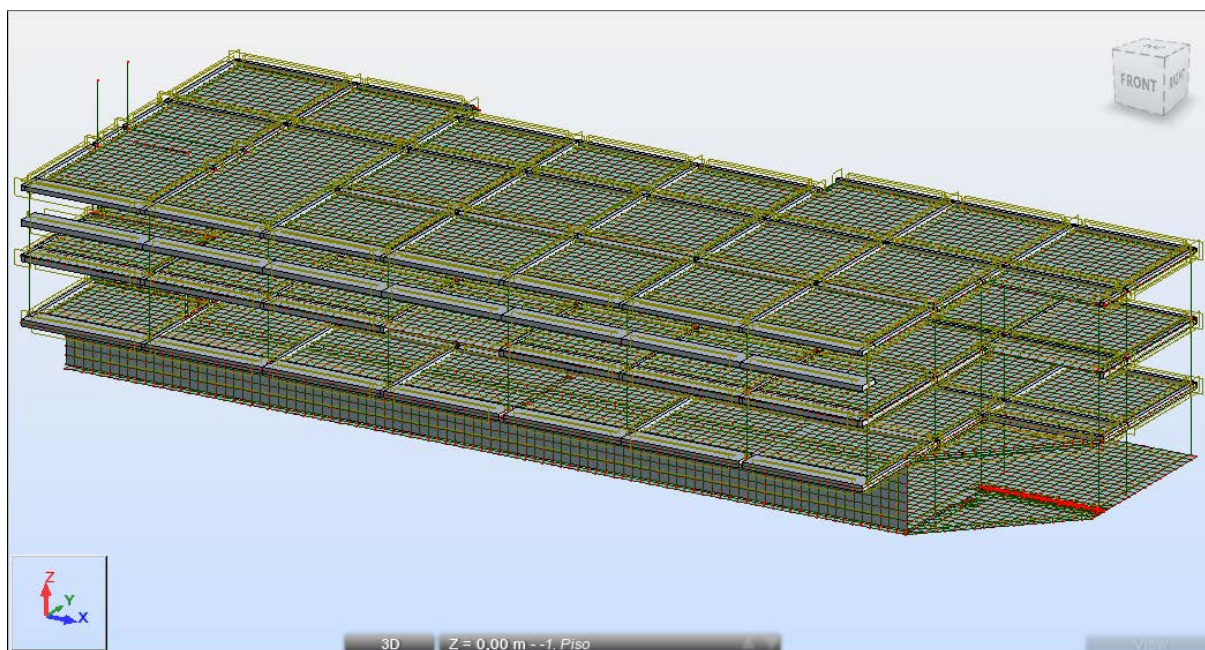


Figura 53 - Método dos Elementos Finitos no Autodesk Robot.

De forma a se efectuar uma simples análise estrutural no Autodesk Robot, seleccionou-se um pórtico resultante do modelo e, estudou-se essa parte da estrutura. Essa análise pode ser visualizada na Figura 54.

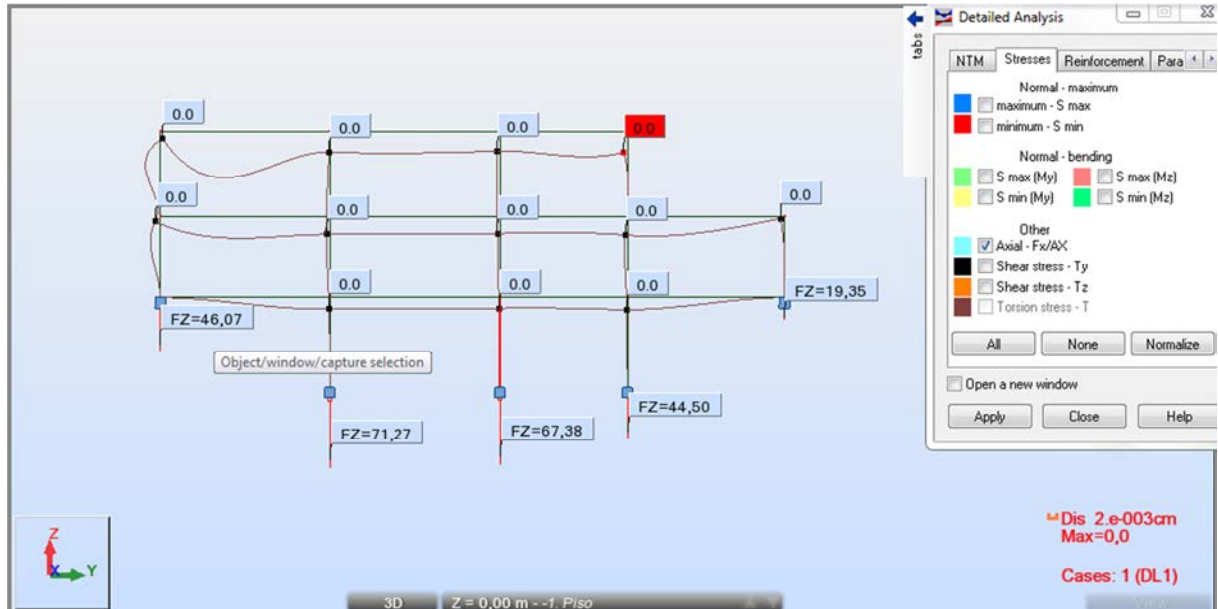


Figura 54 - Pequena análise estrutural no Autodesk Robot.

Na Figura 54, pode-se ver a deformada da estrutura resultante do peso próprio da mesma, bem como as suas reacções nos apoios. Esta análise permite afirmar que a introdução de dados relativos à monitorização estrutural tem dois interesses nesta área: permite uma visualização do que está a acontecer na estrutura e actuar em conformidade e possibilita uma comparação dos resultados teóricos com os resultados obtidos na realidade, viabilizando uma análise dentro do ramo estrutural.

Mostra-se ainda a título de exemplo, um cálculo efectuado pelo *software* para os momentos da direcção “xx”.

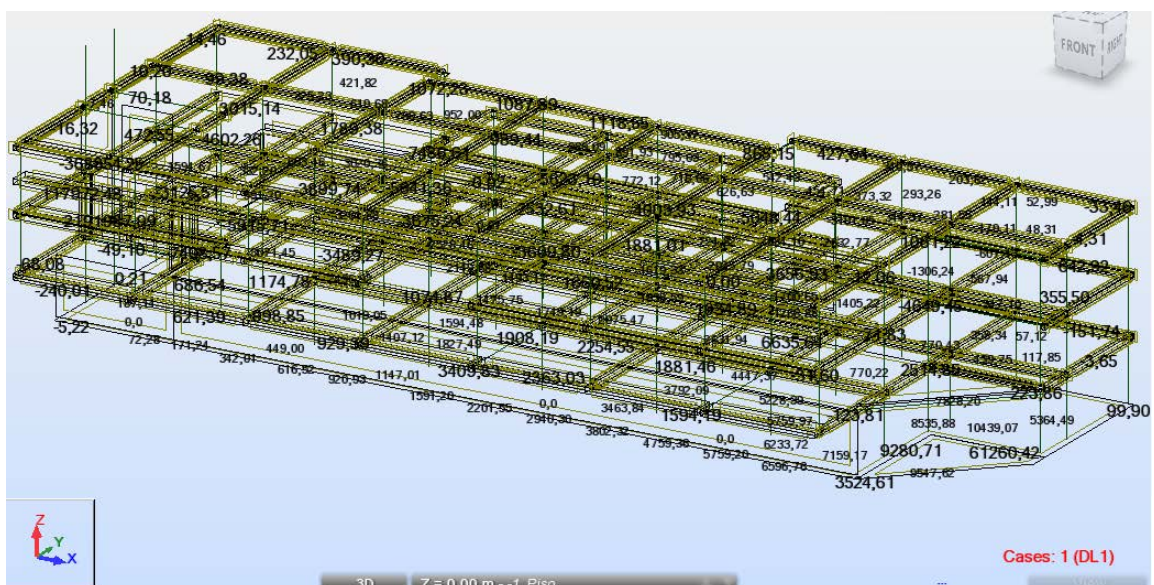


Figura 55 - Cálculo dos momentos em “xx” através dos elementos finitos.

O Autodesk Robot não permite exportar o modelo para o formato IFC. Uma maneira de continuar o ciclo seria a passagem do modelo para um *software* que utilizasse a mesma linguagem proprietária do Autodesk Robot. Esse *software* poderá ser o módulo Autodesk Revit Structures, que além de utilizar a linguagem proprietária do Autodesk Robot é BIM compatível. Este facto carece, no entanto, de verificação prática.

Para finalizar o estudo, decidiu-se verificar a interoperabilidade utilizando uma outra ferramenta BIM compatível, neste caso o Google SketchUp. O resultado obtido foi o seguinte:

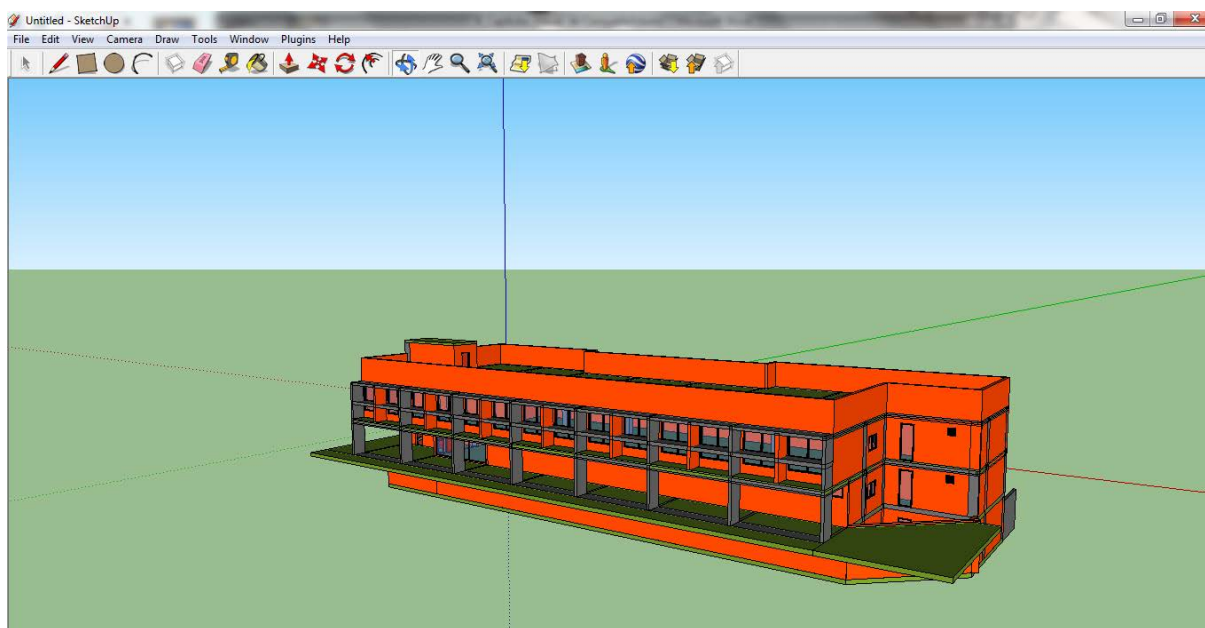


Figura 56 - Visualização do Modelo através do Google SketchUp.

Tal como se verifica, o modelo é lido correctamente. Nota-se que a renderização não é a ideal, mas para tal há *softwares* mais apropriados. A informação dos elementos é transferida com o modelo, embora as *Property Sets* criadas não sejam passíveis de leitura, uma vez que o modelo IFC disponível para a ferramenta é uma aplicação externa e por isso bastante limitada.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste capítulo avaliou-se a possibilidade de ser adicionada informação proveniente da monitorização estrutural aos sistemas de informação. Este caso de estudo permitiu tomar contacto com os BIM e com o tema da instrumentação e monitorização segundo uma lógica de abordagem diferente, onde a inexistência de propriedades *standard* para o efeito pretendido se traduz num aumento da dificuldade de armazenamento e transporte das informações.

Debateram-se técnicas de elaboração de propriedades de forma a se encontrar, dentro das possibilidades actuais apresentadas pelos *softwares* disponíveis, a melhor maneira de se criar novas *Property Sets* compatíveis com as propriedades existentes e que fossem de encontro ao tema abordado. Foi possível verificar a interoperabilidade entre os diferentes programas, com e sem a *Property Set* criada.

Foram utilizados diversos programas BIM compatíveis, bem como visualizadores de IFC para a análise do modelo convertido para esse formato. Os modelos exportados e posteriormente importados, foram comparados entre eles, procurando-se não conformidades. Os resultados demonstram que

ocorrem perdas na qualidade dos dados gerados no formato IFC aquando da importação. Este facto era já esperado, uma vez que tem sido motivo de atenção em vários estudos anteriormente realizados acerca da interoperabilidade entre aplicações BIM. Citando (Sousa et al. 2011), *“enquanto formato para troca de dados entre aplicações BIM, ..., o comportamento do modelo apresenta algumas lacunas pois encontra-se sujeito às restrições impostas pelas especificidades dos formatos proprietários exclusivos das diferentes aplicações comerciais BIM, pelo que, funcionalidades específicas de uma aplicação BIM em particular não serão exportadas para IFC, condicionando à partida a integridade e consistência da informação original.”*, pode-se verificar este facto. As ferramentas BIM voltadas para a arquitectura apresentam limitações na descrição das propriedades das partes do edifício. Existem ainda não conformidades de padrão na definição das propriedades dos componentes apresentados por diferentes *softwares* BIM. Foram ainda encontradas falhas na troca de informação do edifício por meio do formato IFC, o que demonstra que a interoperabilidade ainda necessita de largas melhorias.

Concluiu-se que a criação de propriedades é um trabalho complexo e que exige muitos cuidados ao longo da sua elaboração. É necessário um estudo aprofundado das propriedades existentes de forma a se criarem propriedades idênticas e que sejam compatíveis com o modelo *standard*. É possível a criação de propriedades que permitam o armazenamento e transferência de dados relativos à monitorização estrutural, sendo que é um processo ainda moroso mas com enorme capacidade de progressão, inclusive para a criação de automatizações do modelo.

Neste estudo de caso demonstra-se o potencial de construção de modelos de informação para apoiar a análise estrutural ao longo do ciclo de vida do edifício.

5

CONCLUSÃO

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principal objectivo analisar as potencialidades dos BIM na gestão de informação proveniente da monitorização estrutural. Urge a importância da reflexão e o estudo de novos modelos de análise estrutural englobados em sistemas de informação, tendo como finalidade contribuir para uma eficaz avaliação do estado das estruturas ao mesmo tempo que se integram os dados em conjunto com a globalidade do projecto.

No mundo da construção, seria ideal existir uma capacidade de troca de informações sobre os modelos de construção entre os vários intervenientes de forma contínua, uma vez que uma parte significativa dos desperdícios são resultantes de fluxos de informação pouco operacionais, bem como da consequente existência de várias versões de trabalho. Para resolver tal disfuncionalidade, pode-se recorrer a ferramentas de enorme potencialidade como os BIM. Estas ferramentas têm tido um rápido desenvolvimento, aumentando as suas possibilidades de gestão de informação. Este modelo assenta na ideia de integrar toda a informação relacionada com um edifício ou projecto num único modelo digital. A sua implementação tem vindo a crescer e os seus benefícios tornaram-se mais evidentes, com vantagens extensíveis à totalidade do processo construtivo, tendo maior impacto na fase de projecto. No entanto, os BIM requerem um enorme esforço para serem implementados e nem todas as empresas ou utilizadores têm capacidade para tal.

Para a existência de interoperabilidade entre as ferramentas BIM e os diversos utilizadores, é utilizado um modelo padrão de construção, com a utilização de uma linguagem comum. Este modelo é denominado por IFC. Se os conteúdos definidos no projecto forem demasiado específicos e os detalhes definidos para cada caso, o modelo é flexível e deixa espaço para poder ser preenchido pelos utilizadores. A definição e adopção de um *standard* de troca de informação é um processo lento e trabalhoso. Foram necessários alguns anos para a definição de um conjunto de classes IFC suficientemente amplas e estáveis, que se constituíram como uma opção válida para a troca de informação. Este modelo foi adoptado em programas muito utilizados, tanto para importar como para exportar os seus modelos tridimensionais, o que permite considerá-lo como um *standard* suficientemente assente e aceite no mercado, tendo possibilidade de constituir uma aposta segura para troca de informações entre aplicações. Os elevados custos de desenvolvimentos que são necessários para implementar as classes e modelos de informação IFC, obrigaram a estabelecer-se com prudência estratégias de desenvolvimento.

Neste contexto, e tendo presente a necessidade de avaliar o comportamento das estruturas após a sua construção e durante a sua fase de exploração, pretendeu-se avaliar as potencialidades dos BIM para gerir a informação decorrente de tais sistemas de monitorização estrutural. Estes sistemas são vistos como ferramentas de optimização e gestão no apoio ao processo de tomada de decisão, no que a

programas de manutenção, reabilitação ou reforço dizem respeito. Têm ganho uma vertente de desenvolvimento económico em países onde tem havido um crescimento de novas necessidades, despertadas por sociedades cada vez mais desenvolvidas e com necessidades mais exigentes relativamente à utilização das infraestruturas de engenharia civil.

Apesar do crescente desenvolvimento e actualização do modelo padrão para a construção, considera-se ser importante a sua complementaridade com modelos parciais que possam intervir na resolução de problemas específicos dos utilizadores, mas que tenham capacidade de se integrarem no modelo global de forma a promover a interoperabilidade entre sistemas e a comunicação entre intervenientes.

É neste sentido que se enquadra a presente dissertação. Apresentou-se um modelo de extensão do IFC, de acordo com o modelo existente até à data. Tentou-se enquadrar a lista de sensores mais correntemente utilizada na monitorização estrutural (sensores cinemáticos) no actual modelo IFC, uma vez que este já possui uma lista de sensores ambientais. Para tal, foi necessário explorar a criação de diversas propriedades inerentes ao IFC e que se enquadrassem na monitorização estrutural e especificamente em cada sensor. Chegar a uma proposta, ainda que de âmbito muito específico, de extensão do modelo IFC, implica um estudo amplo e bastante aprofundado.

Deste estudo foram retiradas diversas conclusões. É possível integrar nos BIM os dados provenientes da monitorização estrutural, embora esse processo seja efectuado de forma bastante rudimentar, mas com grandes possibilidades e margem de progressão. Foram utilizados diversos programas BIM compatíveis, bem como visualizadores de IFC para a análise do modelo convertido para esse formato. Os modelos exportados e posteriormente importados foram comparados entre eles, procurando-se não conformidades. Os resultados demonstram que ocorrem perdas de informação nos dados gerados no formato IFC quando são importados. As ferramentas BIM voltadas para a arquitectura apresentam limitações na descrição das propriedades das partes do edifício. Existem ainda não conformidades na definição das propriedades dos componentes apresentados por diferentes *softwares* BIM. Por fim foram ainda encontradas falhas na troca de informação entre aplicações por meio do formato IFC, o que demonstra que a interoperabilidade ainda necessita de largas melhorias. Apesar de tudo isto, verificou-se a viabilidade e relevância da integração da monitorização estrutural com os BIM, sendo que poderá ser possível um acompanhamento mais adequado e em tempo real dos edifícios em serviço.

A definição de um modelo robusto não garante o sucesso para as trocas de informações na construção, a menos que os elementos que compõem o modelo sejam definidos pelos utilizadores da maneira esperada pelo sistema de tradução baseado em objectos. A qualidade de tradução depende, em larga medida, das pessoas que participam na elaboração do modelo, isto é, de factores humanos.

Apesar do modelo IFC estar já com uma ampla difusão e com actualizações constantes, verifica-se que a sua utilização não está desprovida de lacunas. Há diversos problemas de interoperabilidade apurados que são devidos principalmente a:

- a) Cobertura incompleta do modelo ou formato – Foi verificado que o modelo, apesar de ser bastante amplo, não consegue abranger todas as especificações da construção, uma vez que esta é uma área muito vasta;
- b) Problemas de tradução – Os tradutores existentes apresentam ainda algumas limitações. Estes tendem a associar os elementos em diferentes bases de dados, estando por isso sujeitos a erros e falhas, afectando a interoperabilidade entre programas;
- c) Erros de *software* – Os *softwares* apresentam alguns erros de visualização e tradução dos elementos. Este factor pode condicionar a elaboração de algumas partes do projecto e pode até levar à duplicação de elementos;

- d) Problemas no domínio das aplicações BIM – A falta de suporte para determinados objectos ou funcionalidades leva à incapacidade de leitura e acesso aos dados ou até mesmo ao objecto. Este factor é de particular relevância, pois condiciona bastante os fluxos de informação e a definição de novas propriedades. Este problema é de difícil resolução, uma vez que depende das diversas entidades concorrentes no mercado.

Um bom suporte para a interoperabilidade permitirá uma maior eficiência, não só na troca de informações, mas também na utilização racional das ferramentas informáticas de apoio às tarefas relativas ao ciclo de vida de um edifício.

Em suma, as principais conclusões retiradas são as seguintes:

- a) É possível, viável e interessante a introdução de informação obtida através da instrumentação de estruturas num modelo BIM, pois permite analisar em tempo real o que está a acontecer e prevenir eventuais problemas;
- b) A definição de um modelo robusto não garante o sucesso para as trocas de informações na construção, a menos que os elementos que compõem o modelo sejam definidos pelos utilizadores da maneira esperada pelo sistema de tradução baseado em objectos;
- c) Os modelos padrão devem ser complementados por modelos parciais de âmbito mais específico, que se propõem a resolver problemas específicos na área da construção;
- d) O modelo IFC é um suporte adequado para a interoperabilidade, embora ainda necessite de ser complementado para o caso específico em estudo. Para tal, contribui o facto de ser um modelo *standard*, universal e bem aceite pela comunidade. No entanto, necessita de ser complementado, pois a área da construção é muito vasta e o IFC não consegue abrangê-la por completo. A inexistência de outros formatos padrão com um âmbito tão alargado como o IFC, leva a crer que esta poderá ser a forma mais viável de abordar este processo;
- e) Poderá ser útil complementar a informação do modelo IFC com uma estrutura paralela (base de dados SQL ou noutro formato), uma vez que esta permite organizar a informação proveniente da monitorização estrutural e partilhá-la com o modelo IFC. A base de dados pode ser mais ou menos abrangente consoante a vontade do utilizador e as limitações existentes. Esta solução permite agilizar o desenvolvimento de aplicações e flexibilizar a inclusão de estruturas de dados em formatos não-standard em modelos BIM;
- f) As aplicações existentes testadas permitem avaliar a questão em estudo, embora não estejam preparadas para a tratar de forma conveniente, pois não permitem o estabelecimento de ligações explícitas entre os sensores e os elementos, bem como proceder a uma análise com os dados provenientes da monitorização. Apenas permitem o transporte dos dados, tendo estes que ser analisados manualmente ou por aplicações informáticas a desenvolver.

5.2. PERSPECTIVAS FUTURAS

Os sistemas de instrumentação e monitorização estrutural constituem ferramentas de trabalho importantes e pertinentes para a interpretação e análise do comportamento das estruturas. Contudo, a gestão e informação proveniente de tais sistemas está muito aquém das suas potencialidades e é neste sentido que os BIM podem integrar um papel fundamental.

O presente trabalho pretende dar um primeiro avanço e uma visão global desta possibilidade de partilha de informação, deixando em aberto a possibilidade de desenvolvimentos futuros. Para tal, é essencial uma ampliação do modelo IFC de acordo com as propostas apresentadas. Seria de elevado interesse a automatização do processo, sendo que para tal seria necessário a elaboração de conversores

capazes de receber os dados da monitorização estrutural e escrevê-los no ficheiro IFC resultante do modelo do edifício em causa. Seria ainda relevante a correcção de determinados elementos de conversão para se poderem integrar os *softwares* de análise estrutural neste ciclo, uma vez que nenhum dos programas está preparado para receber os dados relativos aos sensores.

Considera-se também interessante a criação de uma base de dados robusta que possa servir de suporte ao modelo.

A utilização de informações por equipas multidisciplinares, verificando a forma de disponibilização dos dados nos diversos meios, pode levar a um melhor aproveitamento das informações pelas diversas equipas de trabalho, à hierarquização dos acessos, ao controlo e desenvolvimento das informações. Este facto poderá ter um interesse acrescido, devendo, no entanto, ser feito um estudo para verificar a viabilidade da aplicação ao sector da construção, uma vez que este é bastante litigioso e será de todo o interesse a limitação de acesso da informação a determinados intervenientes.

BIBLIOGRAFIA

- AIA. 2009. Interoperability Position Statement. <http://buildingsmart.org.au/aiab082297.pdf>.
- Autodesk. 2011. *Autodesk* [acedido a 28-05-2011. Disponível em <http://www.autodesk.pt/>.
- Braga, Ascensão. 1996. A Gestão da informação. http://www.ipv.pt/millenium/19_arq1.htm.
- Campilho, Aurélio Joaquim de Castro. 2000. *Instrumentação electrónica Métodos e técnicas de medição, Colecção Manual 2*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cavadas, Filipe José Moreira Guerra dos Santos. 2008. *Monitorização e análise do comportamento de pontes metálicas antigas a Ponte Eiffel*. Porto: [s. n.].
- CIMdata. 2011. *PLM* [acedido a 28-03-2011 2011]. Disponível em <http://www.cimdata.com/plm.html>.
- Dana K. Smith, Michael Tardif. 2009. *Building information modeling a strategic implementation guide for architects*. New Jersey: John Wiley and Sons Inc.
- Eastman, Chuck, Paul Teicholz, Rafael Sacks e Kathleen Liston. 2008. *BIM handbook a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. New Jersey: John Wiley and Sons Ltd.
- El-Desouki, Maha e Abdel Hady Hosny. 2005. A Framework Model for Workflow Automation in Construction Industry. In *International Workshop on Innovations in Materials and Design of Civil Infrastructure*. Cairo, Egipto.
- Farhey, Daniel. 2005. Bridge Instrumentation and Monitoring for Structural Diagnostics. *Structural Health Monitoring – An International Journal*, 301-318.
- Félix, Carlos Manuel da Silva. 2004. *Monitorização e análise do comportamento de obras de arte*. Porto: FEUP.
- Figueiredo, Elói João Faria. 2006. *Monitorização e avaliação do comportamento de obras de arte*. Porto: [s.n.].
- Fortin, Marie-Fabienne, ed. 2009. *O Processo de Investigação: Da concepção à realização*. 5ª ed. 388 vols. Loures: LUSOCIÊNCIA - Edições Técnicas e Científicas, Lda. Original edition, Décarie Éditeur Inc.
- Froese, Thomas. 2002. FUTURE DIRECTIONS FOR IFC-BASED INTEROPERABILITY. *Väino Tarandi*.

- Gequaltec. 2011. *Wiki da Construção*. FEUP [acedido a 22-03-2011 2011]. Disponível em http://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=P%C3%A1gina_principal.
- Graphisoft. 2011. *Graphisoft* [acedido a 28-05-2011. Disponível em <http://www.graphisoft.com>.
- Gudnason, Gudni. 2000. *Construction information technology 2000 taking the construction industry into the 21st century proceedings, International Conference on Construction Information Technology*. Reykjavik: Icelandic Building Research Institute.
- Harris, Joe. 2010. *Integration of BIM and Business Strategy*, Department of Civil and Environmental Engineering, McCormick School of Engineering and Applied Science, Northwestern University, Evanston, IL.
- IAI. 1999. *International Alliance of Interoperability - IFC Object Model Architecture Guide* [acedido a. Disponível em <http://www.iai-tech.org/>.
- . 2010. *buildingSMART International Limited - Industry Foundation Classes; IFC2x Edition 4* [acedido a 23-03-2011. Disponível em <http://www.iai-tech.org/>.
- . 2011. *buildingSMART International Limited - Industry Foundation Classes* [acedido a 23-03-2011 2011]. Disponível em <http://www.iai-tech.org/>.
- INEGI. 2007. *INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial* [acedido a 06-06-2011 2011]. Disponível em <http://www.inegi.up.pt/>.
- Katz, Gerald I. 2010. *Getting the Most from BIM*. KATZ & STONE, LLP [acedido a 22/02 2011]. Disponível em <http://www.constructshow.com/Assets/Content/doc/FR10%20-%20BIM%20BAM%20BOOM.pdf>.
- Khemlani, Lachmi. 2004. *The IFC Building Model: A Look Under the Hood*. <http://www.aecbytes.com/feature/2004/IFCmodel.html>.
- Lakatos, Marina de Andrade Marconi; Eva Maria. 2008. *Metodologia Científica*. 5ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. Original edition, 1982.
- Medeiros, Heloisa. 2009. *BIM - Building Information Modeling: Uma nova maneira de projetar e modelar*. FINESTRA.
- Mello, Ricardo. 2006. *As Novas Tecnologias da Informação e a Gestão Empresarial. Negócios e Gestão*, <http://negociosegestao.blogspot.com/2006/07/as-novas-tecnologias-da-informao-e.html>.
- Mendonça, Manuel Maria Aranha Furtado de. 2008. *Gestão da Qualidade e Gestão da Informação - O caso do processo de concepção e desenvolvimento de uma PME de base tecnológica*. Mestrado, Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Porto.

- Monteiro, André Giestas Cancela. 2010. AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MODELO IFC AO LICENCIAMENTO AUTOMÁTICO DE PROJECTOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO PREDIAL DE ÁGUA, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto.
- Monteiro, Ari. 2010. *Você sabe o que é BIM?* Dharma Sistemas Blog [acedido a 14/02 2011]. Disponível em <http://dharmasistemas.wordpress.com/2010/11/01/voce-sabe-o-que-e-bim-2/>.
- Mufti, Aftab. 2001. *Guidelines for structural health monitoring, Design manual 2*. Winnipeg, Manitoba: ISIS Canada Corporation.
- NewMensus. 2009. [acedido a 01-04-2011]. Disponível em <http://www.newmensus.pt/>.
- Novaes, Sérgio Salles Coelho; Celso Carlos. 2008. Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. http://www.arquitetura.eesc.usp.br/workshop08/secundarias/ANAI/Artigo_09.pdf.
- Pedro, José O. 1997. Monitoring In Structural Engineering. In *International Conference New Technologies in Structural Engineering (Cd-room)*, edited by New Applications of Computer Technologies. Lisboa.
- Picotês, António Jorge Rodrigues. 2010. Aplicação de Modelos de Informação para a construção a empreendimentos de pequena dimensão, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto.
- PLM-TechnologyGuide. 2008. *What is PLM?* [acedido a 28-03-2011 2011]. Disponível em http://plmtechnologyguide.com/site/?page_id=435.
- Poças Martins, João Pedro. 2009. Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção: Aplicação ao Licenciamento Automático de Projectos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto.
- Salman Azhar, Michael Hein e Blake Sketo. 2008. *Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges* [acedido a 24/02 2011]. Disponível em <http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2008/paper/CPGT182002008.pdf>.
- Solibri. 2011. *Solibri - The World Leader in Model Checking* [acedido a 28-05-2011]. Disponível em <http://www.solibri.com/>.
- Solihin, Wawan. 2004. Lessons learned from experience of code-checking implementation in Singapore, Success, Challenges, and Future Outlook: Buildingsmart.
- Sousa, Hipólito de, Poças Martins João, André Monteiro, Joaquim Moreira e Pedro Mêda. 2011. Projecto SIGABIM. Porto: FEUP/MOTAENGIL.
- Stackpole, Beth. 2003. Product Lifecycle Management Promises to Streamline Development, Boost Innovation. CIO: Business Technology Leadership,

[http://www.cio.com/article/31906/Product Lifecycle Management Promises to Streamline Development Boost Innovation](http://www.cio.com/article/31906/Product_Lifecycle_Management_Promises_to_Streamline_Development_Boost_Innovation).

Teresko, John. 2004. The PLM Revolution. *IndustryWeek*, <http://www.industryweek.com/CurrentArticles/Asp/articles.asp?ArticleId=1558>.

Wammen, Tal. 2010. *Part 1 - Building Information Modeling Case Study from the Marshall Space Flight Center* [acedido a 22/02 2011]. Disponível em <http://www.directionsmag.com/articles/part-1-building-information-modeling-case-study-from-the-marshall-space-fli/122356>.

Wix, Jeffrey. 2010. User Defined Property Sets. In *AEC3*, edited by Taylor Woodrow.

ANEXOS

ANEXO I

Características dos sensores existentes no IFCSENSORTYPE:

Quadro 12 - Características dos sensores existentes no IfcSensorType.

Nome do Sensor	Enumeração das características de leitura
Sensor de Condutância	SetPointConductance:
	a) Limite Inferior b) Limite Superior
Sensor de Contacto	SetPointContact:
	a) Limite Inferior b) Limite Superior
Sensor de Fogo	FireSensorSetPoint/AccuracyOfFireSensor: IfcThermodynamicTemperatureMeasure THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT
	TimeConstant: IfcTimeMeasure / TIMEUNIT
Sensor de Fluxo	SetPointFlow:
	a) Limite Inferior b) Limite Superior
Sensor de Gás	GasDetected:
	a) Monóxido de Carbono
	b) Dióxido de Carbono
	c) Gás Combustível
	d) Oxigénio
	e) Outro
	f) Desconhecido
	g) Indefinido
	SetPointConcentration:
	a) Limite Inferior b) Limite Superior
Sensor de Calor	CoverageArea
	CoverageArea: IfcAreaMeasure / AREAUNIT

	SetPointTemperature:
	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	RateOfTemperatureRise:
	IfcTemperatureRateOfChangeMeasure/ TEMPERATURERATEOFCHANGE
	SubstanceDetected:
	a) Carbonato de Cálcio
	b) Outro
Sensor de Iões	c) Desconhecido
	d) Indefinido
	SetPointConcentration:
	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	SetPointLevel:
	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
Sensor de nível	SetPointHumidity:
	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	SetPointIlluminance:
Sensor de Humidade Ambiental	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	SetPointIlluminance:
	a) Limite Inferior
Sensor de Luz	b) Limite Superior
	SetPointMoisture:
	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
Sensor de Humidade	MovementSensingType:
	a) Célula fotoelétrica
	b) Placa de Pressão
	c) Outro
Sensor de Movimento	d) Desconhecido
	e) Indefinido
	SetPointMovement:

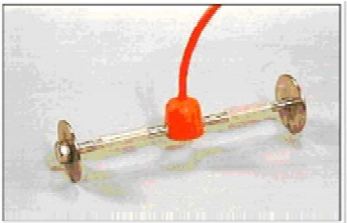
	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	SetPointPH:
Sensor de PH	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	SetPointPressure:
Sensor de Pressão	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	SetPointRadiation:
Sensor de Radiação	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	SetPointRadioactivity:
Sensor de Radioatividade	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	CoverageArea
	SetPointConcentration:
Sensor de Fumo	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	SetPointSound:
Sensor de Som	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior
	TemperatureSensorType:
	a) Limite Superior
	b) Limite Inferior
	c) Temperatura Exterior
	d) Temperatura de Funcionamento
	e) Temperatura do Compartmento
Sensor de Temperatura	f) Outro
	g) Desconhecido
	h) Indefinido
	SetPointTemperature:
	a) Limite Inferior
	b) Limite Superior

Sensor de Vento	WindSensorType:	
	a)	Taça
	b)	Moinho de Vento
	c)	Fio Quente
	d)	Laser Doppler
	e)	SONIC
	f)	Placa
	g)	Tubo
	h)	Outro
	i)	Desconhecido
	j)	Indefinido
	SetPointDirection	
	SetPointSpeed:	
	a)	Limite Inferior
	b)	Limite Superior

ANEXO II

Plantas do Edifício do INEGI:





ANEXO III

Linguagem IFC relativa à Viga-038:

```
#312529= IFCBEAM('0sTHTJzYz2NRN2VGMc2KWO',#13,'Viga-038',$,$,#312678,
#312667,'36751753-F62F-425D-B5-C2-7D05A6094818');
#312548= IFCCARTESIANPOINT((6550.,-100.,-300.));
#312552= IFCCARTESIANPOINT((6550.,-100.,0.));
#312556= IFCCARTESIANPOINT((-3.1974423E-11,-100.,0.));
#312560= IFCCARTESIANPOINT((-3.1974423E-11,-100.,-300.));
#312564= IFCCARTESIANPOINT((6550.,100.,-300.));
#312568= IFCCARTESIANPOINT((6550.,100.,0.));
#312572= IFCCARTESIANPOINT((3.1974423E-11,100.,0.));
#312576= IFCCARTESIANPOINT((3.1974423E-11,100.,-300.));
#312580= IFCPOLYLOOP((#312548,#312552,#312556,#312560));
#312584= IFCFACEOUTERBOUND(#312580,.T.);
#312587= IFCFACE((#312584));
#312591= IFCPOLYLOOP((#312548,#312564,#312568,#312552));
#312595= IFCFACEOUTERBOUND(#312591,.T.);
#312598= IFCFACE((#312595));
#312602= IFCPOLYLOOP((#312552,#312568,#312572,#312556));
#312606= IFCFACEOUTERBOUND(#312602,.T.);
#312609= IFCFACE((#312606));
#312613= IFCPOLYLOOP((#312560,#312556,#312572,#312576));
#312617= IFCFACEOUTERBOUND(#312613,.T.);
#312620= IFCFACE((#312617));
#312624= IFCPOLYLOOP((#312564,#312548,#312560,#312576));
#312628= IFCFACEOUTERBOUND(#312624,.T.);
#312631= IFCFACE((#312628));
#312635= IFCPOLYLOOP((#312568,#312564,#312576,#312572));
#312639= IFCFACEOUTERBOUND(#312635,.T.);
#312642= IFCFACE((#312639));
#312646= IFCCLOSEDSHELL((#312587,#312598,#312609,#312620,#312631,#312642
));
```

```
#312650= IFCFACETEDBREP(#312646);
#312653= IFCSURFACESTYLE('Tinta-01',.BOTH.,(#117053));
#312655= IFCPRESENTATIONSTYLEASSIGNMENT((#312653));
#312657= IFCSTYLEDITEM(#312650,(#312655),$);
#312661= IFCSHAPEREPRESENTATION(#51,'Body','Brep',(#312650));
#312667= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#312661));
#312671= IFCCARTESIANPOINT((24688.624,-26745.467,3000.));
#312675= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#312671,#36,#32);
#312678= IFCLOCALPLACEMENT(#160005,#312675);
#312681= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('1ma277CKrA8wbqCsGzU91d',#13,$,$,(
#312529),#153419);
#312683= IFCPROPERTYSET('0syKV7xC1BUubmnpjCbrb6',#13,'Pset_BeamCommon',$
,(#312688));
#312688= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LoadBearing',$,IFCBOOLEAN(.T.),$);
#312692= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('1oh9cOHWP19DrxAH31BE2',#13,$,$,(
#312529),#312683);
#312694= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ArchiCAD_GUID',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'36751753-F62F-425D-B5-C2-7D05A6094818'),$);
#312698= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LAYERNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Estrutura - Geral'),$);
#312702= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('INFO',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Viga-023'),$);
#312706= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM BEAMSTRUCTTYP',$,IFCINTEGER(0),$);
#312710= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM HOLETYPE',$,IFCINTEGER(1),$);
#312714= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM HOLECONTUREON',$,IFCINTEGER(0),$);
#312718= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM PEN',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Caneta70'),$);
#312722= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM LTYPEIND',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Tracejado 2:1'),$);
#312726= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM REFPEN',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Caneta10'),$);
#312730= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM REFLTYPE',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Tra\S\go/Ponto'),$);
```

```

#312734= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM SECTPEN',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Caneta50'),$);
#312738= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM SECTFILLPEN',$,
IFCDESCRIPTIVEMEASURE('Caneta90'),$);
#312742= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM SECTBKGPEN',$,
IFCDESCRIPTIVEMEASURE('Caneta110'),$);
#312746= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM
HOLEWIDTH',$,IFCNUMERICMEASURE(0.1
),$);
#312750= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM HOLEHEIGHT',$,IFCNUMERICMEASURE(
0.1),$);
#312754= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM HOLELEVEL',$,IFCNUMERICMEASURE(
0.15),$);
#312758= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('BEAM FILLNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Bet\S\co Estrutural'),$);
#312762= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('REFMATNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Tinta-01'),$);
#312766= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SIDEMATNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Tinta-01'),$);
#312770= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('OPPMATNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Tinta-01'),$);
#312774= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LEFTMATNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Tinta-01'),$);
#312778= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('RIGHTMATNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(
'Tinta-01'),$);
#312782= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SHOWALWAYS',$,IFCINTEGER(0),$);
#312786= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SHOWABOVE',$,IFCINTEGER(0),$);
#312790= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SHOWBELOW',$,IFCINTEGER(0),$);
#312794= IFCCOMPLEXPROPERTY('BEAM',$,'ArchiCAD',(#312694,#312698,#312702
,#312706,#312710,#312714,#312718,#312722,#312726,#312730,#312734,#312738
,#312742,#312746,#312750,#312754,#312758,#312762,#312766,#312770,#312774
,#312778,#312782,#312786,#312790));
#312799= IFCPROPERTYSET('3_UfUvsI1CGxeFAFoUbmIx',#13,
'Graphisoft AC140 BEAM','Graphisoft AC140',(#312794));

```

```
#312804= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('0NEGRmovn1FOF3DO5p0eIz',#13,  
'ArchiCAD','ExtendedProperties',(#312529),#312799);  
#312806= IFCQUANTITYLENGTH('Length',$$,6550.);  
#312808= IFCQUANTITYAREA('CrossSectionArea',$$,0.06);  
#312810= IFCQUANTITYVOLUME('GrossVolume',$$,0.393);  
#312812= IFCQUANTITYVOLUME('NetVolume',$$,0.393);  
#312814= IFCQUANTITYAREA('OuterSurfaceArea',$$,3.93);  
#312816= IFCELEMENTQUANTITY('35q1UJgFf9ffc$SmKrM0m8',#13,  
'BaseQuantities',$$, (#312806,#312808,#312810,#312812,#312814));  
#312821= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('12Tz0n2T5D493q6sMy4zID',#13,$$,  
#312529),#312816);
```

ANEXO IV

Linguagem IFC referente ao Sensor EPA 5.0 com a *Property Set* preenchida com dados reais:

```
#293468= IFCBUILDINGELEMENTPROXY('1gnGXxZbf7jBQU8TFLS6rG',#13,'EPA 5.0',
$, $, #293465, #293454, '6AC5087B-8E5A-47B4-B6-9E-21D3D5706D50', .ELEMENT.);
#293487= IFCPROPERTYSET('1eawGquEXFFR454SdvjcKK', #13,
'Pset_SensorTypeVibratingWireSensor', $, (#293492, #293496, #293500, #293504)
);
#293492= IFCPROPERTYLISTVALUE('SetPointFrequency', $, (IFCREAL(766.64),
IFCREAL(766.78), IFCREAL(766.67), IFCREAL(766.78), IFCREAL(766.80), IFCREAL(
766.70), IFCREAL(766.69), IFCREAL(766.7), IFCREAL(766.77), IFCREAL(766.69),
IFCREAL(766.7), IFCREAL(766.77), IFCREAL(766.69), IFCREAL(766.72), IFCREAL(
766.61), IFCREAL(766.69), IFCREAL(766.59), IFCREAL(766.67), IFCREAL(766.8),
IFCREAL(766.7), IFCREAL(766.72), IFCREAL(766.72), IFCREAL(766.81), IFCREAL(
766.69), IFCREAL(766.69), IFCREAL(766.64), IFCREAL(766.67), IFCREAL(766.84),
IFCREAL(766.66)), $);
#293496= IFCPROPERTYLISTVALUE('SetPointTemperature', $, (IFCREAL(8.57),
IFCREAL(8.58), IFCREAL(8.58), IFCREAL(8.58), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59),
IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59),
IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59),
IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.58), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59), IFCREAL(8.59),
IFCREAL(8.59)), $);
#293500= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SetRelations', $, IFCLABEL('PD5.0'), $);
#293504= IFCPROPERTYLISTVALUE('SetDateTime', $, (IFCLABEL(
'28-12-2006      10:45:51'), IFCLABEL('28-12-2006      10:45:52'), IFCLABEL('28-12-2006
10:45:53'), IFCLABEL('28-12-2006  10:45:54'), IFCLABEL('28-12-2006  10:45:55'), IFCLABEL('28-
12-2006      10:45:56'), IFCLABEL('28-12-2006      10:45:57'), IFCLABEL('28-12-2006
10:45:58'), IFCLABEL('28-12-2006  10:45:59'), IFCLABEL('28-12-2006  10:46:00'), IFCLABEL('28-
12-2006      10:46:01'), IFCLABEL('28-12-2006      10:46:02'), IFCLABEL('28-12-2006
10:46:03'), IFCLABEL('28-12-2006  10:46:04'), IFCLABEL('28-12-2006  10:46:05'), IFCLABEL('28-
12-2006      10:46:06'), IFCLABEL('28-12-2006      10:46:07'), IFCLABEL('28-12-2006
10:46:08'), IFCLABEL('28-12-2006  10:46:09'), IFCLABEL('28-12-2006  10:46:10'), IFCLABEL('28-
12-2006      10:46:11'), IFCLABEL('28-12-2006      10:46:12'), IFCLABEL('28-12-2006
10:46:13'), IFCLABEL('28-12-2006  10:46:14'), IFCLABEL('28-12-2006  10:46:15'), IFCLABEL('28-
12-2006  10:46:16')), $);
#293511= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('3XtaqXBAL06wspCXvJ0Bar', #13, $, $, (
#293468), #293487);
#293513= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ArchiCAD_GUID', $, IFCDESRIPTIVEMEASURE(
```

```
'6AC5087B-8E5A-47B4-B6-9E-21D3D5706D50'),$);  
#293517= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LAYERNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(  
'Sensores'),$);  
#293521= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('INFO',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE('EPA 5.0'  
)',$);  
#293525= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('PEN',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE('Caneta4'  
,$);  
#293529= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('REFLECTED',$,IFCINTEGER(0),$);  
#293533= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('MAT',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(''),$);  
#293537= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LTYPEIND',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(  
'Linha Cont\S\mnua'),$);  
#293541= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SECTFILL',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(  
'Trama s\S\slida'),$);  
#293545= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SECTFILLPEN',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(  
'Caneta84'),$);  
#293549= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SECTBGPEN',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(  
'Caneta104'),$);  
#293553= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SECTCONTPEN',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(  
'Caneta44'),$);  
#293557= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('USEOBJPENS',$,IFCINTEGER(0),$);  
#293561= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('USEOBJLTYPES',$,IFCINTEGER(256),$);  
#293565= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('USEOBJMATERIALS',$,IFCINTEGER(1),$);  
#293569= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ANGLE',$,IFCNUMERICMEASURE(0.),$);  
#293573= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LEVEL',$,IFCNUMERICMEASURE(-0.3),$);  
#293577= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('POSX',$,IFCNUMERICMEASURE(30.688624),$  
);  
#293581= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('POSY',$,IFCNUMERICMEASURE(-26.170467),$  
);  
#293585= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('OFFSETX',$,IFCNUMERICMEASURE(0.),$);  
#293589= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('OFFSETY',$,IFCNUMERICMEASURE(0.),$);  
#293593= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('XRATIO',$,IFCNUMERICMEASURE(0.118),$);  
#293597= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('YRATIO',$,IFCNUMERICMEASURE(0.118),$);  
#293601= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('USEXYFIXSIZE',$,IFCINTEGER(1),$);
```

```

#293605= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SHOWALWAYS',$,IFCINTEGER(0),$);
#293609= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SHOWABOVE',$,IFCINTEGER(0),$);
#293613= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('SHOWBELOW',$,IFCINTEGER(0),$);
#293617= IFCCOMPLEXPROPERTY('OBJECT',$,'ArchiCAD',(#293513,#293517,
#293521,#293525,#293529,#293533,#293537,#293541,#293545,#293549,#293553,
#293557,#293561,#293565,#293569,#293573,#293577,#293581,#293585,#293589,
#293593,#293597,#293601,#293605,#293609,#293613));
#293622= IFCPROPERTYSET('3LOkn20P4OOI3jff77c0S',#13,
'Graphisoft AC140 OBJECT','Graphisoft AC140',(#293617,#293803));
#293627= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('API_LIBNAME',$,IFCLABEL(
'Detector de Fumo e Calor 14'),$);
#293631= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('A',$,IFCNUMERICMEASURE(0.118),$);
#293635= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('B',$,IFCNUMERICMEASURE(0.118),$);
#293639= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ZZYZX',$,IFCNUMERICMEASURE(0.065),$);
#293643= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_detlevel_3D',$,IFCLABEL('Detalhado')
,$);
#293647= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('type',$,IFCLABEL('Detector de Fumo'),$
);
#293651= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('AC_show2DHotspotsIn3D',$,
IFCNUMERICMEASURE(1.),$);
#293655= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ac_bottomlevel',$,IFCNUMERICMEASURE(1.)
,$);
#293659= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ac_toplevel',$,IFCNUMERICMEASURE(0.),$
);
#293663= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_resol',$,IFCNUMERICMEASURE(24.),$);
#293667= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_shadow',$,IFCNUMERICMEASURE(1.),$);
#293671= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_symbtype_2D',$,IFCLABEL(
'Como nas definições do MVO'),$);
#293675= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_symbtype_2D_m',$,IFCNUMERICMEASURE(
4.),$);
#293679= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('txt',$,IFCLABEL('SD'),$);
#293683= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('fs',$,IFCLABEL('Arial'),$);
#293687= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('fsz',$,IFCNUMERICMEASURE(10.),$);

```

```
#293691= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_text_style_bold',$,IFCNUMERICMEASURE
(0.),$);
#293695= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_text_style_italic',$,
IFCNUMERICMEASURE(0.),$);
#293699= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_text_style_underline',$,
IFCNUMERICMEASURE(0.),$);
#293703= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('typeTextRotation',$,IFCLABEL(
'Leg\S\mvel'),$);
#293707= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('typeTextRotation_m',$,IFCNUMERICMEASURE
(2.),$);
#293711= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_cont_pen',$,IFCNUMERICMEASURE(15.),$
);
#293715= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_fill_type',$,IFCNUMERICMEASURE(65.),
$);
#293719= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_fill_pen',$,IFCNUMERICMEASURE(19.),$
);
#293723= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_back_pen',$,IFCNUMERICMEASURE(19.),$
);
#293727= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('bomat',$,IFCNUMERICMEASURE(18.),$);
#293731= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_cost',$,IFCNUMERICMEASURE(0.),$
);
#293735= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_manufacturer',$,IFCLABEL(""),$
);
#293739= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_note',$,IFCLABEL(""),$);
#293743= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_location',$,IFCLABEL(""),$);
#293747= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_accessories',$,IFCLABEL(""),$);
#293751= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('FM_Type',$,IFCLABEL('Outros'),$);
#293755= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('FM_InventoryNumber',$,IFCLABEL(""),$);
#293759= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('FM_SerialNumber',$,IFCLABEL(""),$);
#293763= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('FM_ProductionYear',$,IFCLABEL(""),$);
#293767= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('FM_ObjectWeight',$,IFCNUMERICMEASURE(0.
),$);
#293771= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('FM_ObjectWeightUnit',$,IFCLABEL('kg'),$
```

```

);
#293775= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_custom1',$,IFCLABEL(""),$);
#293779= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_custom2',$,IFCLABEL(""),$);
#293783= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_custom3',$,IFCLABEL(""),$);
#293787= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_custom4',$,IFCLABEL(""),$);
#293791= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_list_custom5',$,IFCLABEL(""),$);
#293795= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_detlevel_3D_m',$,IFCNUMERICMEASURE(
2.),$);
#293799= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('gs_readable_angle',$,IFCNUMERICMEASURE(
1.5707963),$);
#293803= IFCCOMPLEXPROPERTY('LIBPARAM',$,'ArchiCAD',(#293627,#293631,
#293635,#293639,#293643,#293647,#293651,#293655,#293659,#293663,#293667,
#293671,#293675,#293679,#293683,#293687,#293691,#293695,#293699,#293703,
#293707,#293711,#293715,#293719,#293723,#293727,#293731,#293735,#293739,
#293743,#293747,#293751,#293755,#293759,#293763,#293767,#293771,#293775,
#293779,#293783,#293787,#293791,#293795,#293799));
#293808= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('3NPHPuDN5DlxFevDBtBJio',#13,
'ArchiCAD','ExtendedProperties',(#293468),#293622);
#293810= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('0BJ4SLxQr5qgMQV2AmVH8W',#13,$,$,(
#293468),#1299);
#293812= IFCCOLUMN('2qFkO9fzT6b9CWzHw_YAnV',#13,'Pil-044',$,$,#293866,
#293855,'B43EE609-A7D7-4694-93-20-F51EBE88AC5F');
#293831= IFCDIRECTION((1.,0.));
#293835= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.));
#293839= IFCAXIS2PLACEMENT2D(#293835,#293831);
#293842= IFCRECTANGLEPROFILEDEF(.AREA.,",#293839,600.,200.);
#293843= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#40,#36,#28);
#293846= IFCEXTRUDEDAREASOLID(#293842,#293843,#36,3000.);
#293849= IFCSHAPEREPRESENTATION(#51,'Body','SweptSolid',(#293846));
#293855= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#293849));
#293859= IFCCARTESIANPOINT((6888.6251,-17985.467,0.));
#293863= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#293859,#36,#28);
#293866= IFCLOCALPLACEMENT(#160005,#293863);

```

```
#293869= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('0qPSF$Wjf369Uj6P3ouxrW',#13,$,$,(  
#293812),#153419);  
#293871= IFCSURFACESTYLE('Tinta-01',.BOTH.,(#117053));  
#293873= IFCPRESENTATIONSTYLEASSIGNMENT((#293871));  
#293875= IFCSTYLEDITEM(#293846,(#293873),$);  
#293879= IFCPROPERTYSET('1NxLRwOe1COBUkiXvakrgT',#13,'Pset_ColumnCommon'  
,$(#293884));  
#293884= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LoadBearing',$,IFCBOOLEAN(.T.),$);  
#293888= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('2ufO9XNOB2HeRncXAwKCRi',#13,$,$,(  
#293812),#293879);  
#293890= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ArchiCAD_GUID',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(  
'B43EE609-A7D7-4694-93-20-F51EBE88AC5F'),$);  
#293894= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('LAYERNAME',$,IFCDESCRIPTIVEMEASURE(  
'Estrutura - Geral'),$);
```

ANEXO V

Algumas recomendações para a possível elaboração de trabalhos futuros sobre pontos importantes que foram detectados durante o presente trabalho:

- a) Durante a modelação tridimensional, houve o cuidado de não se copiarem elementos, uma vez que depois os seus nomes ficavam iguais e não se distinguiam tão facilmente no ficheiro IFC. A sua distinção seria somente efectuada com o GUID, tornando a compreensão do ficheiro mais complicada. Isto significa que se se copiassem 20 pilares a partir de 1 pilar já desenhado, iriam aparecer no ficheiro IFC 21 pilares com o mesmo nome, por exemplo Pilar-01.

```
#61= IFCLOCALPLACEMENT($,#44);
#64= IFC SITE('0xwhnc4cdpvmz2zwfnybg',#13,'Local',$,$,#61,$,$,ELEMENT.,
(38,44,0),(0,0,0),$,$,$);
#74= IFCLOCALPLACEMENT($,#61,#44);
#77= IFCBUILDING('3ASIXd8Wiot4SRca_6A15B',#13,'',$,$,#74,$,$,ELEMENT.,$,$,$);
#87= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#40,#36,#28);
#90= IFCLOCALPLACEMENT($,#87);
#93= IFCBUILDINGSTOREY('17R7VUHe2TaPhys7WHRM3t122',#13,'',$,$,#93,$,$,ELEMENT.,0.);
#103= IFC COLUMN('3rh6Q_3BLDQwb8bk3Hnv6K',#3,'P11-001',$,$,#153,#146,
'F5AC66BE-4CB5-4D68-A9-48-9540D1C791AE');
#122= IFC DIRECTION(1.,0.);
#126= IFCARTESIANPOINT(0.,0.);
#130= IFCAXIS2PLACEMENT2D(#126,#122);
#133= IFC RECTANGLEPROF ILEDEF(,AREA.,,130,300.,300.);
#134= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#40,#36,#28);
#137= IFC EXTRUDEDAREASOLID(#133,#134,#36,2800.);
#140= IFC SHAPE REPRESENTATION(#51,'Body',SweptSolid,($137));
#146= IFC PRODUCT DEFINITION SHAPE($,$,#140);
#150= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#40,#36,#32);
#153= IFCLOCALPLACEMENT($,#150);
#156= IFC MATERIAL('Bet(S'co Estrutural');
#159= IFC DIRECTION(6.1232340E-17,1.);
#163= IFC GEOMETRIC REPRESENTATION CONTEXT('Plan','Plan',3,1.0000000E-5,#44,
#159);
#166= IFC GEOMETRIC REPRESENTATION SUBCONTEXT('Annotation','Plan',*,*,*,*,
#163,0.01,,PLAN VIEW,$);
#169= IFC COLOUR RGB($,0.,0.,0.);
#170= IFC CURVE STYLE FONT('(#172));
#172= IFC CURVE STYLE FONT PATTERN(1.,5.);
#173= IFC CURVE STYLE($,#170,$,$);
#174= IFC PRESENTATION STYLE ASSIGNMENT(#173);
#176= IFC CURVE STYLE(1.,#170,$,#169);
#177= IFC ARTESIAN POINT(0.,0.);
#181= IFC FILL AREA STYLE HATCHING(#176,IFC POSITIVE LENGTH MEASURE(623.53832),
$, #177,0.);
#184= IFC COLOUR RGB($,0.,0.,0.);
#185= IFC CURVE STYLE FONT('(#187));
#187= IFC CURVE STYLE FONT PATTERN(1.,5.);
#188= IFC CURVE STYLE($,#185,$,$);
#189= IFC PRESENTATION STYLE ASSIGNMENT(#188);
#191= IFC CURVE STYLE(2.,#185,$,#184);
#192= IFC ARTESIAN POINT(180.00001,311.76915);
#196= IFC FILL AREA STYLE HATCHING(#191,IFC POSITIVE LENGTH MEASURE(623.53832),
$, #192,0.);
#199= IFC COLOUR RGB($,0.,0.,0.);
#200= IFC CURVE STYLE FONT('(#202));
#202= IFC CURVE STYLE FONT PATTERN(1.,5.);
#203= IFC CURVE STYLE($,#200,$,$);
#204= IFC PRESENTATION STYLE ASSIGNMENT(#203);

#314= IFC STYLED ITEM(#137,(#312),$);
#318= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('ArchCAD_GUID',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'F5AC66BE-4CB5-4D68-A9-48-9540D1C791AE'),$);
#322= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('LAYERNAME',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'Estrutura - Geral'),$);
#326= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('INFO',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE('P11-001'),$);
#330= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN VENTHICK',$,IFC NUMERIC MEASURE(0.),$);
#334= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN CORETYPE',$,IFC INTEGER(3),$);
#338= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN COREANCHOR',$,IFC INTEGER(0),$);
#342= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN COREPEN',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'caneta48'),$);
#346= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN COREFILL',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'bet(S'co Estrutural'),$);
#350= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN COREFILLPEN',$,
IFC DESCRIPTIVE MEASURE('caneta88'),$);
#354= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN COREBGPEN',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'caneta108'),$);
#358= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN VENPEN',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'caneta108'),$);
#362= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN VENFILL',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'Prova de Fogo'),$);
#366= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN VENBGPEN',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'caneta128'),$);
#370= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN CONT3DPEN',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'caneta68'),$);
#374= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN CONTLTYPE',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'linha cont'smua'),$);
#378= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN MATER',$,IFC DESCRIPTIVE MEASURE(
'sup-Bet(S'co Poroso'),$);
#382= IFC PROPERTY SINGLE VALUE('COLUMN WRAPPING',$,IFC INTEGER(0),$);
#386= IFC COMPLEX PROPERTY('COLUMN',$,ArchCAD,($318,#322,#326,#330,#334,
#338,#342,#346,#350,#354,#358,#362,#366,#370,#374,#378,#382));
#391= IFC PROPERTY SET('1zfenNw7D2Yfresakr5v9',#13,
'graphisoft AC140 COLUMN',graphisoft AC140,($386));
#396= IFC REDEFINES BY PROPERTIES('010m_218b8na01UFFYpH',#13,'ArchCAD',
'ExtendedProperties',($103),#391);
#398= IFC QUANTITY LENGTH('Length',$,$,0.252);
#400= IFC QUANTITY VOLUME('GrossVolume',$,$,0.252);
#402= IFC QUANTITY VOLUME('NetVolume',$,$,0.252);
#404= IFC QUANTITY AREA('CrossSectionArea',$,$,0.09);
#406= IFC QUANTITY AREA('OuterSurfArea',$,$,3.36);
#408= IFC ELEMENT QUANTITY('31rk21tU9C_u1NO_0UCB4K',#13,'BaseQuantities',$
,($398,#400,#402,#404,#406));
#413= IFC REDEFINES BY PROPERTIES('1rsXdpGwn3_0vZVmng8zxr',#13,$,$,($103),
#408);
#415= IFC PRESENTATION LAYER ASSIGNMENT('Estrutura - Geral',$,($140,#454,
#618,#782,#946,#1110,#1274,#1438,#1602,#1766,#1930,#2094,#2258,#2422,
#2586,#2750,#2914,#3078,#3242,#3406,#3570,#3734,#3898,#4062,#4226,#4390,
#4554,#4718,#4882,#5046),$);
```

Figura 57 - Exemplo de repetição do nome para elementos distintos.

Como se pode verificar na figura acima, aparece na linha 103 e na linha 326 um elemento com o mesmo nome, sendo que se referem a elementos distintos no desenho.

- b) Houve também o cuidado de se fazer vigas de pilar a pilar e não vigas completas de um extremo do edifício ao outro, uma vez que traria problemas de interpretação no Robot. As vigas devem ser desenhadas pelo eixo dos pilares de modo a haver conformidade de desenho, especialmente no Robot, de forma a minimizar os erros provenientes das ligações nos nós.



Figura 58 - Colocação de viga de pilar a pilar.

- c) Após a abertura da lista de valores, totalmente preenchida no *software* ArchiCAD, e aberta no mesmo, há uma alteração da ordem de valores da lista. Esta é organizada por ordem crescente de valores e os valores duplicados são eliminados. É um pormenor a ter em atenção e se possível algum tipo de correcção, uma vez que altera o propósito do trabalho efectuado.
- d) No Autodesk Robot, as vigas foram convertidas como uma casca e não como vigas, não possibilitando que a análise estrutural fosse efectuada da melhor maneira. Desta forma, é necessário um estudo mais aprofundado sobre este factor, uma vez que é importante que as vigas sejam convertidas como tal.

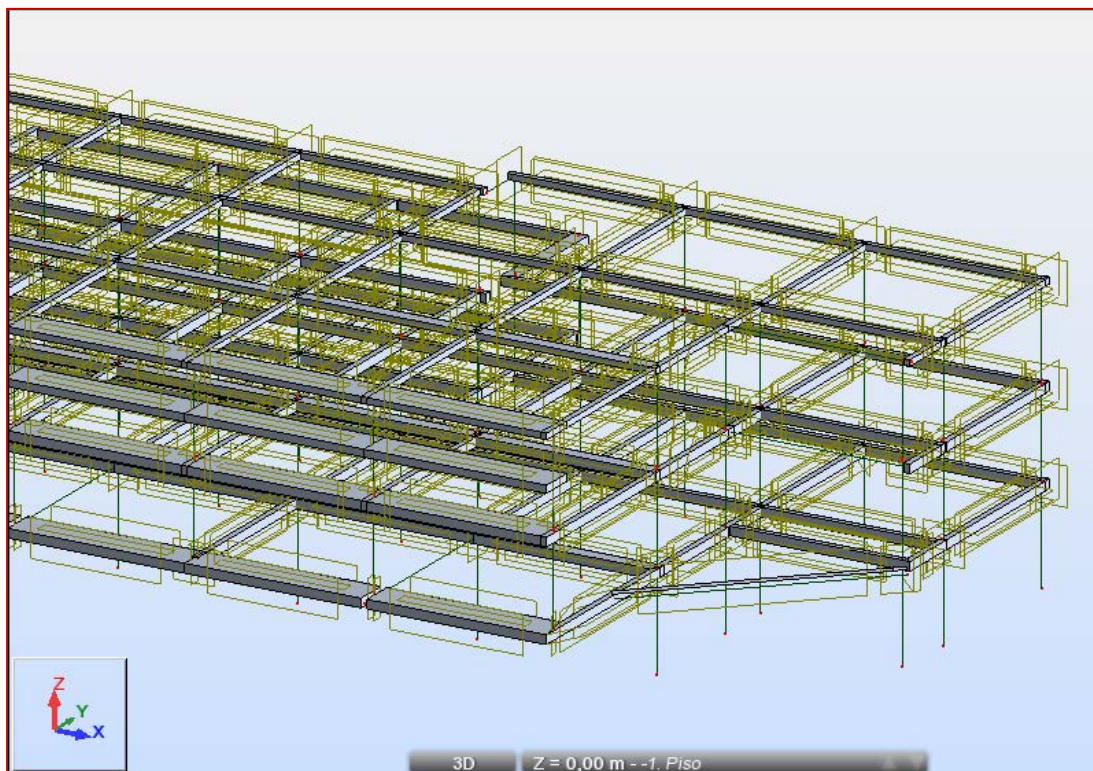


Figura 59 - Conversão de vigas e pilares no Robot.

É visível na Figura 58 que os pilares foram convertidos como pilares sendo representados por um traço vertical, enquanto as vigas foram convertidas como uma casca tridimensional.

- e) É necessário fazer a conversão da Data e Hora para a propriedade *IfcDateTime* presente na versão IFC 2x4, aquando da sua publicação final.